

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи

Науменко Наталья Владимировна

**НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ
КОНТАМИНАЦИИ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Специальность 05.18.15 –
Технология и товароведение пищевых продуктов
функционального и специализированного назначения и общественного питания

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Ирина Юрьевна Потороко

Челябинск – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА	16
1.1 Состояние зернового комплекса Российской Федерации, анализ и современные проблемы.....	16
1.2 Современные подходы в технологии переработки зерна пшеницы.....	21
1.2.1 Потенциал зерна пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) как биологического объекта, используемого в технологии переработки.....	23
1.2.2 Нормативно-правовые аспекты применения продуктов переработки зерна пшеницы в технологиях пищевых производств	26
1.2.3 Характеристика факторов, определяющих риски микробной контаминации при переработке продовольственного зерна, и современные технологии обеззараживания	31
1.3 Научно-практическое обоснование применения пророщенного зерна пшеницы в технологии хлебобулочных изделий.....	41
Выводы по главе 1	45
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	46
2.1 Организация исследований	46
2.2 Характеристика объектов и методов исследования	50
ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОГО СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА ИЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ	75
3.1 Разработка методологии получения безопасных сырьевых ингредиентов для размещения их в системе пищевых продуктов	75
3.2 Исследование качества и технологической пригодности зерна пшеницы, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области.....	86
3.3 Обеспечение безопасности и качества сырьевого ингредиента из зерна пшеницы на основе принципов процессного подхода.....	95
3.4 Установление рисков контаминации зерна пшеницы микотоксинами при использовании технологий проращивания в его переработке	100
3.5 Использование технологических приемов минимизации рисков накопления микотоксинов токсигенными плеснями в зерновом сырье.....	111
Выводы по главе 3	130

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИ- ЕНТА НА ОСНОВЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ	132
4.1 Обоснование эффективных технологических приемов для контролируе- мого проращивания зерна пшеницы.....	132
4.1.1 Определение рациональных параметров ведения процесса замачи- вания зерна пшеницы.....	137
4.1.2 Определение рациональных параметров ведения процесса прора- щивания зерна пшеницы.....	165
4.2 Практические аспекты получения сырьевого ингредиента на основе цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы для хлебобулоч- ных изделий	187
Выводы по главе 4.....	197
ГЛАВА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, КАЧЕСТВА И ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ	199
5.1 Проектирование и разработка системы менеджмента безопасности пи- щевых производств (СМБПП)	199
5.2. Изменение показателей качества, безопасности и пищевой ценности цельносмолотой муки при проращивании зерна пшеницы.....	211
5.2.1 Компонентный состав и безопасность цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы	211
5.2.2 Повышение пищевой ценности цельносмолотой муки из проро- щенного зерна пшеницы при использовании разработанных техно- логий	220
5.3 Изменение качества, безопасности и потребительских свойств цельно- смолотой муки из пророщенного зерна пшеницы при хранении.....	232
Выводы по главе 5.....	239
ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРО- ЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	240
6.1 Экспериментальное обоснование количества цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы для обеспечения качества хлебобулочных изделий.....	240
6.2 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на про- цессы тестоведения в технологии хлебобулочных изделий.....	260
Выводы по главе 6.....	284
ГЛАВА 7. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИС- ПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ	286

7.1 Рецепттура и режимы приготовления хлебобулочных изделий с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.....	287
7.2 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на качество хлебобулочных изделий	290
7.3 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на безопасность хлебобулочных изделий	294
7.4 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на пищевую ценность хлебобулочных изделий.....	298
7.5 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на изменение качества хлебобулочных изделий при хранении.....	316
7.6 Исследование эффективности разработанных хлебобулочных изделий в модели <i>in vivo</i> с применением стрессорных факторов воздействия.....	335
7.7 Разработка и анализ прогностической модели потребительского поведения в отношении хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.....	347
7.8 Определение расчетного экономического эффекта от внедрения в производство разработанных хлебобулочных изделий	356
Выводы по главе 7	363
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	366
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	372
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	372
Приложение А – Шкала оценки органолептических показателей качества хлебобулочных изделий	423
Приложение Б – Договор на проведение клинико-диагностических исследований с ООО «Докторлаб»	425
Приложение В – Образцы документов, заполняемых участниками клинических исследований	433
Приложение Г – Анкета, используемая при опросе для формирования модели факторов потребительского поведения.....	437
Приложение Д – Протокол лабораторных исследований хлебобулочных изделий	440
Приложение Е – Акт дегустации.....	442
Приложение Ж – Документы, отражающие научную новизну, результаты апробации производственных испытаний и внедрения результатов работы ...	444

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Получение продуктов питания на основе зернового сырья, обладающих повышенной пищевой ценностью и гарантированных по показателям безопасности в соответствии с концепцией «от поля до потребителя», сопряжено с большим количеством проблем, в числе которых устойчивая динамика ухудшения качества и технологических свойств зерна, риски контаминации сырья и конечных продуктов токсигенными плесеньями на различных этапах жизненного цикла.

На сегодняшний день международными организациями (ICC, NACMCF, AACCS, ICMSF, ФАО), осуществляющими мониторинг качества и безопасности зерна и продуктов его переработки, определена глобальная проблема – около 20 % ежегодных общемировых потерь зерна обусловлено развитием патогенной микрофлоры и загрязнением продуктов переработки ее метаболитами. В Российской Федерации, по данным АЦ Минсельхоза России и ФГУ «Федерального центра оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки», в 2019 г. с превышением максимально допустимого уровня по показателям безопасности было выявлено 430 тыс. т зерна пшеницы [33; 35; 122; 150; 151; 185; 246; 312; 337; 347; 368; 385].

В законодательных и нормативных документах, утвержденных Правительством Российской Федерации, в качестве инструмента для решения вышеуказанных проблем определено формирование единой концепции минимизации потерь продовольственных ресурсов, увеличение выхода готовой продукции с единицы перерабатываемого сырья и получение безопасных пищевых продуктов. Среди принятых на федеральном уровне законодательных актов в настоящее время можно выделить Стратегию повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (распоряжение Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р), Долгосрочную стратегию развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. (распоряжение Правительства РФ от 10 августа 2019 г.

№ 1796-р) и Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации (указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20), а также проект Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г., которые определяют базирование развития пищевой промышленности, на применении наукоемких подходов и инновационных решений [150; 151].

В связи с этим использование новых технологий позволит создавать и внедрять в практику решения, обеспечивающие комплексную переработку сельскохозяйственного сырья, нацеленную на минимизирование продовольственных потерь, снижение рисков контаминации микотоксинами и обеспечение высоких стандартов экологической безопасности производства. Действенным инструментом для достижения результата может стать единая методология получения продуктов питания повышенной пищевой ценности, предполагающая использование принципиально новых технологий получения растительных безопасных сырьевых ингредиентов на основе методов физического воздействия.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в раскрытие механизмов биохимических процессов технологии переработки зернового сырья внесли известные ученые, которые сформировали научный потенциал и фундаментальные знания в области процессов хлебопечения: Л. Я. Ауэрман, Н. П. Козьмина, Л. И. Мачихина, Р. Д. Поландова, Л. А. Трисвятский, В. А. Тутельян, Е. Д. Казаков и др.

Изучению вопросов безопасности зернового сырья и разработке концепции прослеживаемости пищевых продуктов растительного происхождения посвящены работы Л. А. Губаненко, Л. В. Донченко, Н. И. Дунченко, Г. А. Закладного, А. П. Косована, П. В. Медведева, Е. П. Мелешкиной, В. Д. Надыкта, Т. Б. Цыгановой, S. De Saeger, U. S. Annapure и др.

Научный вклад в основы производства продуктов питания, выработанных на основе растительного сырья, в том числе зернового, внесли Т. Г. Богатырева, И. С. Витол, Н. И. Давыденко, Н. М. Дерканосова, М. Н. Костюченко, С. Я. Корякина, В. В. Мартиросян, Л. А. Маюрникова, А. А. Покровский, В. М. Позняковский,

И. Ю. Резниченко, А. С. Романов, И. В. Симакова, Л. Н. Шатнюк, Д. В. Шнейдер, C. Hoseneу, T. V. Price, J. Ding, G. G. Houb, S. Xiong и др.

Эффективность физических методов воздействия при производстве пищевых продуктов доказана в работах О. Н. Красули, В. Я. Черныха, Н. В. Цугленка, В. Н. Хмелева, С. Д. Шестакова, М. Ashokkumar, М. Morales de la Peña, Т. J. Mason, F. Chemat и др.

Научные результаты вышеперечисленных ученых послужили основой при разработке методологического подхода к получению сырьевого ингредиента из зерна пшеницы для использования в технологии хлебобулочных изделий. Научные исследования в данном направлении позволят развить технологии переработки зерна пшеницы низкого качества с применением новых методов физического воздействия для обеззараживания в целях снижения продовольственных потерь и рисков контаминации микотоксинами, а также интенсификации накопления биологически активных веществ без ухудшения технологических свойств исходного сырья.

Работа проводилась в рамках программы Правительства РФ (постановление от 16 марта 2013 г. № 211), соглашение № 02.А03.21.0011, при финансовой поддержке государственного задания № 40.8095.2017/БЧ (2017123-ГЗ), гранта РФФИ 18-53-45015, гранта благотворительной программы «Стипендиальная программа Владимира Потанина» № ГСГК-40/18.

Цель диссертационного исследования заключается в научно-практическом обосновании и разработке технологии получения сырьевого ингредиента – цельносомлотой муки из пророщенного зерна пшеницы с применением методов физического воздействия для минимизации продовольственных потерь, снижения рисков контаминации и повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1) установить теоретические предпосылки необходимости разработки комплексного подхода к технологии переработки зерна пшеницы, базирующегося на принципах обеспечения безопасности и качества сырья и продуктов, полученных

на его основе, для решения вопросов минимизации продовольственных потерь в целях устойчивого развития предприятий хлебопекарной отрасли;

2) разработать и верифицировать методологический подход к получению безопасного сырьевого ингредиента повышенной пищевой ценности на основе минимизации рисков микробной контаминации и снижения продовольственных потерь, а также обеспечения его технологической пригодности для размещения в пищевой системе продукта;

3) определить риски контаминации микотоксинами разработанного сырьевого ингредиента – цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в зависимости от применяемых технологических процессов и установить рациональные методы физического воздействия для его обеззараживания;

4) определить механизмы влияния воздействующих факторов на процессы получения цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы и на основе математического моделирования установить рациональные режимы ведения процессов;

5) в целях минимизации продовольственных потерь разработать систему менеджмента безопасности производства цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы, определить вариативность показателей качества, безопасности и пищевой ценности полученного сырьевого ингредиента при хранении;

6) установить механизмы встраивания цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в пищевую систему хлебобулочных изделий, определить технологические риски использования данного сырьевого ингредиента в процессе тестоведения и способы их минимизации;

7) разработать рецептуры хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы, провести товароведную оценку качества, безопасности готовых изделий, установить вариативность показателей при хранении;

8) с применением модели *in vitro* и *in vivo* провести оценку эффективности разработанного сырьевого ингредиента в составе хлебобулочных изделий, для минимизации воздействия стрессорных факторов;

9) разработать прогностическую модель факторов потребительского поведения в отношении хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы, провести апробацию результатов исследования в условиях производства и оценить экономическую эффективность внедрения разработанных технологий.

Научная концепция заключается в научно-практическом обосновании комплексного методологического подхода к получению сырьевого ингредиента – цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы с применением новых технологических приемов на основе методов физического воздействия для снижения рисков контаминации и минимизации продовольственных потерь при производстве продуктов повышенной пищевой ценности.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 2, 3, 4, 5 и 6 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15:

– предложен методологический подход к получению безопасного сырьевого ингредиента на основе снижения рисков контаминации и продовольственных потерь (*п. 3 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– обоснованы, экспериментально подтверждены и верифицированы технологические приемы снижения рисков контаминации и продовольственных потерь при получении безопасного сырьевого ингредиента на основе пророщенного зерна пшеницы для использования в производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с доказанной эффективностью (*п. 4 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– научно обоснованы и раскрыты механизмы, доказывающие эффективность обеззараживающего воздействия холодного плазменного излучения (в режиме: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, экспозиция 9 мин), позволяющего блокировать развитие токсигенных плесеней при проращивании зерна пшеницы, минимизировать риски накопления микотоксинов в сырьевых ингредиентах и готовых изделиях и обеспечить снижение продовольственных потерь (*п. 4 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– расширены представления о механизмах ультразвукового воздействия для стимулирования процесса проращивания зерна пшеницы и в условиях вариативности исходных параметров сырья определен рациональный режим ультразвукового воздействия в гидромодуле (мощность 378 Вт, экспозиция 3 мин) (*п. 3 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– впервые с помощью математической обработки массива экспериментальных данных (программный продукт Statistica 13) получены корреляционные зависимости между показателями для процессов замачивания и проращивания, на основе которых с учетом обобщенного критерия оптимальности установлены рациональные параметры ведения процессов (*п. 3 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– впервые установлено, что метод ультразвукового воздействия, используемый при проращивании зерна пшеницы в гидромодуле, является фактором, определяющим повышение пищевой ценности сырьевого ингредиента за счет синтеза и накопления γ -аминомасляной кислоты ($(18,9 \pm 0,3)$ мг/100 г) и повышения показателя общей антиоксидантной емкости ($(6,9 \pm 0,3)$ мг ТЕАС/г), при интенсификации накопления определяющих ее веществ (флавоноидов – $(1,79 \pm 0,21)$ мг QE/г; фенольных кислот – $(3,57 \pm 0,35)$ мг САЕ/г и полифенольных соединений – $(5,35 \pm 0,23)$ мг GAE/г) (*п. 2, 4 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– подтверждено, что цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы, полученная по разработанным технологиям, сохраняет технологические свойства и пищевую ценность в течение 9 мес. хранения в вакуумной упаковке (*п. 5 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– научно обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в технологии производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности (простых и улучшенных по рецептуре) с доказанной безопасностью (*п. 4 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– с применением методов СЭМ и ДСК экспериментально подтверждено, что использование цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в рецепту-

ре хлебобулочных изделий снижает интенсивность процессов черствения, происходящих при хранении (*п. 4, 5 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*);

– получена прогностическая модель факторов потребительского поведения в отношении разработанных хлебобулочных изделий с цельносмолотой мукой из пророщенного зерна пшеницы, определены основные направления выстраивания политики продвижения данных продуктов на потребительском рынке (*п. 6 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*).

Методология и методы исследований. Методология диссертационной работы базировалась на логически выстроенной последовательности исследований на основе сбора и анализа информации, систематизации результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также обобщении практических разработок в области комплексного подхода к технологии переработки зерна пшеницы и возможности использования полученного безопасного сырьевого ингредиента в производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности.

Положения, выносимые на защиту:

– методологический подход к получению безопасного сырьевого ингредиента на основе пророщенного зерна пшеницы для размещения в системе пищевого продукта с целью повышения его пищевой ценности;

– результаты исследования применения метода воздействия холодного плазменного излучения для обеззараживания зернового сырья с целью минимизации рисков возникновения продовольственных потерь и накопления микотоксинов токсигенными плесенями;

– результаты разработки технологии получения цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на основе массива данных, полученных при оценке и установлении рациональных режимов ультразвукового воздействия на процессы замачивания и проращивания;

– результаты экспериментальных исследований качества, безопасности и пищевой ценности цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы и вариативности показателей при хранении;

– совокупность результатов экспериментальных данных, подтверждающих эффективность применения цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в технологии хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с учетом механизмов встраивания сырьевого ингредиента в систему продукта, влияния на процессы черствения и эффективности биологического воздействия на моделях *in vitro* и *in vivo*.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработан методологический подход к переработке зерна пшеницы и получению безопасного сырьевого ингредиента, применение которого в практической деятельности обеспечит экономию средств за счет снижения продовольственных потерь и включения в производство сырья разнородного качества, а также выявит направленность мероприятий по обеспечению безопасности и формирования заданных свойств хлебобулочных изделий.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны и предложены:

- метод обеззараживания зерна пшеницы на основе рациональных режимов физического воздействия холодным плазменным излучением;
- шкала определения микрофинологических фаз контролируемого проращивания зерна пшеницы;
- технология контролируемого замачивания и проращивания зерна пшеницы на основе рациональных режимов ультразвукового воздействия;
- рецептуры хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.

Научно-технические решения подтверждены четырьмя патентами Российской Федерации: патент № 2668096 «Способ производства хлеба», патент № 2690486 «Способ стимулирования прорастания зерна», патент № 2707944 «Способ обеззараживания зерна», патент № 2723957 «Способ производства хлеба с использованием пророщенного зерна пшеницы».

Обоснованные технико-технологические результаты исследования апробированы в условиях реального производства на предприятиях Уральского региона,

что подтверждено соответствующими актами апробации (ООО «Боровое», ООО «Агрофирма Ариант», ООО «Черновской Хлеб», ИП Акопян Г. С. «Хлебный дом»).

Разработанные методы системного подхода и моделирования получения безопасного сырьевого ингредиента на основе пророщенного зерна пшеницы внедрены в качестве базовых в практику организации технологии производства и контроля хлебобулочных изделий на предприятии ООО «Боровое». По результатам исследований разработаны и утверждены комплекты технической документации на новые виды продуктов.

Материалы данных исследований широко используются в учебном процессе при чтении лекций, курсовом и дипломном проектировании работ студентов, обучающихся в ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» по основным образовательным программам подготовки бакалавров 38.03.07 «Товароведение», 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья» и магистров 19.04.01 «Биотехнология», 19.04.05 «Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения». Теоретические результаты диссертации включены в учебный процесс при чтении цикла лекций и проведении лабораторных работ по дисциплинам «Инновации в пищевой биотехнологии», «Биотехнологические основы хлебопекарного производства», «Методы исследования свойств сырья и продуктов питания», «Основы рационального использования сырья» на кафедре пищевых и биотехнологий ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах различного уровня, в том числе на международных научно-практических конференциях «Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства» (Челябинск, 2008–2015); 63-й, 66-й и 67-й научных конференциях ЮУрГУ, секция «Экономика, управление и право» (Челябинск, 2009, 2011, 2014, 2015); международной научно-практической конференции «Использование электрофизических методов исследования для производства и оценки качества пищевых продуктов» (Санкт-Петербург, 2012); международной

научно-практической конференции молодых ученых «Экономика и бизнес. Взгляд молодых» (Челябинск, 2012, 2016); VI Международной научно-практической конференции «Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость», посвященной 80-летию БГЭУ (Минск, 2013); 2-й Международной инновационной научно-практической конференции «Современная торговля: теория, практика, перспективы развития» (Москва, 2013); научной конференции аспирантов и докторантов (Челябинск, 2015); международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (Челябинск, 2016); International Conference on Biosystems Engineering (BSE 2017) (Тарту, 2017); всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продуктов питания» (Курган, 2017); международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской области «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (Курган, 2018); научной конференции с международным участием института промышленного менеджмента, экономики и торговли «Неделя науки СПбПУ» (Санкт-Петербург, 2018); международной научной конференции по промышленному инжинирингу и современным технологиям «Far East Con», IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Владивосток, 2018); V Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли» (Екатеринбург, 2018); всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции» (Курган, 2019); X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Орловского государственного университета им. И. С. Тургенева (Орел, 2019); 6-й Научной выставке-конференции научно-технических и творческих работ «Молодой исследователь» (Челябинск, 2019); VI Научно-практической конференции с международным участием «Управление реологическими свойствами пищевых продуктов» (Москва, 2019); VI Международной научно-практической конференции «Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности

в современных условиях» (Курск, 2019); XXIV Международной научно-практической конференции «Инновация-2019» (Ташкент, 2019); всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития агропромышленного комплекса» (Курган, 2020); VII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2020); 2-й Всероссийской научно-технической конференции «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем» (Курск, 2020).

Результаты диссертационной работы представлены на конкурсах, награждены дипломами и медалями: VI Межрегиональная агропромышленная выставка УрФО «АГРО-2015» – диплом II степени (Ханты-Мансийск, 2015); Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2015, 2018, 2019» – диплом, серебряная и бронзовые медали (Москва, 2015, 2018, 2019).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 84 печатных работы, в том числе 3 монографии, 22 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 8 статей, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science, ряд статей в материалах конференций и сборниках научных трудов, а также 4 патента Российской Федерации.

Личный вклад автора состоит в постановке и обосновании проблемы, разработке структуры и схемы проведения исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, обобщении имеющихся материалов и подготовке их к публикации, организации внедрения результатов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы из 398 наименований (в том числе 215 источников иностранной литературы) и 7 приложений. Основное содержание работы изложено на 422 страницах, содержит 120 рисунков и 69 таблиц.

ГЛАВА 1. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

1.1 Состояние зернового комплекса Российской Федерации, анализ и современные проблемы

Производство зерна составляет основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны, обеспеченность продуктами питания и уровень жизни населения [151].

Современное состояние зернового комплекса Российской Федерации характеризуется расширением посевных площадей, а также внедрением интенсивных технологий, нацеленных на увеличение их продуктивности. В последние годы сельскохозяйственной отраслью страны успешно решены две задачи: получение рекордных урожаев и выход на зарубежные рынки в качестве одного из основных экспортеров. В настоящее время Россия остается одним из лидеров по производству зерна пшеницы, а в 2016 г. страна вышла на первое место в мире по экспорту зерна.

За последние десятилетия произошло интенсивное развитие зернового комплекса, в том числе вследствие изменения структуры экономики, роста государственной поддержки сельского хозяйства и частных инвестиций. Значительная территориальная протяженность России определяет как ресурсный потенциал площадей возделывания, так и возможные опасности, связанные с большим количеством зон рискованного земледелия [66]. По итогам 2018 г. зерновой комплекс страны обладает посевными площадями зерновых и зернобобовых культур 46,3 млн га, а валовой сбор зерновых и зернобобовых культур составил 113,3 млн т, в том числе пшеницы – 72,1 млн т.

Зерно, будучи стратегическим ресурсом, занимает лидирующее положение по совокупным объемам производства агропромышленного комплекса Уральского региона. За последний год в регионе посевная площадь зерновых и зернобобовых культур выросла на 25 тыс. га (в 2019 г. по отношению к 2018 г.), урожайность зерновых и зернобобовых культур составила 13,3 центнеров с 1 га. В рамках государственной программы Челябинской области «Развитие сельского хозяйства в Челябинской области» определены такие направления, как увеличение посевных площадей, прирост валового сбора зерновых культур и создание Уральского кластера по направлениям переработки зерна.

Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. (далее – Стратегия), утвержденная распоряжением Правительства РФ от 10 августа 2019 г. № 1796-р, содержит мероприятия, направленные на развитие зернового комплекса. Правовую основу данного документа составляют законодательные акты, в числе которых Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р [33; 35].

Стратегия представляет собой отраслевой документ стратегического планирования Российской Федерации в зерновом комплексе, определяющий приоритеты, цели и задачи государственного управления и обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, способы их эффективного достижения и комплексного решения.

В использовании зерна выделяются такие направления, как *потребление на пищевые цели*, потребление на кормовые цели, промышленное потребление, использование на семена и экспорт.

В соответствии с долгосрочным прогнозом социально-экономического развития РФ на период до 2036 г., подготовленным Министерством экономического развития Российской Федерации, численность населения к 2035 г. увеличится до 153 млн чел., что окажет разнонаправленное влияние на потребление продуктов переработки зерна. Прогнозное потребление зерна на продовольственные цели (производство муки, крупы) к 2035 г. составит 15,2 млн т [66].

Наращивая производство зерна, важно понимать, что технологические риски могут обусловить увеличение потерь зерновой продукции. Чаще всего это *количественные потери*, выражающиеся в физическом объеме зерновой продукции, утраченной на той или иной стадии логистической цепочки, начиная с уборки зерна и заканчивая его использованием, а также *потери, связанные с утратой качественных характеристик зерна*, которые возникают в процессе его послеуборочной доработки, хранения, перевалки, транспортировки и переработки.

Наряду с нарастающими объемами производства зерна пшеницы существует огромная проблема – падение его качества. За последние два десятилетия практически исчезли товарные посевы сильной пшеницы (в соответствии с данными ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки», 2016 г.), а наличие «ценной» пшеницы оценивается в количестве нескольких процентов [71; 74]. Так, по данным Федерального центра оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки, доля зерна 1–4-го классов составляет 65,9 %. При этом пшеница 1-го и 2-го класса представляет всего 0,03 % от общего объема исследований, 3-го класса – 20,1 %, 4-го класса – 45,8 %, 5-го класса – 29,9 %. Сравнивая качество российского рынка зерновых урожая 2018 г. с предыдущими периодами (рисунок 1), можно отметить, что производство зерна пшеницы 3-го класса сокращается, а доля пшеницы 4-го класса продолжает расти [32; 172]. Низкое качество зерна во многом определяет проблемы для хлебопекарной отрасли на этапе получения готового продукта с гарантированно высокими потребительскими свойствами.

Вместе с тем переработка зерна внутри страны развита недостаточно. Загрузка мощностей мукомольных предприятий в 2018 г. составила менее 50 %, глубокая переработка зерна находится в стадии становления [35; 150; 149]. Такое состояние зерноперерабатывающего комплекса обуславливает проблему профицита зерна, формирующуюся в период высоких урожаев.

Агробизнес стремится производить только высокомаржинальную продукцию, несовершенство отраслевого регулирования определяет перепроизводство определенных видов зерновой продукции. Продолжается тренд, связанный с изме-

нением структуры производства пшеницы: доля пшеницы с высоким содержанием белка снижается, растет производство зерна на кормовые цели. Вместе с тем производство сопряжено с проблемами низкого качества основных видов зерна и обеспечения его сохранности. Кроме того, по данным Аналитического центра Минсельхоза России, на разных этапах жизненного цикла зерновой продукции в совокупности теряется около 40 %. По данным Федеральным центром оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки Россельхознадзора установлено, что среди проверенных партий зерна более четверти являются некачественными и опасными. Среди основных проблем зерновой отрасли в части сохранения качества зерна следует выделить высокий уровень зараженности микромицетами и продуктами их метаболизма (микотоксинами) [33; 368; 373].

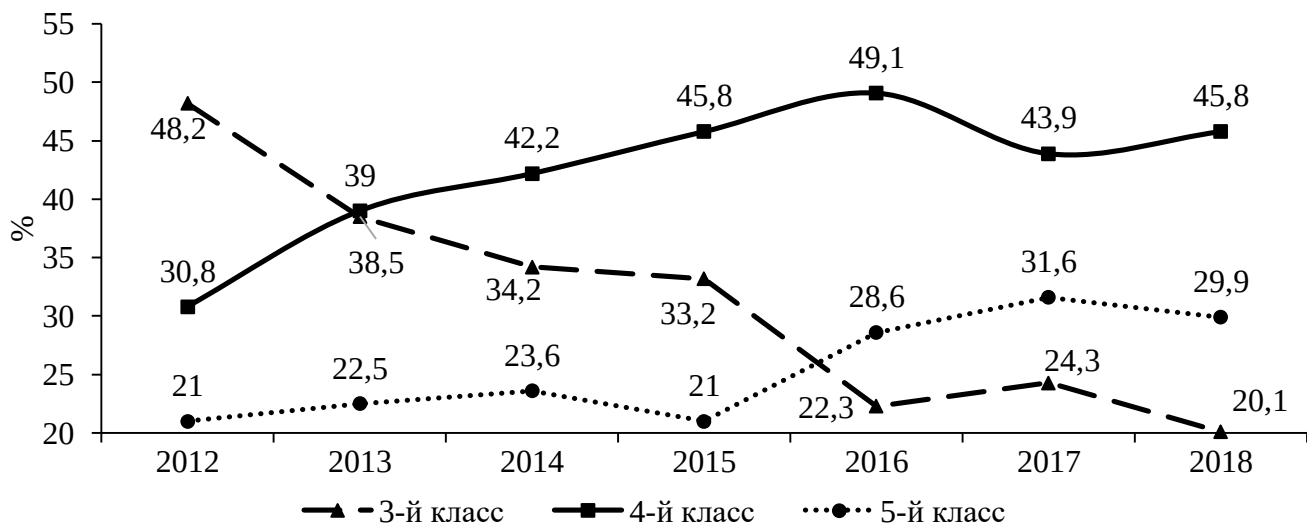


Рисунок 1 – Распределение урожая пшеницы по классам 2012–2018 гг., %
(по данным ФГБУ «Центр оценки качества зерна»)

В нашей стране в 2019 г. выявлены отклонения по показателю зараженности вредителями – 8,9 млн т (доля 88 %), по показателям качества – 598 тыс. т, с превышением МДУ по показателям безопасности – 430 тыс. т. Среди выявленных микотоксинов преобладают дезоксиниваленол (42 % от количества обследованных проб) и Т-2 (55,5 %), также установлено присутствие охратоксина А, афлатоксина В1, фумонизина 1, сумма афлатоксинов В1, В2, G1, G2 в количестве 0,5–1,0 %.

Важно понимать, что основная проблема безопасности продуктов переработки зерна связана с тем, что микотоксины накапливаются в организме человека по, даже несмотря на минимальное их присутствие в сырье. Установлено, что микотоксины через десятилетия могут обуславливать возникновение хронических неинфекционных заболеваний, вызывать нервные расстройства, подавление иммунной системы, снижение репродуктивной способности, развитие онкологических новообразований [39; 54; 56; 73; 105; 151].

Анализ и систематизация проблем зернового комплекса [35; 66; 127; 150; 151; 172; 173] позволили установить иерархию современных проблем развития отрасли (рисунок 2).

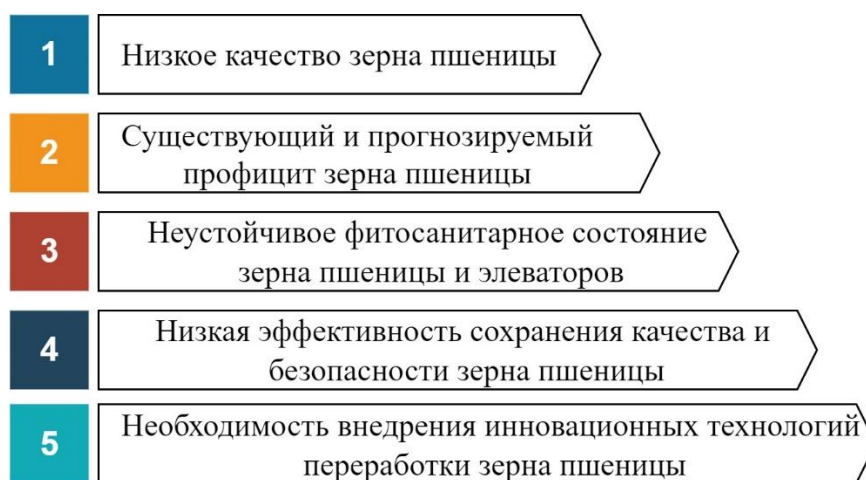


Рисунок 2 – Современные проблемы зернового комплекса России

Системное решение существующих проблем зерновой отрасли, ориентированное на разработку и внедрение интенсивных технологий обеззараживания, повышение выхода готовой продукции с единицы зернового сырья и создание новых пищевых ингредиентов натурального происхождения с добавленной пищевой ценностью, будет способствовать созданию устойчивого фундамента продовольственной безопасности страны, что в целом соответствует Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. (проект).

1.2 Современные подходы в технологии переработки зерна пшеницы

Основным стимулом развития передовых отечественных технологий промышленной переработки зерна является значительный потенциал рынка внутреннего потребления полученной продукции. Существующий профицит зерна (в России в целом и в Зауралье в частности) обуславливает невыгодные для производителя цены, а отсутствие новых рынков сбыта зерна диктует необходимость активного развития внутренней системы переработки зерна в стране. Кроме того, для российского рынка зерна характерна неравномерность территориального размещения производства при более равномерном распределении регионов-потребителей по территории страны с основными центрами потребления в крупных промышленных городах, что стимулирует развитие промышленной переработки зерна вблизи мест возделывания культуры [56].

Внедрение новых ресурсосберегающих технологий производства, хранения и переработки зерна – основное стратегическое мероприятие, обозначенное Долгосрочной стратегией развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. В соответствии со Стратегией общий объем инвестиций в наращивание внутреннего потребления зерна на 2019–2035 гг. составит 708,8 млрд р., в том числе в создание мощностей глубокой переработки зерна – 150 млрд р., в создание и модернизацию мощностей мукомольно-крупяной и комбикормовой промышленности – 558,8 млрд р. [32].

В качестве приоритетных направлений государственной политики и развития научно-технического обеспечения зернового комплекса можно выделить создание и внедрение современных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, а также развитие и совершенствование технологий промышленной переработки зерна, увеличение его внутреннего потребления.

Одним из главных конкурентных преимуществ предприятий отрасли переработки зерна пшеницы на пищевые цели является возможность регулирования

объемов выпускаемой продукции, что позволяет адаптировать производственный процесс к текущим требованиям рынка и снизить экономические риски. В процессе переработки зерна можно получить широкий перечень продуктов с высокой долей добавленной стоимости.

В качестве одного из способов переработки зерна пшеницы можно выделить проращивание. Данный способ заключается в использовании внутренних ресурсов зерна как живого организма. Активация биохимических процессов зерна в процессе проращивания приводит к накоплению легкоусвояемых сахаров, аминокислот, витаминов и минералов, а также способствует образованию природных антиоксидантов, что очень важно в рамках выбранного Правительством страны направления на оздоровления питания россиян [4; 9; 15; 334].

Значительный вклад в изучение вопросов повышения технологических свойств, сохранения качества, а также применения технологии проращивания зерновых культур в производстве хлебобулочных изделий внесли такие отечественные исследователи, как Н. П. Козьмина, Л. Я. Ауэрман, А. П. Косован, Р. Д. Поландова, Т. Б. Цыганова, С. Я. Корячкина, Н. М. Дерканосова, В. Я. Черных, Т. Г. Богатырева, Д. В. Шнейдер и другие российские ученые.

Также множество работ иностранных ученых посвящено исследованиям в области определения оптимальных режимов проращивания и использования пророщенного зерна для повышения пищевой ценности и биодоступности. Среди них С. Hoseney, Т. V. Price, G. G. Houb, S. Xiong, A. Dubat, H. Feng, J. Ding, J. Baranzelli, D. H. Kringel, R. Colussi, F. F. Paiva и др.

Учитывая многообразие используемых подходов, методик и технологических способов воздействия на зерно пшеницы, применяемых исследователями как в российской, так и в международной практике по проращиванию зерновых культур, можно выделить общее необходимое требование – данный процесс необходимо проводить в четко контролируемых условиях (режимы, периодичность и продолжительность замачивания/увлажнения; температура процесса и используемой воды; циркуляция воздуха во время прораствания; используемый свет; параметры завершения процесса и другие характеристики). Необходимость прово-

дить так называемое *контролируемое проращивание* подтверждается многочисленными патентами и международными публикациями [260; 334; 391].

Термин «контролируемое проращивание» практически не используется в работах российских исследователей. Так, Elibrary данное понятие встречается всего девять раз, тогда как его английская версия «controlled germination» упоминается в 863 публикациях в базе данных и более 11 тыс. раз в мировых системах индексирования Scopus и Web of Science.

Понятие «контролируемое проращивание» сформулировано в ряде нормативных документов таких стран, как Германия, Швеция, Швейцария, и означает естественный регулируемый способ улучшения пищевой ценности, технологических свойств и сенсорных характеристик зерновых и бобовых культур, проводимый с использованием самых современных технологий, при соблюдении высоких требований безопасности пищевых продуктов [207; 208; 213; 240; 253; 262; 267; 275; 292; 298; 304; 305; 324; 331; 332; 360; 365; 391; 394].

Использование данного процесса в переработке зерновых культур имеет большое практическое значение. Многочисленные исследования [4; 9; 63; 64; 260; 334] показывают, что с применением процессов проращивания возможно разрабатывать современные зерновые продукты и провести диверсификацию ассортимента данной группы товаров. Получаемое в результате проращивания сырье имеет повышенное содержание биологически активных соединений и может использоваться в качестве профилактического элемента питания.

1.2.1 Потенциал зерна пшеницы (*Triticum aestivum* L.)

как биологического объекта, используемого в технологии переработки

Представляя собой сложную биологическую систему, зерно пшеницы отличается большой вариабельностью свойств, что обусловлено совокупностью различного рода внешних и внутренних факторов, в первую очередь сортовых осо-

бенностей, почвенно-агроклиматического условия произрастания, условий послеуборочной обработки из зерна и др. [1; 133]. Неоспоримым остается тот факт, что при традиционном размоле из зерна пшеницы удаляются ценные компоненты, которые находятся в периферийных частях и зародыше. В результате в конечном продукте содержится незначительное количество белковых и минеральных веществ, витаминов, также резко сокращается содержание пищевых волокон, необходимых для здоровья [4; 176]. Минеральные вещества, как и витамины, сконцентрированы в оболочке зерна и при обычном помоле удаляются. Так, из 28 жизненно важных элементов пшеницы из муки некоторые исчезают совсем, а другие сохраняются в ничтожных количествах: например, кальция остается 19 мг от начальных 60; железа – 1,86 от 5,38; марганца – 0,86 от 3,86 и т. д. В то же время калорийность возрастает. При производстве сортовой муки теряется 60 % кальция, 85 % магния, 40 % хрома, 86 % марганца, 70 % железа, 89 % кобальта, 68 % меди, 78 % цинка, 48 % молибдена, 16 % селена, 63 % витаминов группы В.

По данным западноевропейских ученых [197; 234], мука высших сортов по сравнению с мукой из цельносмолотого зерна теряет около 2/3 витамина В₂ и более 80 % витаминов В₁ и РР, полностью теряет витамин Е, более 3/4 железа, меди, марганца и калия, около 50 % магния [17; 38; 58; 122]. Для более рационального применения всех ценных составляющих зерна пшеницы целесообразно использовать муку из цельносмолотого зерна или пророщенное зерно без предварительного шелушения.

Процесс проращивания зерна пшеницы, путем использования его внутренних ресурсов как живого организма, приводит к активации биохимических процессов и накоплению легкоусвояемых сахаров, аминокислот (особенно лизина) [373], витаминов и минеральных веществ [271], а также способствует образованию природных антиоксидантов и синтезу γ-аминомасляной кислоты (далее – ГАМК) [186; 188; 229; 230; 231; 232], что очень важно в рамках выбранного руководством страны направления на здоровое питание россиян [4; 9; 14; 15; 17; 53; 64; 141].

О. Donkor, А. Singh с коллегами [373] отмечают, что пшеница прошедшая процессы проращивания, имеет повышенное содержание витаминов (А, В₁, В₂, В₆,

С и Е), биологически активных веществ (включая фенольные соединения), антиоксидантную активность [263]. Процесс проращивания комплексно активирует ферментативную систему зерна, повышая тем самым его усвояемость [373].

В настоящее время существует ряд исследований [9; 10; 30; 48; 52; 63; 65; 108; 133; 134; 177], посвященных процессам получения пророщенного зерна пшеницы, которые направлены на создание сырьевых ингредиентов с целью обогащения пищевых продуктов и улучшения их качества. Однако все они имеют обособленный характер направлений исследований и требуют единой систематизации.

Анализ литературных данных, научной информации и экспериментальных материалов отечественных и зарубежных авторов по данному вопросу [17; 24; 38; 122; 192; 207; 215; 243; 247; 259; 263] позволяет сделать вывод, что единой методики проращивания зерновых культур не существует. Это сложный многофакторный процесс, который предполагает применение индивидуальных методов воздействия на зерно, технологических параметров и режимов. Но несмотря на разнородность отечественной и мировой практики в данном вопросе, на основе анализа массива опубликованных исследований [9; 30; 48; 52; 65; 108; 133; 134; 177] можно заключить, что *контролируемый процесс проращивания* в совокупности с применяемыми факторами воздействия на зерно позволяет получить новый сырьевой ингредиент, обладающий рядом положительных характеристик и технологических свойств [253; 262; 360; 365].

Процесс контролируемого проращивания подразумевает управление процессом путем отслеживания температуры воздуха, количества воды, притока кислорода, интенсивности освещения, продолжительности процесса и ряда других характеристик. При этом в процессе проращивания активно используются новые формы физической энергии для повышения интенсивности протекания обмена веществ и максимального накопления полезных для здоровья ингредиентов.

Обработка зерна направленной физической энергией является относительно новым способом повышения пищевой ценности, придания новых свойств и повышения качества конечного продукта в процессе контролируемого проращивания. Для этого используются такие формы энергии, как гидростатическое давле-

ние, акустическая энергия, электрическая энергия, свет, магнитные поля и др. [26; 93; 95; 101; 152; 157; 160; 161 174; 274]. Многочисленные исследования показали увеличение полезных для здоровья метаболитов в растениях или семенах, подвергающихся данным видам обработки. Например, рядом исследователей [26; 229; 231; 287] отмечается, что обработка магнитным полем улучшает прорастание и влияет на физиологические и биохимические процессы в зерне [377; 378]. Q. Wang и его коллеги доказали, что ультразвуковое воздействие приводит к активизации роста семян проса, риса и бобовых культур, отметив увеличение содержания ГАМК, фенольных соединений и общей антиоксидантной активности в пророщенных сырьевых ингредиентах [218; 229; 231; 289; 393]. Это делает данный сырьевой ингредиент незаменимым при производстве пищевых продуктов, особенно хлебобулочных изделий.

1.2.2 Нормативно-правовые аспекты применения продуктов переработки зерна пшеницы в технологиях пищевых производств

Зерно пшеницы, будучи стратегическим ресурсом пищевой промышленности России, должно обладать рядом свойств, позволяющих получать сырьевые ингредиенты, которые не только отвечали бы требованиям современной нормативной документации, но и давали возможность разработки научно обоснованных инновационных продуктов питания с целью формирования сбалансированного рациона населения страны в рамках принятой Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. и Основ государственной политики в области здорового питания населения на период до 2020 г. [4].

Оптимальный химический состав и строение пищевой матрицы цельного зерна пшеницы способствуют профилактическому действию и снижению рисков возникновения хронических неинфекционных заболеваний. Современные исследования в области питания и эпидемиологии показывают, что потребление про-

дуктов из цельного зерна может снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний, различных типов рака, диабета второго типа и, возможно, улучшить регуляцию массы тела, а также увеличить продолжительность жизни [12; 15; 18]. Кроме того, представлен ряд исследований, свидетельствующих о том, что синергетическое действие некоторых биоактивных соединений и пищевых волокон, содержащихся в цельном зерне пшеницы, способствует защите здоровья и поддержанию нормальной жизнедеятельности организма человека [11].

Однако использование сырьевых ингредиентов из цельного зерна пшеницы сопряжено с отсутствием регулирования их безопасности и качества на законодательном уровне. На данный момент в Российской Федерации существует значительный пробел в систематизации понятийного аппарата и разработке нормативных документов, регулирующих качество продуктов переработки зерна, таких как цельносмолотая мука, пророщенное зерно пшеницы, мука из зародышей пшеницы и др., что оставляет данный сегмент линейки продукции без соответствующего надзора и ставит под сомнение безопасность и качество получаемых на их основе или обогащенных ими изделий.

В своих исследованиях доктор технических наук, профессор А. А. Кочеткова подчеркивает, что производство пищевых продуктов на законодательном уровне обеспечивается более чем 7 300 нормативными документами. При этом отсутствие систематизированной нормативной документации в области использования цельного зерна позволяет недобросовестным производителям работать в данном сегменте рынка и производить продукцию сомнительного качества [72; 73; 122].

В России пока не существует стандартизированного термина для цельнозерновой продукции – цельносмолотой муки и цельнозерновых хлебобулочных изделий, в отличие от большинства развитых стран. Определение цельнозернового сырьевого ингредиента впервые было сформулировано в 1999 г. Американской ассоциацией химиков зерновых культур (ААСС – American Association of Cereal Chemists), а в 2017 г. унифицировано и утверждено мировым сообществом в рамках 6-го Международного саммита по цельнозерновым продуктам (Вена, 13–15 ноября 2017 г.).

Общемировое понятие сырьевых ингредиентов из цельного зерна включает в себя «целые, неповрежденные, размолотые, дробленые, давленные, сплюснутые или иным способом обработанные зерна, при этом все анатомические компоненты, включая эндосперм, зародыш и оболочку, должны присутствовать в тех же относительных пропорциях, что и в непереработанном зерне» [185; 385].

Данное определение адаптировано в законодательстве ряда стран. Так, в Канаде и США применяется термин «wholewheat», означающий цельнопшеничный хлеб. В США термин «цельнопшеничная мука» регламентируется как продукт дробления очищенного зерна с сохранением пропорции всех натуральных ингредиентов анатомических частей зерна. Согласно канадскому законодательству, данный термин применим для изделий, содержащих в своем составе не менее 60 % «цельнопшеничной» муки. Подобного терминологического подхода придерживаются в Испании, Швеции и Новой Зеландии [122].

Согласно Комиссии ФАО-ВОЗ Codex Alimentarius, понятие «цельнозерновой» относится к цельному нетронутому зерну, находящемуся в хлебе, сдавленному или превращенному в хлопья, либо к цельнозерновой муке, используемой для изготовления цельнозернового хлеба [122; 185].

Систематизация публикаций в базе данных Elibrary показала, что максимально релевантно по ключевым словам идентифицируются термины «зерновой продукт» и «цельносмолотая мука» – 4 144 и 343 документа по указанной базе. При этом оба этих термина встречаются в публикациях, посвященных использованию сырьевых ингредиентов с целью обогащения пищевых продуктов (таблица 1). В указанной поисковой системе по термину «цельнозерновой(ая)» обнаружено 128 публикаций, при этом преимущественно в найденных работах рассматривается производство и качество готовых изделий.

Анализируя публикации в мировых системах индексирования Scopus и Web of Science, можно отметить, что по термину «whole grain» идентифицируется более 4 000 результатов, «whole grain product» – более 37 тыс. публикаций. Основные лидеры научных исследований по странам – США (8 858 документов), Китай (4 769 документов), Великобритания (2 648 документов).

Таблица 1 – Статистика употребления терминологических понятий в публикациях, входящих в российскую и международные базы данных

Термин	База данных	
	Elibrary (общее количество публикаций – 33 630 922)	Scopus и Web of Science
Зерновой продукт	4 144	—
Цельносмолотый(ая)	343	—
Цельнозерновой(ая)	128	—
Мультизерновой(ая)	19	—
Цельнопшеничный(ая)	10	—
Wholemeal	136	847
Whole grain	70	4 261
Wholewheat	4	1 219
Sprouted grain	198	1 352
Whole grain product	222	37 816

По данным официального сайта Роскачества [149], специалистами ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности разработан СТО 46429990-116-2019 «Изделия хлебобулочные с добавлением зерна и продуктов его переработки», в котором приведена классификация изделий и определен перечень показателей качества мультизернового, зернового и цельнозернового хлеба. Данный документ предполагает следующую классификацию хлебобулочных изделий [149]:

- мультизерновой хлеб – хлебобулочное изделие без начинки с влажностью более 19 %, содержащее в рецептуре три и более видов зерна и продуктов его переработки (кроме пшеничной и ржаной муки);

- зерновой хлеб – хлебобулочное изделие без начинки с влажностью более 19 %, содержащее в рецептуре не более двух видов зерна и продуктов его переработки (кроме пшеничной и ржаной муки);

- хлеб из цельнозерновой муки – хлебобулочное изделие без начинки с влажностью более 19 %, содержащее в рецептуре цельнозерновую и (или) обойную муку;

- цельнозерновая мука – мука, вырабатываемая из зерна без отбора отрубей.

Введение данного нормативного документа не позволяет устранить правовой пробел в данном сегменте рынка продукции в Российской Федерации. Использование пророщенного зерна пшеницы также находится в нашей стране вне право-

вого поля. Впрочем, до недавнего времени и в мировой нормативной базе не было определено понятие «пророщенное зерно».

В 2008 г. ААСС разработала, а в 2017 г. согласовала с мировым сообществом понятие «пророщенное зерно» – зерно, содержащие все исходные составляющие, такие как оболочки, зародыш и эндосперм, при этом длина проростка не превышает длину самого ядра, а пищевая ценность при этом не уменьшается. Было определено, что цельный зерновой продукт должен содержать 8 г или более цельного зерна на 30 г продукта [185; 315; 385]. Также определена идентичность понятий «wholemeal» и «whole grain» означающая «цельнозерновой(ая)».

В Российской Федерации с 1 сентября 2019 г. действует ГОСТ 31805-2018, согласно которому масса зерновых продуктов в смеси с пшеничной хлебопекарной мукой в составе хлебобулочных изделий не должна превышать 20 % массы смеси. В то же время согласно приказу Минздрава России от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» рекомендуемая рациональная норма потребления хлебных продуктов (хлеб и макаронные изделия в пересчете на муку, мука, крупы, бобовые) – 96 кг на человека в год. При этом на муку для выпечки хлеба и кондитерских изделий выделяется 64 кг на человека, не менее 30 % муки должно быть представлено сортами грубого помола (в том числе цельносмолотой мукой).

Обозначенный в ряде правительственных программ целевой ориентир – здоровое питание россиян, а также анализ современной нормативно-правовой базы позволяют сделать вывод, что *использование потенциала цельного зерна пшеницы* как незаменимого сырьевого ингредиента для создания продуктов с добавленной стоимостью является перспективным направлением, находящимся на начальном этапе своего развития. Данный сегмент отрасли обладает огромным потенциалом, позволяющим значительно нарастить объемы промышленной переработки зерна и *реализовать приоритетное направление развития зернового комплекса* – обеспечение внутренних потребностей Российской Федерации.

Актуальность выбранного направления в мировом масштабе была освещена в рамках 6-го Международного саммита по цельнозерновым продуктам группой исследователей во главе с профессором С. Носеуеу. Учеными была обозначена общая цель – *увеличение объемов потребления цельного зерна в мировом масштабе*. Международная рабочая группа, включавшая всемирно известных представителей научной среды, правительственных учреждений и неправительственных организаций, таких как ААСС, отметила, что для обеспечения ясности восприятия потребителей и единообразной основы для разработки рекомендаций по гармонизации рационов питания требуется введение согласованного глобального определения сырьевых ингредиентов из цельного зерна и пищевых продуктов на их основе, что в дальнейшем будет служить платформой для развития пищевой промышленности в данном направлении.

1.2.3 Характеристика факторов, определяющих риски микробной контаминации при переработке продовольственного зерна, и современные технологии обеззараживания

В соответствии с Концепцией государственной политики в области здорового питания, важнейшей задачей пищевой промышленности является обеспечение населения России *безопасными продуктами питания* общего и специального назначения. Создание таких производств возможно лишь на основе использования современных экологически «чистых» технологий производства.

Долгое время считалось, что загрязнение зерна пшеницы не вызывает большой опасности, поскольку предполагалось, что низкая (до 15 %) влажность зерна не может поддерживать рост микроорганизмов, кроме того, любая патогенная микрофлора будет инактивирована во время термической обработки при производстве конечного продукта. Однако в ряде исследований доказано [159; 243; 272; 296; 317; 328; 366], что часть микрофлоры может выжить в состоянии анаби-

оза в течение длительного периода в сухой среде [366] и активироваться при повышении влажности зерна, при этом вещества, продуцируемые с процессе активации микрофлоры (микотоксисины токсигенных плесеней), переходят в готовое изделие, делая его опасным для здоровья в долгосрочной перспективе.

В настоящее время 120 стран контролируют содержание микотоксинов в зерне пшеницы и ужесточают регламентируемые значения. В условиях интенсивного развития технологий возделывания сельскохозяйственных культур быстро увеличивается число фитопатогенов как на семенах зерновых, так и на продовольственном зерне. В настоящее время выделен достаточно большой спектр заболеваний зерновых культур, распространение и развитие которых имеют нарастающую тенденцию. В их число входят токсигенные плесневые грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* и др. В результате массового поражения семян этими грибами снижается урожайность зерновых, ухудшается качество сельскохозяйственной продукции и происходит ее загрязнение микотоксинами. Наибольший риск при этом создает возникновение очагов загрязнения пищевого сырья и продуктов питания токсигенными плеснями. Так, еще в 1985 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций (ФАО) на основе результатов, представленных базами данных EFSA и Biomin, оценивала глобальное загрязнение сельскохозяйственных культур микотоксинами в масштабе около 25 % мирового оборота. Анализ открытых источников свидетельствует о более высокой распространенности микотоксинов в настоящее время. Так, Streit и коллеги [122; 368] в 2013 г. опубликовали данные, подтверждающие, что 72 % из 17 300 отобранных проб продовольственного зерна со всех континентов, собранных за последние восемь лет, содержали микотоксины. Kovalsky с соавторами [278] говорят о том, что загрязнение микотоксинами в кормах и зерновом сырье достигает 79 %, что подтверждается исследованием более 2 000 образцов, отобранных из 52 стран. Согласно ежегодным отчетам Системы быстрого реагирования при появлении опасностей, связанных с пищевыми продуктами и кормами (The Rapid Alert System for Food and Feed – RASFF) [337], в мировом масштабе наличие микотоксина дезоксиниваленола регистрируется в 90 % проб пшеницы, риса и кукурузы, 70 %

проб ячменя, 50 % проб овса. Также RASFF сообщалось, что присутствие микотоксина Т-2 было выявлено в 11 % проб продовольственного зерна пшеницы, ячменя, ржи, овса, риса и кукурузы, отобранных с 2001 по 2011 г. в странах Европы и Южной Америки. Положительные результаты в отношении микотоксина зеараленона отмечены у 31–43 % проб, отобранных из стран Азии, Америки и Европы с 2000 по 2017 г. [122; 368]. Частота выявления превышения допустимого уровня микотоксинов в продуктах переработки зерновых культур за 2018–2014 гг. в странах Европейского союза представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Выявленные случаи превышения содержания микотоксинов в продуктах переработки зерновых культур за 2018–2014 гг. в Европейском союзе [327; 371; 392]

Микотоксин	2014	2015	2016	2017	2018	Итого
Афлатоксин	902	638	649	585	484	3 258
Дезоксиниваленол (ДОН)	4	3	2	11	4	24
Фумонизины	2	1	3	4	4	14
Охратоксин А	20	27	34	35	32	148
Патулин	3	–	–	–	–	3
Зеараленон (ЗОН)	2	–	–	–	4	6

Данные таблицы 2 свидетельствуют о значительном распространении афлатоксина В1 в зерновом сырье и продуктах переработки; менее часто встречается охратоксин А; патулин и зеараленон выявляются в превышающих количествах в единичных случаях.

В Российской Федерации данная проблематика наиболее часто поднимается в публикациях академика РАН, доктора технических наук, профессора, научного руководителя ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» В. А. Тутельяна и доктора технических наук, академика Российской академии продовольственной безопасности Л. И. Мачихиной, которые в своих работах особо подчеркивают *актуальность проблем обеспечения безопасности пищи*, основанную на оценке загрязнения продовольственного сырья и готовых продуктов микроскопическими плесневыми грибами – потенциальными продуцентами микотоксинов [66; 155; 156].

Мониторинговые исследования загрязненности микотоксинами продовольственного зерна урожаев 2013–2016 гг. в России выявили превышение максимально допустимого уровня (МДУ) афлатоксина В1 в 4 % проб, а также два случая превышения МДУ по охратоксину А [42; 139].

В исследованиях Н. Р. Ефимочкиной, И. Б. Седовой, С. А. Шевелевой, В. А. Тутельяна [42; 155; 156] отмечается, что для Российской Федерации ДОН является преобладающим загрязнителем зерновых культур. Высокие уровни его содержания в зерне пшеницы, выращенном в южных регионах страны (Краснодарском и Ставропольском краях) после 2014 г., связывают с распространением фузариоза растений. Мониторинг загрязнения этим микотоксином продовольственного зерна в 2014–2016 гг. свидетельствует, что в 30 % проб пшеницы ДОН присутствовал в количестве от 0,05 до 5,85 мг/кг, в 6 % проб зафиксировано превышение МДУ (0,7 мг/кг) по данному показателю [42; 138; 312].

Систематический анализ загрязнения Т-2 токсинами отечественного продовольственного зерна в последние 10 лет свидетельствует о широкой распространенности этих контаминантов: частота обнаружения Т-2 в 2008, 2012, 2013 и 2016 гг. составляла 44; 50; 100 и 33 % соответственно [139].

Микотоксины – стабильные токсичные вещества, которые чрезвычайно трудно удаляются как из растительных, так и животных пищевых продуктов. Их влияние на организм приводит к развитию различного рода микотоксикозов – неинфекционных заболеваний с тяжелыми формами осложнений (таблица 3).

Таблица 3 – Основные микотоксины, содержащиеся в пищевых продуктах, и их основное воздействие на организм человека и животных

Группа микотоксинов	Патологические эффекты микотоксина на организм человека и животных
Афлатоксины (АФВ1, АФВ2, АФГ1, АФГ2, АФМ1, АФМ2)	Канцерогенное, мутагенное, гепатотоксическое, тератогенное, нефротоксическое, иммунодепрессивное действие
Охратоксин (ОТА, ОТБ, ОТС)	Нефротоксическое, гепатотоксическое, нейротоксическое, мутагенное, тератогенное, канцерогенное действие, ингибирование синтеза белка

Продолжение таблицы 3

Группа микотоксинов	Патологические эффекты микотоксина на организм человека и животных
Трихотецены (Т-2, НТ-2, ДАС, НИВ, ДОН)	Цитотоксическое, мутагенное, нейротоксическое действие, анорексия и диарея, потеря веса, нейроэндокринные изменения, лейкоцитоз, кровоизлияние или циркуляторный шок, поражения полости рта, дерматит, бесплодие
Зеараленон (ЗОН)	Канцерогенное, иммунотоксичное, генотоксичное действие, снижение репродуктивной функции, эстрогенные эффекты, самопроизвольное прерывание беременности

Совокупный анализ данных [42; 51; 71; 129; 135; 139; 334; 345; 355; 356; 363] показал, что группа афлатоксинов, представляющая собой дифуранокумарины или фуранокумарины, в основном производимые *Aspergillus*, повсеместно обнаруживается в продуктах как растительного (АФВ1, АФВ2), так и животного происхождения (АФМ1, АФМ2). Сегодня ученые многих стран связывают хронический афлатоксикоз с гепатоцеллюлярной карциномой (раком печени), в то время как острый афлатоксикоз проявляется болью в животе, рвотой, отеком и смертью, что зарегистрировано в Китае, Индии, Малайзии и Кении [23; 24; 236; 250; 271; 273]. Недавние исследования показали, что глобальное бремя афлатоксикозов может провоцировать возникновение от 4,6 до 28,2% случаев всех видов гепатоцеллюлярной карциномы – третьей по значимости причины смертности от рака в мире, способствовать развитию рака легких, желудочно-кишечного тракта, а также вызывать повреждение почек и печени [25; 198; 287, 383].

Группа охратоксинов обладает выраженным нефротоксическим, а также гепатотоксическим, тератогенным и канцерогенным действием. Токсичность данной группы веществ вызывает слабость, анемию, снижает усвоение потребляемой пищи. В отдельных регионах были отмечены летальные исходы, связанные с заболеваниями почек (например, эндемическая нефропатия на Балканах, прогрессирующий хронический нефрит и рак верхних отделов мочеиспускательного канала) [23; 194; 203; 204; 335].

Трихотецены, подразделяющиеся на тип А (Т-2 токсин и его основной метаболит НТ-2) и тип В (дезоксиниваленол (ДОН) и ниваленол (НИВ)), способны вызывать гастроэнтерит, кишечные кровоизлияния, обусловленные поражениями

кишечника, и быструю потерю веса [39; 40; 209]. В исследовательских работах приводятся данные, что при концентрации ДОН от 1 до 7 мг/кг значительно уменьшается площадь абсорбции поверхности ворсинки, что изменяет проницаемость желудочно-кишечного тракта и приводит к иммуносупрессивному эффекту [64; 139]. Токсичность ДОН проявляется вспышками гастроэнтерита у человека, что приводит к типичным острым симптомам: тошноте, рвоте, боли в животе, диарее, головной боли, головокружениям или лихорадке [358].

Зеараленон, являясь по своей природе эстрогеноподобным соединением, способным связывать рецепторы эстрогена, приводит нарушениям репродуктивной функции и гиперэстрогенизму [56; 57]. Случаи эстрогенного синдрома у человека (синдром преждевременного полового созревания) и животных (репродуктивная токсичность) отмечаются в Северной Америке и Европе [35].

Несомненно, вышеперечисленные микотоксины наносят значительный ущерб здоровью человека и обуславливают потери продовольственного сырья в мировом масштабе, причем эта проблема, несмотря на все предпринимаемые меры безопасности, имеет нарастающий характер. Особую роль в повышении контаминации продовольственного зернового сырья и продуктов питания играет нарастающая сложность современного рынка, отсутствие прослеживаемости дистрибьюторской цепочки и повышение риска перекрестного микробного загрязнения, связанного с глобализацией торговли зерновыми культурами [139; 370; 372].

Проблеме контаминации зерна и поиску путей обеззараживания зернопродуктов посвящены работы отечественных и зарубежных ученых Г. А. Закладного, Н. В. Цугленка, Г. И. Цугленок, Г. Г. Юсуповой, В. Я. Черных, С. Я. Корячкиной, U. S. Annaruge, B. J. Park и др. Вопросам качества и проблемам микробиологической безопасности уделяли внимание такие выдающиеся ученые, как В. А. Тутельян, Л. И. Мачихина, Р. Д. Поландова, Л. А. Трисвятский, а также Е. Д. Казаков и многие другие исследователи.

В пищевой промышленности широко применяются химические способы обеззараживания, получившие наибольшее распространение в XX веке и эффективно используемые в пищевой промышленности до сих пор. Эти способы подра-

зумевают использование веществ химического происхождения, которые могут частично оставаться на поверхности зерна и переходить в конечный продукт. Некоторые из них достаточно дорогостоящи и требуют квалифицированного подхода, так как есть риск ухудшения качества зерна и конечных продуктов.

Биологические способы являются достаточно дорогостоящими и только начинают распространяться в нашей стране. В то же время физические способы обеззараживания уже активно применяются как на стадии послеуборочной обработки зерновых культур, так и для разрушения накопленных микотоксинов после хранения. Они способны минимизировать риски миграции микотоксинов в готовый продукт и сделать его безопасным для потребителя.

Наиболее перспективные физические способы обеззараживания зерновых культур, имеющие практический потенциал применения в пищевой промышленности, представлены на рисунке 3. Эти способы обеззараживания, используемые для дезактивации плесневых грибов и разрушения микотоксинов, демонстрируют наиболее эффективные практические результаты и являются перспективными методами минимизации рисков загрязнения готовых пищевых продуктов.

Научным коллективом МГУПП под руководством профессора В. Я. Черных разработана технологическая схема использования тепловой обработки коротковолнового диапазона инфракрасного излучения. Обеззараживающий эффект достигается путем использования источника излучения, который создает электромагнитное поле, служащее носителем энергии: тепловая энергия передается с помощью этого поля и поглощается предметами окружающей среды, т. е. атомами облучаемого вещества. Это позволяет достичь значительно больших скоростей прогрева материала и получить обеззараживающий эффект [3; 110; 169; 171].

Разновидности высокоинтенсивного полихроматического света также используются для обеззараживания зерновых культур. Ультрафиолетовое излучение оказывает поверхностное воздействие, не затрагивая внутренние части зерна, благодаря чему не изменяет его пищевую ценность. Обработка зерна бактерицидным ультрафиолетом позволяет снизить микробиологическую обсемененность образцов в десятки раз относительно начального уровня [24; 93; 123; 164; 249; 374].

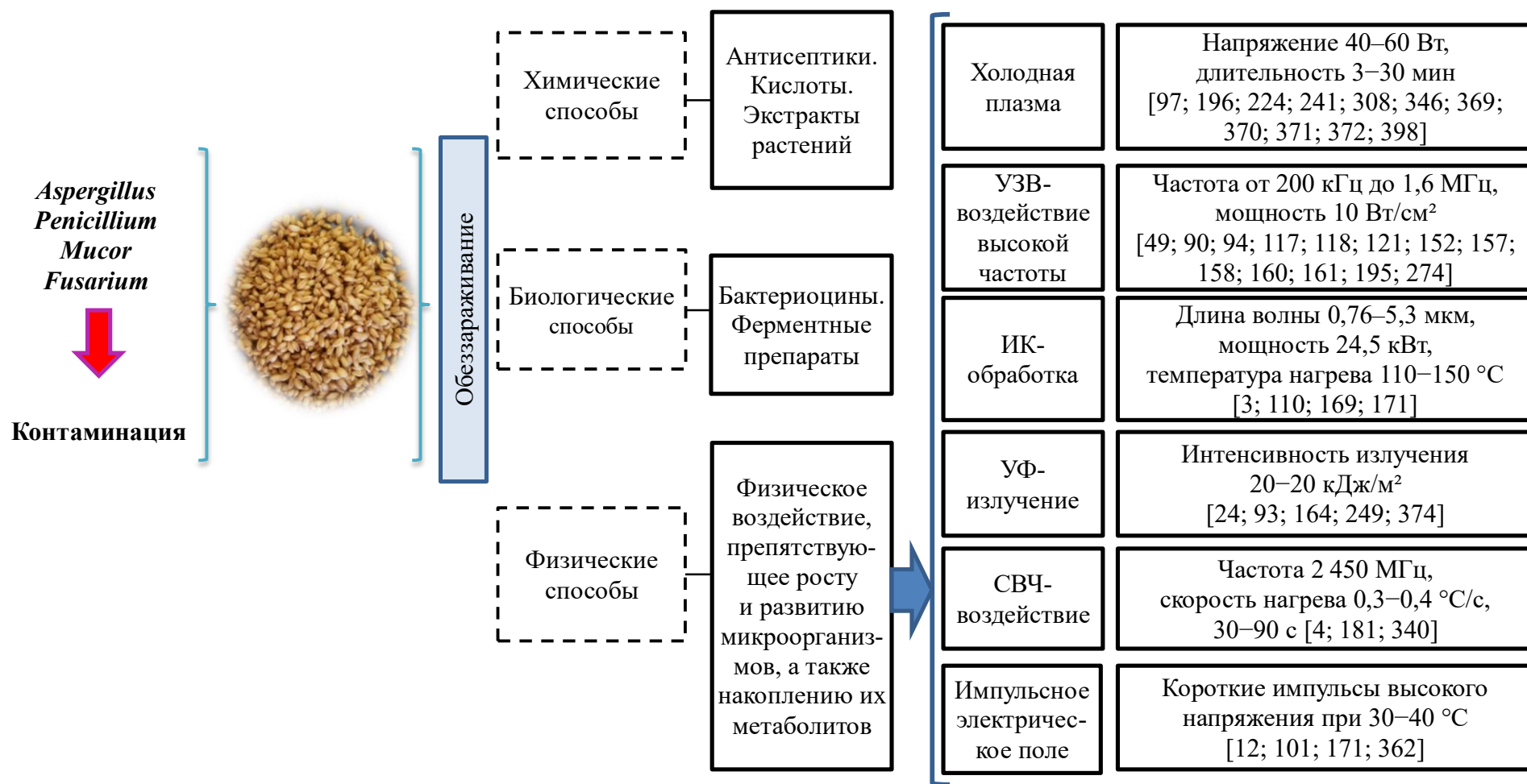


Рисунок 3 – Наиболее перспективные способы обеззараживания зерновых культур, имеющие практический потенциал применения в пищевой промышленности (российский опыт и мировая практика)

Ряд авторов [4; 184; 340] в своих работах отмечают, что для обеззараживания зерна эффективна обработка СВЧ-излучением. Такая обработка обеспечивает обеззараживание семян от *Aspergillus* на 100 %, *Fusarium* – на 91–100 %, *Penicillium* – на 100 %, но данный способ приводит к необратимым изменениям сырьевых компонентов и значительно ухудшает технологические и пищевые достоинства конечного продукта.

Также для обеззараживания используется импульсное электрическое поле, основанное на пропускании электрических импульсов высокого напряжения через растительный материал между двумя электродами, соединенными непроводящим материалом, помещенный в камеру обработки. При этом наблюдается необратимое разрушение клеточной мембраны микроорганизмов и полная их инаktivация [12; 101; 171; 362]. К сожалению, данный способ пока не находит широкого применения в России.

На сегодняшний день перспективным и только зарождающимся методом обеззараживания пищевого сырья является использование холодного плазменного излучения (ХПИ) [97; 196; 241; 308]. Холодная плазма является четвертым состоянием вещества и представляет собой ионизированный газ, содержащий атомы или молекулы в метастабильном состоянии с нулевым суммарным электрическим зарядом [97].

В пищевой промышленности данный метод обеззараживания начал активно применяться для обработки свежих плодов и овощей, стерилизации поверхности упаковки и оборудования [20; 28; 29; 30; 63].

Bermúdez-Aguirre, Wemlinger, Pedrow, Barbosa-Cánovas и др. [201; 369; 370; 371; 372] в своих работах указывают, что микробная инаktivация холодной плазмой обусловлена ультрафиолетовыми фотонами, электрическими полями и активными веществами, такими как атомарный кислород, гидроксильные ионы, метастабильные молекулы кислорода, озон, ионы азота, радикалы NO. Эффективность инаktivации воздушной плазмы также зависит от мощности и времени обработки. В ряде работ [224; 346; 369; 370; 371; 372] отмечается выраженное воздействие не только на микроорганизмы, но и на микотоксины. В частности, после

обработки холодной плазмой наблюдается снижение содержания афлатоксина В1 более чем на 70–90 %, а афлатоксина G1 – более чем на 65–95 %.

В. J. Park и соавторы [326; 327; 392] подтверждают, что время, затрачиваемое на разрушение афлатоксинов с использованием холодной плазмы, намного меньше, чем при других видах излучений (ультрафиолетовом и гамма-излучении).

В настоящее время в пищевой промышленности накоплен значительный массив экспериментальных данных по используемым подходам и параметрам применения установок, генерирующих холодное плазменное излучение, что приводит к значительной разнородности результатов исследований [224; 346; 369; 370; 371; 372; 398]. Однако многочисленные исследования, представленные в открытой печати [4; 57; 58; 97; 133; 134; 171; 383], не дают полного представления о возможности применения данного способа воздействия на такой биологический объект, как зерно пшеницы. Несмотря на это, данный способ обеззараживания является наиболее перспективным именно при проращивании культур, так как холодная плазма имеет температуру воздействия 30–40 °С, что позволяет не нагревать зерно пшеницы при обработке и не изменять его биохимических свойств.

Еще одним современным методом обеззараживания является ультразвуковое воздействие. Эффект инактивации микроорганизмов при помощи ультразвука объясняется генерацией внутриклеточной кавитации. Создаваемые механические удары могут разрушать структурные компоненты клеток вплоть до их лизиса. При этом споры более устойчивы к данному воздействию, чем вегетативные формы, в то время как ферментативные системы инактивируются ультразвуком в результате эффекта деполимеризации [49; 121].

Критическими факторами обеззараживания являются природа ультразвуковых волн, время воздействия на микроорганизмы, тип микроорганизмов, объем обрабатываемой пробы, состав пищевого ингредиента и его температура. Описываемые авторами [90; 94; 117; 118; 119; 121; 152; 157; 160; 161; 195; 274] эффекты не являются стабильными и минимальными для проведения полноценного процесса обеззараживания при использовании только ультразвукового воздействия. Данный результат может быть достигнут путем сочетания ультразвука с температур-

ным воздействием или давлением. Возможные способы обеззараживания включают следующие сочетания воздействий:

- маносонизация (сочетание ультразвукового воздействия и давления);
- термосонизация (сочетание ультразвука и температурного воздействия);
- манотермозонизация (сочетание ультразвука, давления и температурного воздействия) [121; 180; 195; 248].

Использование ультразвукового воздействия позволяет уничтожать различные виды грибов, бактерий и вирусов за гораздо более короткие временные промежутки по сравнению с термической обработкой при аналогичных температурах. Данный способ обеззараживания имеет большое значение и может эффективно использоваться для пищевой промышленности [195; 217; 219; 244].

В настоящее время применение холодного плазменного излучения и ультразвукового воздействия для обработки растительного сырья в технологиях получения продуктов переработки является предметом исследования множества научных коллективов из разных стран [103; 117; 118; 119; 152; 157; 158; 160; 161; 195; 274]. Вместе с тем исследования в данной области сосредоточены преимущественно на анализе влияния холодного плазменного излучения на периферийные части сырья, а ультразвукового воздействия – на модификацию свойств отдельных сырьевых компонентов, что определяет перспективу дальнейшего изучения возможности использования новых подходов в технологии переработки зерна пшеницы.

1.3 Научно-практическое обоснование применения пророщенного зерна пшеницы в технологии хлебобулочных изделий

Современное развитие хлебопекарной отрасли России вносит особый вклад в реализацию программ здорового питания населения и сохранения социального спокойствия в обществе. Однако потенциал ее инновационной трансформации в значительной степени зависит не только от целевых установок государства, но

и от эффективного целенаправленного внедрения современных фундаментальных и прикладных научных разработок. В своих исследованиях доктор технических наук, академик РАН А. П. Косован подчеркивает, что для долгосрочного, перспективного и устойчивого развития отрасли необходимо внедрять достижения науки и техники, ориентированные на современные тенденции развития рынка и потребительского спроса. В качестве фундаментальных основ необходимо провести системную перестройку хлебопекарной отрасли, заложив в основу инновационные процессы производства, что привлечет дополнительные финансовые потоки в отрасль и позволит провести ее технико-технологическое обновление [54; 114].

В последние годы с ростом благосостояния населения и развитием глобального информационного поля в обществе стала формироваться потребность в использовании в рационе питания наиболее сбалансированных по химическому составу и отвечающих современным потребностям населения продуктов, что не могло не отразиться на структуре рынка хлебобулочных изделий. Основными тенденциями в изменении состава хлебобулочных изделий являются технологии обогащения, т. е. использование муки из цельносмолотого зерна, различных злаков, овощей и фруктов и др.

Анализ публикаций сотрудников ФГАНУ НИИХП позволяет выявить основные современные направления развития рынка хлебобулочных изделий. В первую очередь, это ориентация потребительского спроса на *хлебобулочные изделия для здорового питания*, особенно направленные на профилактику таких неинфекционных заболеваний, как ожирение, диабет и хронический стресс. Как отмечается в исследованиях профессора В. В. Мартиросяна и его коллег, при создании новых продуктов все больше учитываются связи между здоровьем, ростом продолжительности жизни и удобством потребления как устойчивыми нормативными ценностями для больших групп потребителей, при этом в первую очередь растет доля продукции с так называемой чистой этикеткой, т. е. без искусственных ингредиентов [43; 56; 72; 74; 104; 107; 108; 109; 111; 112; 114; 115; 127; 172; 173; 176].

Еще одно сформировавшееся направление развития рынка обусловлено высоким уровнем урбанизации, ускорением темпа жизни, отказом от традиционных

режимов приема пищи, активной переориентацией способа приема пищи на «питание на ходу». Данное направление получило условное название «снекизация питания». В соответствии с этой тенденцией наращиваются темпы производства и потребления мелкоштучных булочных изделий [43; 56; 172].

Интенсивно развивается направление создания хлебобулочных изделий для здорового питания путем внесения в рецептуру сырьевых ингредиентов растительного происхождения. Так, в коллективной монографии сотрудников ФГАНУ НИИХП «Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий» [118; 172] представлены результаты исследований по вопросам применения растительных ингредиентов в производстве хлебобулочных изделий. Затрагиваются вопросы технологии, эффективности и целесообразности внесения пищевых ингредиентов в пищевую систему хлебобулочных изделий. Так, профессор Л. Н. Шатнюк со своими коллегами подчеркивает необходимость соблюдения основных принципов обогащения, которые заключаются в необходимости внесения в продукты массового потребления дополнительных ингредиентов, доступных для всех групп детского и взрослого населения, регулярно используемых в повседневном рационе. Внесение данных компонентов не должно ухудшать потребительские достоинства готовых изделий, а разработчикам необходимо учитывать химические взаимодействия пищевых ингредиентов между собой и с основными компонентами пищевого матрикса [126; 146; 173; 179]. Наиболее полно объем исследований в данном направлении представлен в монографии Т. В. Матвеевой и С. Я. Корячкиной [52; 65; 141]. Авторы отмечают, что важен поиск и внедрение в производство высокоэффективных современных технологий переработки растительного сырья с целью максимального сохранения и усиления их биологически активных свойств.

Рассматривая направление получения хлебобулочных изделий скорректированного состава путем внесения ингредиентов растительного происхождения, необходимо отметить, что лидирующие позиции на рынке как по объему производства, так и по потреблению занимают изделия с добавлением компонентов, получаемых путем переработки злаковых культур, что отражает тенденцию здо-

рового питания [54; 113; 240]. Так, мука из зародышей пшеницы находит применение в качестве обогатителя изделий и содержит в составе до 40 % белка, включающего практически все незаменимые аминокислоты, до 15 % растительных жиров, большое количество водо- и жирорастворимых витаминов [18]. Сухая клейковина широко используется для улучшения хлебопекарных свойств муки и получения изделий стабильно высокого качества [175]. Обогащение хлебобулочных изделий пищевыми волокнами, витаминами и минеральными веществами осуществляется за счет использования цельносмолотой муки ржи и других злаковых культур, а также пшеничных, рисовых отрубей [18; 195]. Для улучшения белкового, витаминного и минерального состава используется кукурузная, рисовая, овсяная, пшенная и другие виды муки, вносимые в рецептуру в количестве от 5 до 20 % [30; 40; 51; 62; 63; 64; 126; 177; 181].

В особую группу сырьевых ингредиентов растительного происхождения можно выделить ингредиенты, полученные в результате проращивания. Пророщенное зерно злаковых культур и продукты из него являются ценнейшими источниками легко усвояемых белков, пищевых волокон, витаминов группы В, токоферолов, макро- и микроэлементов [63; 64; 65; 126; 207; 210; 331]. Благодаря их использованию возможно скомпенсировать недостаток биологически активных веществ в рационе, повысить сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам внешней среды и, следовательно, увеличить продолжительность жизни населения [126; 330; 333]. «Биоактивированное» зерно используется в качестве сырьевого ингредиента при производстве хлебобулочных изделий в виде диспергированной массы, экстрактов и измельченных сырьевых ингредиентов [4; 9; 25; 27; 29; 47; 48; 129; 166; 183; 275].

Несмотря на то, что на потребительском рынке присутствует ассортимент хлебобулочных изделий, полученных с использованием продуктов переработки зерновых культур, составляющих основу ассортимента изделий для здорового питания, на сегодняшний день рынок данной группы товаров обладает высоким потенциалом роста, а разработка таких изделий является наиболее перспективным направлением.

Изложенный выше аналитический материал доказывает, что актуальность научной проблемы обусловлена существующей в настоящее время сложной ситуацией в области хранения и переработки зерна в условиях его профицита, что диктует острую необходимость развития новых технологий эффективной его переработки внутри страны. При этом разработка современных подходов должна базироваться на принципах безопасности, качества и пищевой полноценности получаемых изделий. В качестве инструмента для решения данной задачи необходимо использовать продовольственную цепочку «зерно – мука – хлеб». В связи с этим требуется комплексный подход для минимизации рисков продовольственных потерь и микробной контаминации в каждом звене цепи, ориентированный на компенсацию проблем технологической пригодности и безопасности зерна для переработки.

Одним из перспективных направлений можно назвать процесс проращивания зерна пшеницы и получение цельнозерновых сырьевых ингредиентов на его основе. При этом использование современных, эффективных способов обеззараживания и интенсификации процессов промышленной переработки зерна позволяет получать продукты нового поколения, дополняющие рационы здорового питания и способствующие снижению рисков возникновения хронических неинфекционных заболеваний.

Анализ научных источников позволяет заключить, что в данный момент недостаточно исследований в области получения сырьевых ингредиентов из зерна пшеницы путем контролируемого проращивания. Необходимо создание комплексного подхода к обеспечению безопасности и получению заданных свойств сырьевого ингредиента на основе пророщенного зерна пшеницы за счет обоснованных приемов обеззараживания и интенсификации процессов проращивания.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация исследований

Теоретические, практические и экспериментальные исследования диссертационной работы выполнялись в период с 2008 по 2020 г. в соответствии с общей схемой проведения исследований. Работа проводилась в рамках:

– гранта на проведение инициативных научных исследований ГЗ № 40.8095.2017/БЧ (2017123-ГЗ), тема «Разработка технологии синтеза пищевых ингредиентов из растительного сырья для создания продуктов питания с адаптогенными свойствами», 2017–2019 гг.;

– гранта РФФИ 18-53-45015 «Ультразвуковая инкапсуляция биологически активных соединений для размещения в пищевой матрикс», 2018–2020 гг.;

– гранта благотворительной программы «Стипендиальная программа Владимира Потанина» для преподавателей магистратуры № ГСГК-40/18, тема «Инновации в пищевой биотехнологии: проектный подход», 2017–2018 гг.

Основной объем исследований выполнен автором в специализированных центрах и лабораториях ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (НОЦ «Продукты здорового питания и индустриальные технологии», международной научно-исследовательской лаборатории «Синтез и анализ пищевых ингредиентов», НОЦ «Нанотехнологии», научной лаборатории компьютерного моделирования лекарственных средств); лабораториях ИЛ «Тест-Пушино» (г. Пушино); научных лабораториях факультета биотехнологии и пищевой промышленности Словацкого сельскохозяйственного университета (г. Нитра, Словакия); аккредитованной лаборатории «Самоцвет», аккредитованной лаборатории ООО «ВИТЭКС» и аккредитованной лаборатории ФГБУ «Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Челябинский» (ФГБУ «Челябинскагрохимрадиология»).

Общая схема проведения исследования приведена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Обобщенная схема исследований

Работа состоит из нескольких последовательных и взаимосвязанных этапов.

На **первом этапе** проведен анализ научно-технической литературы, статистических данных и патентной информации по теме исследования.

Представлен анализ современного состояния зернового комплекса России, освещена проблематика отрасли. Обобщены литературные данные, научная информация и экспериментальные материалы отечественных и зарубежных авторов по направлениям промышленной переработки зерна.

В качестве перспективного направления технологии промышленной переработки зерна определено получение сырьевого ингредиента путем применения процессов проращивания.

Систематизирована информация об используемых терминологических понятиях в данной области. Теоретически обоснована целесообразность использования пророщенного зерна пшеницы в производстве хлебобулочных изделий. Показано, что в настоящее время актуальным является использование комплексного подхода в решении вопросов безопасности и качества продуктов переработки зерна.

На **втором этапе** разработана научная концепция снижения рисков контаминации и продовольственных потерь при получении безопасного сырьевого ингредиента для размещения его в системе хлебобулочных изделий, учитывающая комплекс факторов, позволяющих получить качественные продукты с высокими потребительскими свойствами. Определена схема эксперимента, выбраны объекты и методы исследования.

На **третьем этапе** разработана методология получения безопасных сырьевых ингредиентов для размещения их в системе пищевых продуктов. На базе предложенной методологии с использованием моделирования IDEF0 реализован принцип прослеживаемости технологического процесса с обратной связью. Проведено исследование качества и технологической пригодности образцов пшеницы мягкой *Triticum aestivum* L., поступающих на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области. Обоснован выбор технологических приемов, методов и режимов снижения рисков контаминации зерна пшеницы токсигенными плесеньями и их метаболитами.

На **четвертом этапе** дано обоснование эффективных технологических подходов для контролируемого проращивания зерна пшеницы. Определены рациональные параметры ведения процессов замачивания и проращивания зерна пшеницы. Представлены практические аспекты получения сырьевого ингредиента на основе цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП) для хлебобулочных изделий.

На **пятом этапе** разработана модель системы менеджмента безопасности пищевых производств (СМБПП) в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000 при производстве цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы. Изучена вариативность изменения показателей качества, безопасности и пищевой ценности цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы при хранении.

На **шестом этапе** изучены технологические свойства цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы, установлены механизмы встраивания его в состав системы пищевого продукта, определены технологические риски и способы их минимизации, смоделированы оптимальные дозировки данного сырьевого ингредиента при изготовлении хлебобулочных изделий.

На **седьмом этапе** разработаны рецептуры хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы. Проведена их товароведная оценка качества по комплексу органолептических, физико-химических показателей, показателей безопасности, оценена вариативность показателей полученных изделий при хранении. Сформирована модель факторов потребительского поведения и проведено исследование эффективности разработанных хлебобулочных изделий в модели *in vitro* и *in vivo* с применением стресс-факторов воздействия. Произведен расчет экономической эффективности внедрения разработанных пищевых продуктов в реальное производство.

2.2 Характеристика объектов и методов исследования

Для выполнения исследований по каждому сформированному блоку исследований (п. 2.1) и реализации сформированной научной концепции работы были использованы стандартные или специально созданные устройства и приборы, компьютерные программы, выбраны объекты и методы их исследования. Экспериментальные исследования проводились с использованием общепринятых, стандартных российских и международных (ААСС) [185; 190; 385], а также оригинальных методов.

Исследования проводились как минимум в трехкратной повторности. Проращивание зерна, получение цельносмолотой муки и образцов хлебобулочных изделий проводилось в одинаковых условиях для обеспечения точности результатов. Для объективной и достоверной оценки экспериментальные результаты были систематизированы на основе методов статистической обработки данных с использованием программных продуктов Microsoft Excel, OriginPro 8.5.1, MathCad 14.0 и Statistica 13.

Объектами исследования в соответствии с поставленными целями и задачами в рамках **третьего и четвертого этапов** работы были определены:

– пробы зерна сортов мягкой яровой пшеницы урожая 2014–2018 гг. «Любава», «Эритроспериум 59», «Новосибирская 15», «Уральская кукушка», «Дуэт», «Омская 36», «Тобольская», «Уралосибирская», «Челяба степная» (проведение комплексной оценки качества и безопасности зерна, поставляемого на переработку). Отбор проб зерна проводили по ГОСТ 13586.3-83 и ГОСТ 13586.3-2015 (согласно срокам действия стандартов) и оценивали по расширенной номенклатуре показателей (согласно таблице 4) [155; 156].

– зерно пшеницы сортов «Любава» и «Эритроспериум 59», возделываемых в степной зоне Челябинской области (комплексное исследование методов обеззараживания и моделирование процессов проращивания зерна пшеницы). Неоднотипность условий увлажнения и климатических показателей стали решающим

критерием при выборе региона возделывания пшеницы. Данный регион относится к зоне рискованного земледелия и остро нуждается в применении современных технологий переработки зерна пшеницы;

– цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП), полученная путем проращивания зерна пшеницы сорта «Любава» согласно технологии, описанной в п. 4.1.1 и 4.1.2, с последующим высушиванием при температуре 25–40 °С до влажности не более 14 % и разовым помолом согласно методике, изложенной в патенте № 2723657 «Способ производства хлеба с использованием пророщенного зерна пшеницы» [100].

Таблица 4 – Номенклатура показателей качества для оценки объектов исследования (зерно пшеницы)

Объект	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
Зерно пшеницы	1. Органолептические показатели	Состояние, цвет, запах
	2. Физические показатели	Линейные размеры, мм. Сорная примесь, %. Зерновая примесь, %
	3. Физико-химические показатели	Массовая доля белка, в пересчете на сухое вещество, %. Количество клейковины, %. Качество клейковины, ед., ИДК/группа. Число падения, с. Стекловидность, %. Натура, г/л. Влажность, %. Масса 1000 зерен, г. Массовая доля жира, %. Массовая доля моно- и дисахаридов, %. Массовая доля крахмала, %. Массовая доля сырой клетчатки, %. Зольность, %. Аминокислотный состав. Расчетные показатели биологической ценности. Минеральные вещества (кальций, калий, магний, натрий, железо, цинк), мг/100 г. Витамины (В ₁ , В ₂ , В ₆), мг/100 г
	4. Микробиологические показатели	КМАФАнМ, КОЕ/г. БГКП (колиформы). Дрожжи, КОЕ/г. Плесени, КОЕ/г Видовой состав микроорганизмов

Продолжение таблицы 4

Объект	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
	5. Показатели безопасности	Массовая доля свинца, мг/кг. Массовая доля мышьяка, мг/кг. Массовая доля кадмия, мг/кг. Массовая доля ртути, мг/кг. Афлатоксин В ₁ , мг/кг. Дезоксиниваленол, мг/кг. Т-2 токсин, мг/кг. Зеараленон, мг/кг. Охратоксин А, мг/кг. ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры), мг/кг. ДДТ и его метаболиты, мг/кг. Гексахлорбензол, мг/кг. 2,4-Д кислота, ее соли и эфиры, мг/кг. Ртутьорганические пестициды, мкг/кг. Цезий-137, Бк/кг. Стронций-90, Бк/кг. Массовая доля бенз(а)пирена, мг/кг. Зараженность вредителями. Загрязненность мертвыми насекомыми-вредителями, экз./кг

Для схематичного системного представления последовательности стадий и операций, осуществляемых в производстве ЦСМПЗП, выявления степени их взаимодействия, а также систематизации инструментов, используемых для достижения поставленных целей стратегического плана и управления, была использована методология IDEF0.

При формировании модели IDEF0 использовались рекомендации Р 50.1.028-2001 «Методология функционального моделирования. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции».

Органолептические показатели качества зерна определяли согласно ГОСТ 9353-2016, *сорную и зерновую примесь* пшеницы оценивали стандартными методами согласно ГОСТ 30483-97.

Линейные размеры зерна пшеницы оценивали с использованием программы для фенотипирования зерна SeedCounter, разработанной сотрудниками Новосибирского государственного университета [276] (характерный вид графического изображения показан на рисунке 5). Измерения размерных характеристик зерна

пшеницы проводились при ярком дневном свете для исключения грубых погрешностей эксперимента. Для проведения одного этапа сканирования зерно пшеницы на листе белой бумаги выкладывали в количестве не более 200 шт. При получении массива данных и расчете значений в каждом эксперименте учитывалось не менее 1 000 зерен пшеницы.

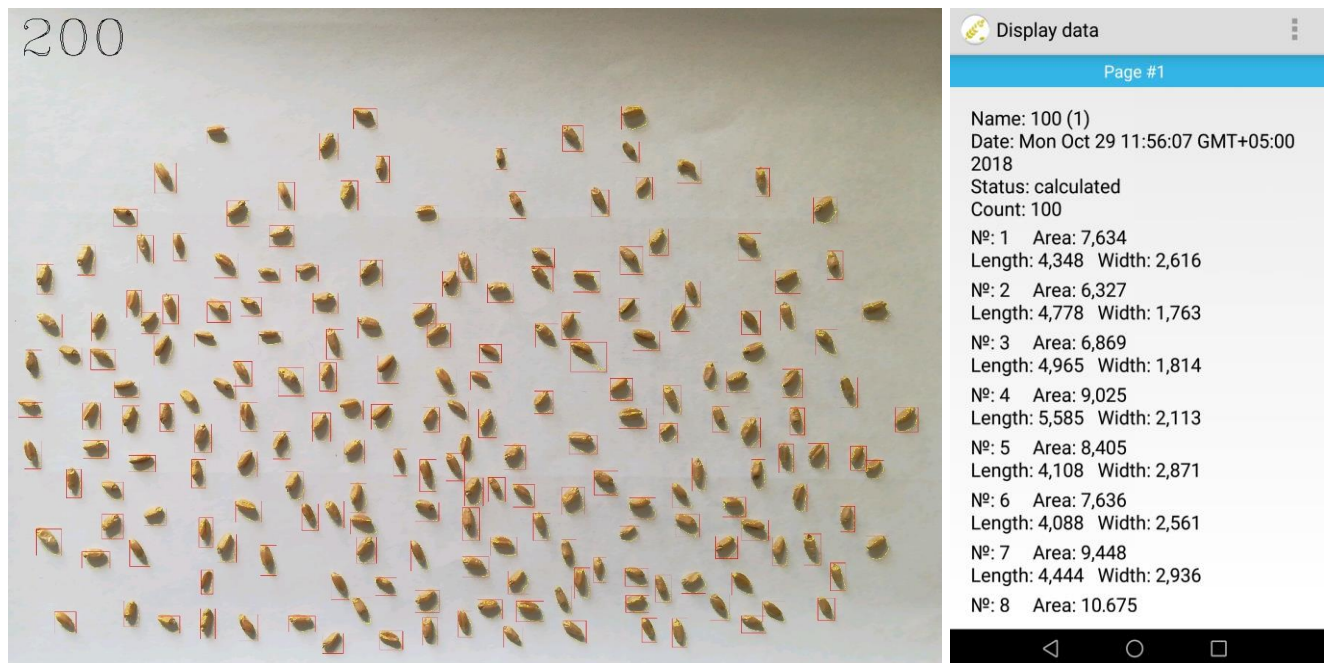


Рисунок 5 – Характерный вид графического изображения результатов определения размерных характеристик зерна пшеницы, полученных с использованием программы SeedCounter [276]

Массовую долю белка определяли путем минерализации серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сульфата аммония, с последующим его разрушением с выделением аммиака, отгонкой его водяным паром в раствор серной кислоты с последующим титрованием согласно ГОСТ 10846-91.

Количество и качество клейковины в зерне определяли согласно ГОСТ Р 54478-2011 с использованием системы «Глютоматик» фирмы Perten.

Число падения зерна и ЦСМПЗП определяли методом Хагберга – Пертена согласно ГОСТ ISO 3093-2016 с использованием прибора Falling Number FN 1500.

Стекловидность зерна определяли согласно ГОСТ 10987-76.

Натуру зерна определяли согласно ГОСТ 10840-2017 с использованием литровой пурки с падающим грузом.

Влажность зерна определяли методом воздушно-тепловой сушки путем высушивания проб зерна при фиксированной температуре до постоянной массы согласно ГОСТ 13586.5-2015.

Массу 1 000 зерен определяли согласно ГОСТ 10842-89.

Массовую долю жира определяли путем извлечения сырого жира из продукта растворителем с последующим его удалением, высушиванием и взвешиванием извлеченного жира согласно ГОСТ 29033-91.

Массовую долю моно- и дисахаридов (сахаров) определяли по Бертрону согласно ГОСТ 26176-91.

Массовую долю крахмала определяли поляриметрическим методом согласно ГОСТ 10845-98.

Массовую долю сырой клетчатки определяли по методу Геннеберга и Штомана согласно ГОСТ 31675-2012.

Зольность зерна определяли путем озоления навески в муфельной печи согласно ГОСТ 10847-74.

Аминокислотный состав определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием аминокислотного анализатора Sykam S433.

Расчет *биологической ценности* проводили по показателям: скор незаменимых аминокислот, коэффициент различия аминокислотного сора, биологическая ценность пищевого белка [106].

Минеральный состав определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ГОСТ 32343-2013 и ГОСТ EN 15505-2013.

Определение *витаминов B_1 , B_2 и B_6* с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии проводили согласно ГОСТ EN 14122-2013, ГОСТ EN 14152-2013 и ГОСТ EN 14164-2014 соответственно.

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов определяли по ГОСТ 10444.15-94.

Бактерии группы кишечных палочек определяли по ГОСТ 31747-2012.

Количество *дрожжей и плесневых грибов* определяли по ГОСТ 10444.12-2013.

Для *идентификации и видового типирования* колониеобразующих единиц использовали метод MALDI TOF MS. Посев разведений проводили глубинным методом на селективный агар для дрожжей и плесеней YGC. Анализ масс-пиковых списков спектров рибосомных белков проводили с использованием программного обеспечения MALDI Biotyper (Bruker Daltonics, Германия).

Массовую долю тяжелых металлов (свинца, кадмия, мышьяка и ртути) определяли согласно ГОСТ 30178-96, ГОСТ 26930-86, ГОСТ 26927-86.

Качественное определение наличия *афлатоксинов* проводили согласно международной методике ААСС 45-15.01. Для создания провоцирующих условий развития плесневых грибов в зерне пшеницы увеличивали температуру воздуха до 25–30 °С и повышали влажность зерна до 16–18 % [185; 385]. Контроль микробиологических показателей проводили через 1; 3 и 5 сут.

Количественное определение *микотоксинов* проводили методом тонкослойной хроматографии согласно ГОСТ 30711-2001 (афлатоксин В1), МУ 5177-90 (дезоксиниваленол и зеараленон), МУ 3184-84, иммуноферментативным методом согласно МУК 5-1-14/1001 (афлатоксин В1) и методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с фотометрическим детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром» согласно М 04-45-2007 (дезоксиниваленол), М 04-40-2005 (зеараленон) и М 04-42-2009 (охратоксин А).

Определение *пестицидов* (ГХЦГ (α -, β -, γ -изомеры), ДДТ и его метаболитов, гексахлорбензола) проводили согласно МУ 2142-80; 2,4-Д кислоты, ее солей и эфиров – МУ 1541-76; ртутьорганических пестицидов – МУ 1218-75.

Радионуклиды (цезий-137, стронций-90) определяли согласно ГОСТ 32161-2013 и ГОСТ 32163-2013 соответственно.

Массовая доля бенз(а)пирена определялась согласно М 04-15-2009.

Зараженность вредителями определяли согласно ГОСТ 13586.6-93

Загрязненность мертвыми насекомыми-вредителями определяли согласно ГОСТ 34165-2017.

Для планирования и решения задач оптимизации с помощью программного продукта Statistica 13 процессов обеззараживания, интенсификации, замачивания и проращивания зерна пшеницы проводили математическую обработку данных с использованием преобразованного уравнения Ленгмюра, имеющего вид

$$\Gamma = a + \frac{\Gamma_{\infty} t_1}{A + t_1}, \quad (1)$$

где Γ – сорбция (количество сорбированной влаги), 100 %×г/г сорбента; k – константа скорости процесса, мин⁻¹; $A = 1/k$; Γ_{∞} – предельная концентрация (предельное количество сорбированного вещества); a – свободный член, имеющий размерность сорбции; t_1 – длительность процесса замачивания.

Для определения обобщенного критерия оптимальности были использованы функции желательности. Для каждого свойства:

– односторонняя функция желательности имела вид

$$p = \exp(-\exp(a + by)); \quad (2)$$

– двусторонняя функция желательности имела вид

$$p = \exp(-\exp(a + by + cy^2)), \quad (3)$$

где y – отклик; a, b, c – параметры, определяемые из системы уравнений.

На основе функций желательности N был рассчитан обобщенный критерий оптимальности:

$$P = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N p_i}. \quad (4)$$

Для проведения контролируемого процесса проращивания зерна пшеницы, помимо вышеперечисленных показателей (таблица 2), дополнительно были определены показатели, представленные в таблице 5. Предварительно зерно подверга-

лось обеззараживанию согласно методике заявки на патент № 2019124649 от 31 июля 2019 г. «Способ обеззараживания зерна» [92]. Проращивание зерна пшеницы проводили согласно методике, описанной в патенте РФ № 2690486 от 1 октября 2018 г «Способ стимулирования прорастания зерна» [93].

Таблица 5 – Номенклатура дополнительных показателей качества для оценки объектов исследования (пророщенное зерно пшеницы)

Объект	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
Пророщенное зерно пшеницы	1. Физические показатели	Способность и энергия прорастания, %. Увеличение массы, %. Степень набухания, %. Морфологическая структура (СЭМ)
	2. Физико-химические показатели	Формы связи воды, %

Способность и энергию прорастания зерна определяли согласно ГОСТ 10968-88.

В процессе замачивания зерна пшеницы фиксировали увеличение массы гравиметрическим методом.

Степень набухания зерна пшеницы при замачивании определяли по методике Белорусского филиала ВНИМИ [133; 134].

Степень набухания определяли по формуле

$$A = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100, \quad (5)$$

где A – степень набухания, %; m – масса зерна после гидратации, г; m_0 – масса сухого зерна, г.

Электронная сканирующая микроскопия зерна (СЭМ) пшеницы после замачивания проводилась с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения с катодом Шоттки TESCAN MIRA3, оснащенного безазотной системой микроанализа Ultim Max 100, под управлением программного обес-

печения Aztex Energy. Предварительно готовили срезы исследуемых образцов с напылением графита.

Дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) образцов проводили с использованием синхронного термического анализатора (ТГ-ДСК) Netzsch STA 449F1 «Jupiter».

Исследования проводили в кварцевых тиглях с массой навески 1 г; в качестве эталона использовали Al_2O_3 , прокаленный до 1 800 °С. Скорость изменения температуры нагрева печи составляла 10 °С/мин, максимальная температура нагрева – 220 °С. С помощью аналогово-цифрового преобразователя получали кривые в цифровой форме. Все полученные кривые имели характеристические температуры, определяемые пиком эндотермического эффекта, сопровождающиеся испарением влаги.

На каждой из полученной кривой были выделены по шесть линейных участков с различным углом наклона к оси абсцисс. Для этого использовали математическую модель кривой построенной в виде кусочно-линейной функции $-\lg\alpha = F(1\,000/T)$.

Для определения температурных интервалов использовалась математическая модель зависимости $-\lg\alpha - 1\,000/T$ в виде кусочно-линейной функции $Y = F(X)$ (рисунок 6). Достоинством такой модели является простота ее формулировки и использования, недостатком – неаналитичность, т. е. наличие особенностей на границах участков. Однако этот недостаток можно считать несущественным, так как модель далее не будет использоваться в преобразованиях, а будет применяться только для расчета. Таким образом, модель описывается системой линейных функций $Y_i = A_i \times x + B_i$ и $X_i < x \leq X_i + 1$, задающих их области определения. Параметрами модели, подлежащими идентификации, являются коэффициенты A_i , B_i , $i = 1, \dots, N$ и границы участков X_i , $i = 1, \dots, N - 1$, где N – число линейных участков [316].

На каждом из полученных графиков выделялись шесть линейных участков с различным углом наклона к оси абсцисс. Для этих участков определяли интервал температур, в котором процесс дегидратации протекает с приблизительно одинаковой скоростью, характерной для удаления из продукта влаги с определенной

энергией связи. Согласно математической модели кривой, построенной в виде кусочно-линейной функции $-\lg \alpha = F(1\,000/T)$, каждый участок можно описать следующими уравнениями:

- 1-й участок (свободная влага): $Y = 3,334X - 9,029$;
- 2-й участок (физико-механически связанная влага): $Y = 1,696X - 4,03$;
- 3-й участок (осмотически связанная влага): $Y = 1,943X - 4,758$;
- 4-й участок (адсорбционная влага полимолекулярных слоев): $Y = 0,227X - 0,477$;
- 5-й участок (адсорбционная влага мономолекулярных слоев): $Y = 0,163X - 0,324$;
- 6-й участок (химически связанная влага): $Y = 0,14X - 0,269$.

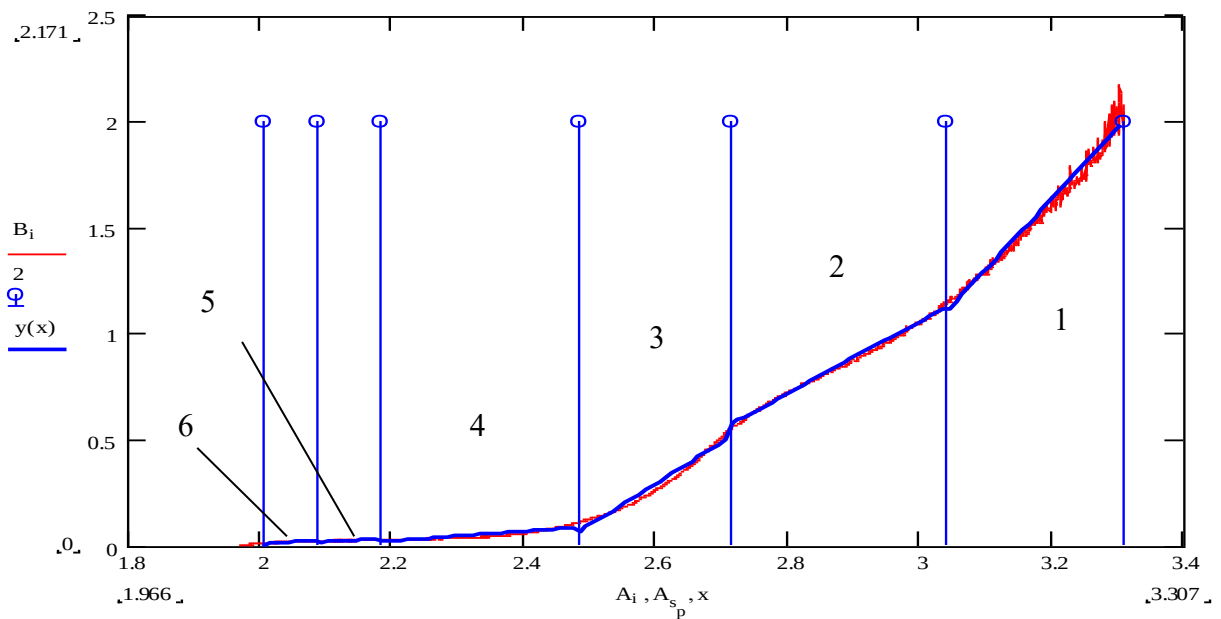


Рисунок 6 – Модель кусочно-линейной функции зависимости $-\lg \alpha - 1\,000/T$

Определенные температурные интервалы соответствовали изменению массы образца по кривой TG , которое было принято за соответствующее количеству выделившейся воды.

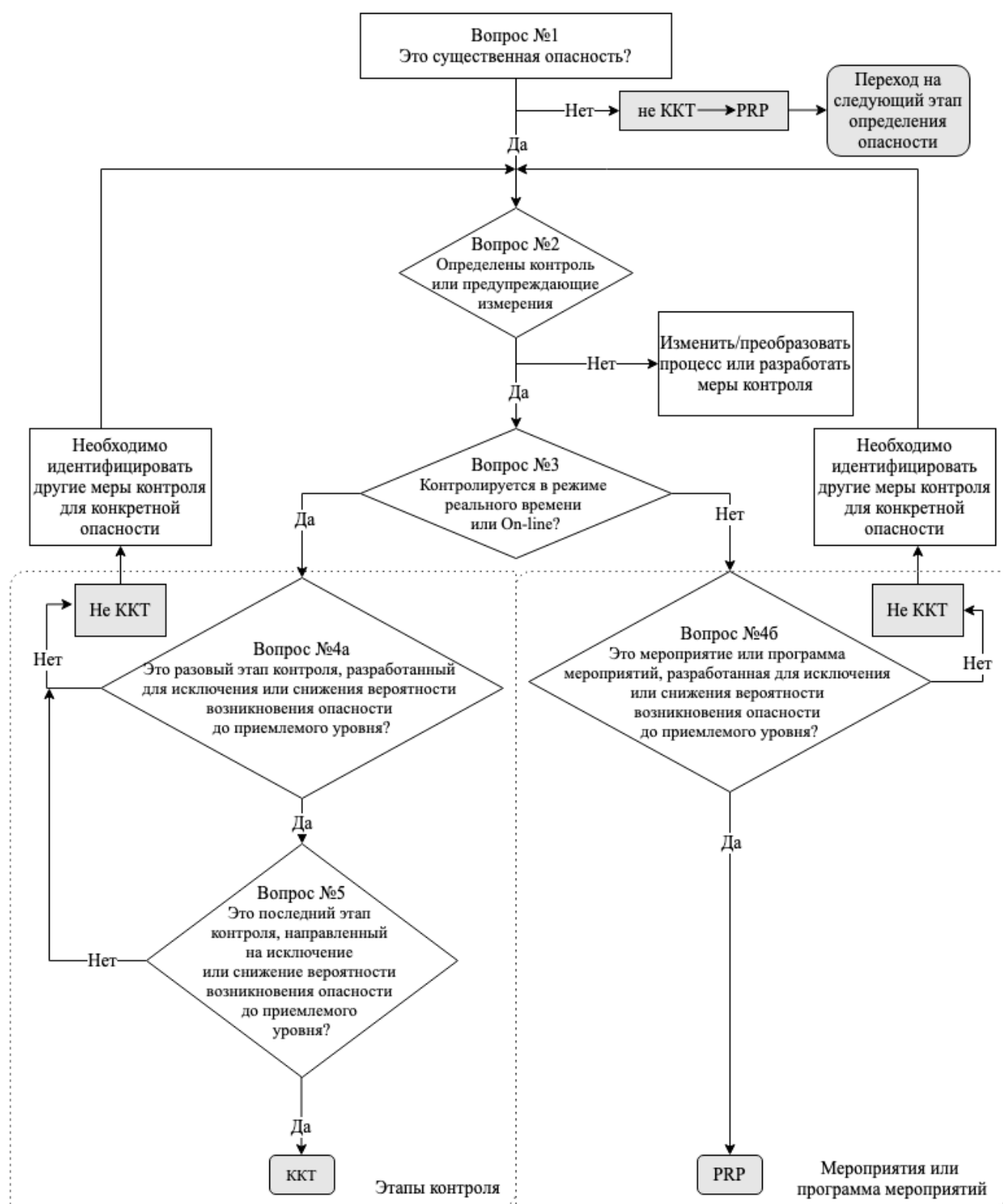


Рисунок 7 – Дерево принятия решений

Значения влажности образцов, % к общей массе, соответствующие границам линейных участков, определяли по формуле

$$W = \frac{G - \Delta G_i}{GH} \times 100, \quad (6)$$

где G – начальное содержание воды в образце, равное количеству испарившейся воды за время термоанализа, г; ΔG_i – количество испарившейся воды из образца в рассматриваемой точке излома, г; GH – масса навески, г.

Для идентификации потенциальных рисков производственного процесса и выявления критических контрольных точек (ККТ) использовался метод «дерево принятия решений». Традиционная схема дерева принятия решений, предложенная в ГОСТ Р 51705.1-2001, не включает в себя понятие «программа обязательных предварительных мероприятий (PRP)», поэтому для выявления PRP и ККТ была использована схема, представленная на рисунке 7.

С целью уменьшения количества ККТ дополнительно была использована диаграмма анализа рисков, где учитывалась вероятность возникновения риска и оценка тяжести его последствий (рисунок 8).



Рисунок 8 –Диаграмма анализа рисков

Рабочая группа формировалась из специалистов, обладающих необходимыми компетенциями.

В рамках **пятого этапа** исследований была оценена цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы по расширенной номенклатуре показателей качества согласно таблице 6.

Таблица 6 – Номенклатура показателей качества для оценки цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы

Объект	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
ЦСМПЗП	1. Органолептические показатели	Вкус, запах, цвет. Наличие минеральной примеси
	2. Физические показатели	Морфологическая структура (СЭМ). Дисперсный состав, мкм, %. Адгезионные свойства муки
	3. Физико-химические показатели	Количество сырой клейковины, %. Качество клейковины, ед. ИДК. Число падения, с. Влажность, %. Кислотность, град. Кислотное число жира, мг КОН. Общая антиоксидантная емкость, мг ТЕАС/г. Содержание флавоноидов, мг QE/г. Содержание фенольных кислот, мг САЕ/г. Содержание полифенольных соединений, мг GAE/г. Критерий усвояемости, усл. ед. Антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие, мин. Содержание и биодоступность ГАМК, %
	5. Микробиологические показатели и показатели безопасности	Определялись согласно перечню показателей, представленных в таблице 1 п. 4 и 5. Признаки наличия «картофельной болезни»

Для хранения ЦСМПЗП помещали в пакеты из термосвариваемого материала, затем в камеру вакуумного упаковщика Henkelman Mini Jumbo, где создавался вакуум не ниже 5,0–7,5 Торр, затем упаковка запечатывалась сваркой, а после восстановления в камере атмосферного давления извлекалась из аппарата. Образцы и хранили в вакуумных пакетах по 1 кг при температуре 22–25 °С, относительной влажности воздуха не более 70 %, без резких перепадов температур и прямого воздействия солнечных лучей согласно ГОСТ 26791-2018.

Органолептические показатели ЦСМПЗП оценивались согласно ГОСТ 26574-2017.

Морфологическая структура образцов ЦСМПЗП была получена с применением на просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (Jeol JEM-2100), увеличение от $\times 250$ до $\times 2000$. На образцы предварительно проводили напыление платиной.

Дисперсный состав образцов ЦСМПЗП определяли с использованием метода лазерного динамического светорассеяния на приборе Microtrac S3500 согласно ААСС 55-40.01 [185; 190; 385]. С использованием изопропилового спирта (ЧДА) с добавлением тритона X-100.

Количество сырой клейковины и ее качество ЦСМПЗП определяли согласно ГОСТ 27839-2013 с использованием системы «Глютоматик» фирмы Perten.

Влажность ЦСМПЗП определяли методом воздушно-тепловой сушки путем высушивания при фиксированной температуре до постоянной массы согласно ГОСТ 9404-88.

Кислотность ЦСМПЗП определяли титрованием гидроокисью натрия всех кислореагирующих веществ согласно ГОСТ 27493-87.

Кислотное число жира ЦСМПЗП определяли титрованием гидроксидом натрия с предварительным извлечением жирных кислот этиловым спиртом согласно ГОСТ Р 51413-99.

Общую антиоксидантную емкость определяли методом DPPH (мг ТЕАС/г) по модификации [348]. Использовали раствор 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH) (0,025 г DPPH в 100 мл этанола). 0,5 мл экстракта исследуемых веществ смешивали с 3,6 мл раствора DPPH, инкубировали в темноте в течение 30 мин. Поглощение измеряли с использованием спектрофотометра при 515 нм. В качестве стандарта использовали Trolox (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота), результаты выражали в тролокс-эквивалентах антиоксидантной емкости (мг ТЕАС/г).

Определение *содержания флавоноидов* проводили с использованием метода, описанного Shafii [359]. Для этого 0,5 мл экстракта образца смешивали с 0,1 мл 10 % (мас/об.) этанольного раствора хлорида алюминия, 0,1 мл 1 н. ацетата натрия, добавляли 4,3 мл дистиллированной воды. Через 30 мин выдерживания в темноте

определяли поглощение при 415 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали кверцетин, результаты выражали в мкг/эквивалентах кверцетина (мг QE/г).

Определение *содержания фенольных кислот* проводили с использованием метода Фармакореа. Для этого 0,5 мл экстракта образца смешивали с 0,5 мл 0,5 н. соляной кислоты, 0,5 мл 1 н. гидроксида натрия и 0,5 мл дистиллированной воды. Поглощение определяли при 490 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали кофейную кислоту, результаты выражали эквивалентно кофейной кислоте (мг CAE/г).

Содержание полифенольных соединений определяли по методу Синглтона с использованием реактива Фолина – Чокальтеу. Для этого 0,1 мл экстракта образца смешивали с 0,1 мл реактива Фолина – Чокальтеу, 1 мл 20 % (мас/об.) карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды. Через 30 мин выдерживания в темноте определяли поглощение при 700 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали галловую кислоту, результаты выражали в эквивалентах галловой кислоты (мг GAE/г).

Определение *критерия усвояемости* проводили по методике биотестирования [43; 48; 173; 177] с использованием культур простейших *Tetrahymena pyriformis* (тетрахимена пириформис). Предварительно растили чистую культуру простейших в питательной среде 48–96 ч при температуре $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Одновременно готовили навеску измельченного зерна в дистиллированной воде, добавляли соляную кислоту до значения pH раствора, равного 3, вводили пепсин и экстрагировали суспензию 2 ч, далее вводили едкий натр до значения pH 8 и панкреатин и проводили экстракцию в течение 2 ч, добавляли соляную кислоту до значения pH 6; кормление живого биоматериала осуществляли разведением рабочей культуры инфузорий в экстракте, пробы размещали в многолуночном планшете прибора «БиоЛаТ-3.2» и считали количество инфузорий в лунках до начала опыта и через 24 ч, а оценку усвояемости производили по критерию усвояемости K_y согласно формуле

$$K_y = \frac{K_{\text{рп}}}{K_{\text{рв}}} \times 100, \quad (7)$$

где $K_{\text{рп}}$ – коэффициент роста культуры в пробе; $K_{\text{рв}}$ – коэффициент роста культуры в дистиллированной воде (контроль).

Антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие пророщенного зерна пшеницы определяли по методике, предложенной Э. Ф. Степановой [148]. Согласно данной методике культуру простейших – инфузорий вида *Paramecium caudatum* (парамеции каудатум). В качестве ядов при изучении мембраностабилизирующей активности использовали этиловый спирт различной концентрации, а для антиоксидантной активности – раствор перекиси водорода [148]. Подсчет инфузорий осуществляли на приборе «БиоЛаТ-3.2» с использованием программы AutoCiliataXP.

Содержание ГАМК определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием автоматизированной системы Shimadzu Prominence LC-20 с фенилизотиацианатом согласно методам, описанным Rossetti и Lombard [359]. Для подготовки пробы зерно пшеницы (1,00 г) измельчали с 6 мл 4 % уксусной кислоты. Гомогенат оставляли на встряхивателе на 1 ч, затем центрифугировали при 8 000 об/мин в течение 15 мин. Надосадочную жидкость собирали и добавляли 4 мл этанола, затем центрифугировали при 12 000 об/мин в течение 20 мин. Очищенный супернатант упаривали при температуре не выше 45 °С. Остатки растворяли в 0,5 мл дистиллированной воды и центрифугировали при 6 000 об/мин. Полученную суспензию фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм. 100 мкл отфильтрованного супернатанта анализировали. Для построения калибровочного графика была приготовлена серия водных растворов с концентрациями 0,1–5,0 ммоль/л.

Для прогнозирования потенциальной полезности ГАМК был определен индекс биодоступности, предложенный авторами [377; 393]. Индекс биодоступности $I_{\text{БД}}$, %, рассчитывали по формуле

$$I_{\text{БД}} = \frac{K_{\text{кон}}}{K_{\text{исх}}} \times 100, \quad (8)$$

где $K_{\text{кон}}$ – концентрация ГАМК после процесса переваривания *in vitro*; $K_{\text{исх}}$ – концентрация ГАМК до процесса переваривания.

Использование моделирования процесса переваривания *in vitro* проходило последовательно в две фазы:

– 1-я фаза – фаза желудка (рН 2,5, фермент пепсин свиной, температура 37 °С, 2 ч);

– 2-я фаза – фаза тонкого кишечника (рН 6,5–7, ферменты панкреатин и липаза, температура 37 °С, 2 ч), затем смесь центрифугируется (8 000 об/мин, 10 мин), фильтруется через мембранный ацетат-целлюлозный фильтр (0,45 мкм). В полученном фильтрате определяется количество ГАМК, мг/г.

Признаки наличия «картофельной болезни» в образцах ЦСМПЗП определяли люминесцентным методом, путем термостатирования в провокационных условиях при нанесении водной суспензии муки на субстрат [52; 65; 113; 115].

Для определения *адгезионных свойств* ЦСМПЗП на конец хранения был использован реометр Physica MCR 102.

В рамках **шестого и седьмого этапов** исследования была оценена возможность использования ЦСМПЗП в производстве хлебобулочных изделий, с помощью программного продукта Statistica 13 разработаны оптимальные рецептуры, проведена оценка качества, безопасности и сохраняемости хлебобулочных изделий (таблица 7).

Таблица 7 – Соотношение смеси муки, используемой для изготовления теста

Наименование образца	Мука пшеничная первого сорта, %	ЦСМПЗП, %
Смесь муки 1 (СМ-1)	90	10
Смесь муки 2 (СМ-2)	80	20
Смесь муки 3 (СМ-3)	70	30
Смесь муки 4 (СМ-4)	60	40

В качестве объектов исследования были определены:

- опытные смеси пшеничной муки первого сорта производства ООО «Объединение „Союзпищепром“» (г. Челябинск) и ЦСМПЗП (в соотношении согласно таблице 7);

- хлебобулочные изделия (ХБИ) из пшеничной хлебопекарной муки первого сорта и ЦСМПЗП [100];

- мелкоштучные булочные изделия (МБИ) из пшеничной хлебопекарной муки первого сорта и ЦСМПЗП.

Для получения образцов теста и хлебобулочных изделий были также использованы:

- дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс экстра», производитель – ООО «САФ-НЕВА», ГОСТ Р 54731-2011;

- соль пищевая высшей сорта, ООО «Руссоль», г. Соль-Илецк, ГОСТ Р 51574-2018;

- сахар белый, АО «Сахарный комбинат „Отрадинский“», с. Отрадинское Орловской области, ГОСТ 33222-2015;

- маргарин столовый с массовой долей жира 60 %, АО «Нижегородский масложировой комбинат», г. Нижний Новгород, ГОСТ 32189-2013.

- вода дистиллированная и питьевая, подготовленная по методике патента РФ № 2668096 от 27 ноября 2017 г. «Способ производства хлеба» [98].

Для определения оптимального соотношения муки первого сорта и ЦСМПЗП в производстве хлебобулочных изделий, а также оценки качества, безопасности и сохраняемости хлебобулочных изделий была определена номенклатура показателей, представленных в таблице 8. Отбор проб муки осуществляли согласно требованиям ГОСТ 27688-88.

Основные показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий определяли методами, применяемыми в технологическом контроле хлебопекарного производства, и регламентированными стандартами.

Силу муки определяли по расплываемости шарика теста [59; 62].

Таблица 8 – Номенклатура показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий

Объект исследования	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
Модельные смеси муки из ЦСМПЗП и муки пшеничной первого сорта	1. Физико-химические показатели	Количество клейковины, %. Качество клейковины, ед. ИДК. Число падения, с. Сила муки (расплываемость шарика теста). Сахарообразующая способность муки, мг мальтозы. Газообразующая способность муки, мл CO ₂ . Газоудерживающая способность (ТЭБ)
Тесто	2. Физические и физико-химические показатели	Касательное напряжение теста, кПа. Эффективной вязкости теста, кПа. Предельное напряжения сдвига, Па. Водопоглощение, %. Время образования теста, мин. Устойчивость теста к замесу, мин. Степень разжижения теста через 10 мин после старта, е. Ф. Степень разжижения теста через 12 мин после старта (ICC), е. Ф. Показатель качества фаринографа, мм. Устойчивость при постоянной деформации, ЕЭ. Растяжимость, мм. Максимальная устойчивость, ЕЭ. Кислотность, град. Микроструктура теста. Формы связи воды, %
	3. Показатели, характеризующие жизнедеятельность дрожжей	Количество дрожжевых клеток, млн. Подъемная сила дрожжей, мин
Хлебобулочные изделия	4. Органолептические показатели	Внешний вид, цвет корок, эластичность и цвет мякиша, характер пористости, аромат и вкус
	5. Физические показатели	Удельный объем, см ³ /100 г. Формоустойчивость, у. е. Реология мякиша (пластичная, упругая и общая деформация, мм)
	6. Физико-химические показатели	Пористость мякиша, %. Кислотность мякиша, град. Влажность мякиша, %. Крошковатость мякиша, %. Набухаемость мякиша, мл на 1 г СВ. Общая антиоксидантная емкость, мг ТЕАС/г. Содержание флавоноидов, мг QE/г. Содержание полифенольных соединений, мг GAE/г. Массовая доля жира, %. Массовая доля углеводов, %. Массовая доля белка, %. Массовая доля пищевых волокон, %. Аминокислотный состав.

Продолжение таблицы 8

Объект исследования	Номенклатура основных групп показателей	Наименование показателя
		Расчетные показатели биологической ценности. Минеральные вещества (кальций, калий, магний, натрий, железо, цинк), мг/100 г. Витамины (В ₁ , В ₂ , В ₆), мг/100 г. Микроструктура мякиша хлеба. Формы связи воды, %. Содержание и биодоступность ГАМК, %. Коэффициентов выживаемости и относительного прироста инфузорий, %
	7. Микробиологические показатели и показатели безопасности	Определялись согласно перечню показателей, представленных в таблице 1 (п. 4 и 5). Обнаружение картофельной болезни хлеба

Сахарообразующую способность муки определяли общепринятым методом путем определения продуктов гидролитического расщепления крахмала с последующим пересчетом на сахарозу [53; 64; 65];

Газообразующую способность муки определяли по количеству CO₂, выделившегося за установленный период времени при брожении теста на приборе Яго-Островского.

Газоудерживающую способность муки определяли по скорости подъема теста – технологической эффективности брожения (ТЭБ). Данный показатель определяется количеством диоксида углерода при увеличении объема теста (из 50 г муки) на 100 мл [50; 52; 65].

Касательное напряжение и эффективную вязкость теста определяли на коаксиальном цилиндрическом реометре RST-CC Coaxial Cylinder фирмы Brookfield. С использованием цилиндра (для высоковязких материалов) при скоростях сдвига 0,333–147,0 с⁻¹. Измерения проводили сразу после замеса и в конце брожения. Кривые течения образцов хлебопекарного теста описывали уравнением Гершеля – Балкли с применением программного обеспечения Rheo3000. Измерения вязкости проводили сразу после замеса и в конце брожения теста. При проведении эксперимента температура образцов была на уровне (30 ± 2) °С, влажность теста – (44 ± 0,5) %.

Предельное напряжения сдвига теста определяли на приборе «Структурометр СТ-2». Данный метод относится к общепринятым (нестандартным), используется для полуфабрикатов хлебопекарного производства. Метод основан на определении усилия нагружения конуса при его внедрении на определенную глубину в пищевой продукт, установлении времени релаксации напряжений, возникших при его деформировании, и расчете предельного напряжения сдвига с учетом угла при вершине конуса. После замеса тесто помещается в бьюксы и остается в покое на 60 с. Измерения проводились при заданных параметрах:

- усилие касания $F_k - 5$ г;
- скорость внедрения $V_b - 0,1$ мм/с;
- глубина внедрения $h - 7$ мм.

Предельное напряжение сдвига находили по формуле [51; 63; 64]:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{K \times F_{\text{н}}}{h^2}, \quad (9)$$

где K – константа конуса (для угла $45^\circ = 0,416$); $F_{\text{н}}$ – усилие нагружения после времени релаксации, г; h – глубина внедрения, м.

Фаринографические показатели теста (водопоглощение, время образования теста, устойчивость теста к замесу, степень разжижения теста через 10 и 12 мин после старта, показатель качества фаринографа) определяли согласно ГОСТ ISO 5530-1-2013 с использованием «Фаринографа-АТ» фирмы Brabender.

Устойчивость при постоянной деформации, растяжимость и максимальную устойчивость теста определяли согласно ГОСТ ISO 5530-2-2014 с использованием экстенсографа-Е фирмы Brabender.

Кислотность теста определяли методом титрования [50; 52; 73].

Скорость накопления дрожжевых клеток определяли прямым подсчетом, используя метод Бургвица [52].

Подъемную силу дрожжей определяли по ускоренному методу, основанному на определении времени всплытия тестового шарика [30; 51; 52; 64].

Микроструктуру теста и хлебобулочных изделий изучали с применением на просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (Jeol JEM-2100), увеличение от $\times 1000$ до $\times 5000$. Образцы предварительно леофилизировали, проводили напыление платиной.

Пробную лабораторную выпечку хлебобулочных изделий проводили согласно ГОСТ 27669-88.

Органолептические показатели качества хлебобулочных изделий оценивали с использованием 20-балльной шкалы (приложение А) [124]. Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 18321-73.

Удельный объем хлебобулочных изделий определяли объемомерником [52; 81].

Формоустойчивость изделий определяли через отношение высоты к диаметру подовых мелкоштучных булочных изделий.

Реологические показатели мякиша (пластичную, упругую и общую деформацию) определяли в соответствии с методом ААСС 74-09.01 с использованием текстурометра «Структурометр СТ-2». Для проведения анализа был использован алюминиевый цилиндрический зонд Р/20 (радиус 20 мм) и следующие параметры эксперимента:

- усилие касания ($F_k = 5$ г);
- скорость деформации ($V_d = 1$ мм/с);
- глубина внедрения индентора в пробу теста ($h_b = 5$ мм);
- продолжительность стабилизации глубины внедрения ($t_{ст} = 120$ с).

Пористость мякиша хлебобулочных изделий определялась с помощью прибора Журавлева согласно ГОСТ 5669-96.

Кислотность мякиша хлебобулочных изделий определяли методом титрования раствором щелочи в присутствии индикатора согласно ГОСТ 5670-96.

Влажность мякиша хлебобулочных изделий определяли высушиванием в инфракрасном излучении с помощью поверенного прибора ЭЛВИЗ. Погрешность метода составляет 0,1 %.

Способность мякиша крошиться анализировали по методике для определения степени черствости мякиша, разработанной в Московском государственном университете пищевых производств [52].

Набухаемость мякиша определяли по количеству воды, поглощаемой мякишем хлебобулочных изделий за определенный промежуток времени [25].

Массовую долю жира в хлебобулочных изделиях определяли бутерометрическим методом согласно ГОСТ 5668-68.

Определение массовой доли углеводов в хлебобулочных изделиях осуществляют по ГОСТ 25832-89.

Массовую долю белка хлебобулочных изделий определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 23327-98.

Массовую долю пищевых волокон хлебобулочных изделий определяли ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014-2010.

Минеральный, витаминный и аминокислотный состав, а также биологическую ценность, микроструктуру мякиша, формы связи воды, содержание и биодоступность ГАМК в изделиях хлебобулочных определяли по методикам, описанным выше.

Коэффициенты выживаемости и относительного прироста инфузорий определяли по ГОСТ 31674-2012 с использованием культур простейших: *Paramecium caudatum* и *Tetrahymena pyriformis*.

Обнаружение *картофельной болезни* проводили методом пробной лабораторной выпечки с последующим хранением хлебобулочных изделий в оптимальных условиях для развития картофельной болезни. Степень снижения интенсивности развития картофельной болезни по органолептическим показателям оценивали с использованием шкалы, предложенной А. П. Демчук и И. М. Ройтер [41; 52].

Клинические исследования были проведены с соблюдением требований действующих МУ 28-1/2406 от 1 сентября 2016 г. Для оценки влияния включения в рацион хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП оценивались биохимические показатели сыворотки крови добровольцев-волонтеров до и после введения в рацион новых видов хлебобулочных изделий в течение 21 дня. Исследования проводились

совместно с Институтом здоровья ООО «ДокторЛаб» (договор на проведение клинико-диагностических исследований № 68 от 3 марта 2020 г., приложение Б). Для соблюдения прав и безопасности здоровья каждого добровольца-волонтера были подписаны индивидуальные формы следующих документов: договор на оказание медицинских услуг, информированное согласие, согласие на обработку персональных данных, согласие на отправку по электронной почте координатору результатов исследований.

Проводимое исследование было одобрено Комитетом по этике ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)». Критерии включения испытуемых: возраст от 18 до 65 лет; наличие письменного информированного согласия в соответствии с законодательством и заполнение индивидуальной регистрационной карты (приложение В).

На основе полученных данных лейкограммы рассчитывали следующие индексы:

– лейкоцитарный индекс интоксикации Я. Я. Кальф-Калифа:

$$\text{ЛИИ} = \frac{2\Pi + \text{С}}{(\text{М} + \text{Л}) \times (\text{Э} + 1)}, \quad (10)$$

где Π , С, Л, М, Э – содержание палочкоядерных, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов и эозинофилов соответственно;

– лимфоцитарный индекс по Шагалину:

$$\text{ЛИ} = \frac{\text{Л}}{\text{Н}}, \quad (11)$$

где Л, Н – процентное количество лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов;

– индекс сдвига лейкоцитов крови по И. И. Яблучанскому [150]:

$$\text{ИСЛК} = \frac{\text{Э} + \text{Б} + \text{Н}}{\text{М} + \text{Л}}, \quad (12)$$

где Э, Б, Н, М, Л – процентное отношение содержания эозинофилов, базофилов, нейтрофилов, моноцитов и лимфоцитов соответственно.

Для оценки влияния включения в рацион питания добровольцев-волонтеров хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП на психоэмоциональное состояние использовали опросный метод с применением анкеты для оценки качества жизни SF-36 [5].

Для формирования *модели факторов потребительского поведения* в отношении хлебобулочных изделий, в состав которых входит ЦСМПЗП, была разработана анкета и проведен опрос потребителей. Участники опроса были выбраны случайным образом на основе метода простой вероятностной выборки, без повтора единиц отбора [104].

В качестве инструментов для решения поставленной задачи использовали факторный и регрессионный анализ с применением программного продукта Statistica 13. В таблице 9 приведено краткое описание проведенного исследования.

Таблица 9 – Характеристика проведенного исследования

Показатель	Характеристика показателя
Период исследования	Осень – весна 2017–2018 гг.
Язык опроса	Русский
Целевая аудитория	Потребители г. Челябинска
Сбор данных	Онлайн-опрос, личный опрос
Объем исследования	533 чел. (коэффициент ответа – 86,3 %)

Для проведения корреляционного анализа была разработана анкета из 30 вопросов как прямого, так и обратного порядка. Участникам опроса было предложено ответить на поставленные вопросы (приложение Г), используя 5-балльную шкалу Ликерта [192; 215; 243; 303].

Статистическую обработку результатов экспериментальных исследований проводили по методу Стьюдента. Оптимальные режимы определяли с использованием преобразованного уравнения Ленгмюра, функций желательности и обобщенного критерия оптимальности с помощью программного продукта Statistica 13 с проверкой адекватности модели по критерию Фишера.

ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОГО СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА ИЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

3.1 Разработка методологии получения безопасных сырьевых ингредиентов для размещения их в системе пищевых продуктов

Обеспечение продовольственной безопасности в глобальном масштабе сопряжено не только с получением максимального количества продовольственных ресурсов, но и с их сохранением (минимизацией продовольственных потерь) для обеспечения в полном объеме населения полноценными продуктами питания. Формирование единой концепции минимизации потерь продовольственных ресурсов и получение безопасных пищевых продуктов в мировом масштабе как основное приоритетное направление развития до 2030 г. утверждено мировым сообществом и закреплено в документах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), а также Продовольственной и сельскохозяйственной организации Организации объединенных наций (ФАО). Анализируя представленные в открытом доступе на сайтах данных организаций документы, декларирующие наиболее важные подходы к безопасности нации в целом, можно отметить, что ключевой точкой роста названо повышение качества и *безопасности продовольственных товаров*, которое необходимо достигать путем *минимизации рисков продовольственных потерь* и сохранения продовольственного сырья [337].

Обеспечение продовольственной безопасности является первостепенной задачей мирового масштаба, что определено Целями в области устойчивого развития (ЦУР) до 2030 г., принятыми в 2015 г. государствами – членами ООН. Предотвращение продовольственных потерь, здоровый образ жизни и переход к рациональным моделям потребления и производства положены в основу ЦУР 2, 3 и 12. В рамках реализации вышеперечисленных ЦУР был определен комплексный показатель,

рассчитываемый для 114 стран мира, формируемый на основе данных ФАО и отражающий продовольственную безопасность каждой в отдельности страны – глобальный индекс продовольственной безопасности. Дополнительно для ЦУР 12 введен еще один показатель – глобальный индекс потерь продовольствия (2.3.1), который позволяет оценить нестабильность производства и неэффективность использования ресурсов, что крайне важно для обеспечения продовольственной безопасности.

Анализ этих показателей по Российской Федерации позволяет выявить основные факторы неустойчивости агропродовольственного сектора: волатильность аграрного производства (вклад 24 % в снижение физической доступности продовольствия) и нестабильность аграрной политики (вклад 21,3 %) [33; 129].

Необходимость глобального и системного подхода к решению данной проблемы подтверждает также тот факт, что ФАО в течение нескольких лет до принятия ЦУР работала над концепцией устойчивости к продовольственным потерям агропродовольственных систем, в результате чего были приняты пять принципов, основанных на развитии новых технологических подходов к производству, сокращении потерь продовольствия на протяжении технологической цепочки «от поля до потребителя» и необходимости большей выработки готовой продукции с единицы перерабатываемого сырья.

Глобальной инициативой SAVE Food и реализации ЦУР стала коллаборация ФАО, ВОЗ и компании Messe Düsseldorf, которая позволила в 2018 г. систематизировать мировые исследования и сформировать новую парадигму в области глобальной продовольственной безопасности за счет сокращения продовольственных потерь [120].

В 2010 г. была создана Группа экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания (ГЭВУ), занимающаяся систематизацией имеющихся данных о возникновении продовольственных потерь в мировом масштабе и разработкой мер по их снижению в целях улучшения продовольственной безопасности и повышения устойчивости продовольственных систем. Согласно определению, разработанному членами ГЭВУ для внесения ясности в терминологию, под *продовольственными потерями* понимается сокращение объема продо-

вольствия, предназначенного для употребления в пищу человеком, на всех этапах продовольственной цепочки, предшествующих этапу потребления, независимо от вызывающих их причин [120]. Графическое отображение процесса формирования продовольственных потерь и возможные пути их минимизации на отдельных этапах для устойчивости продовольственных систем представлены на рисунке 9.

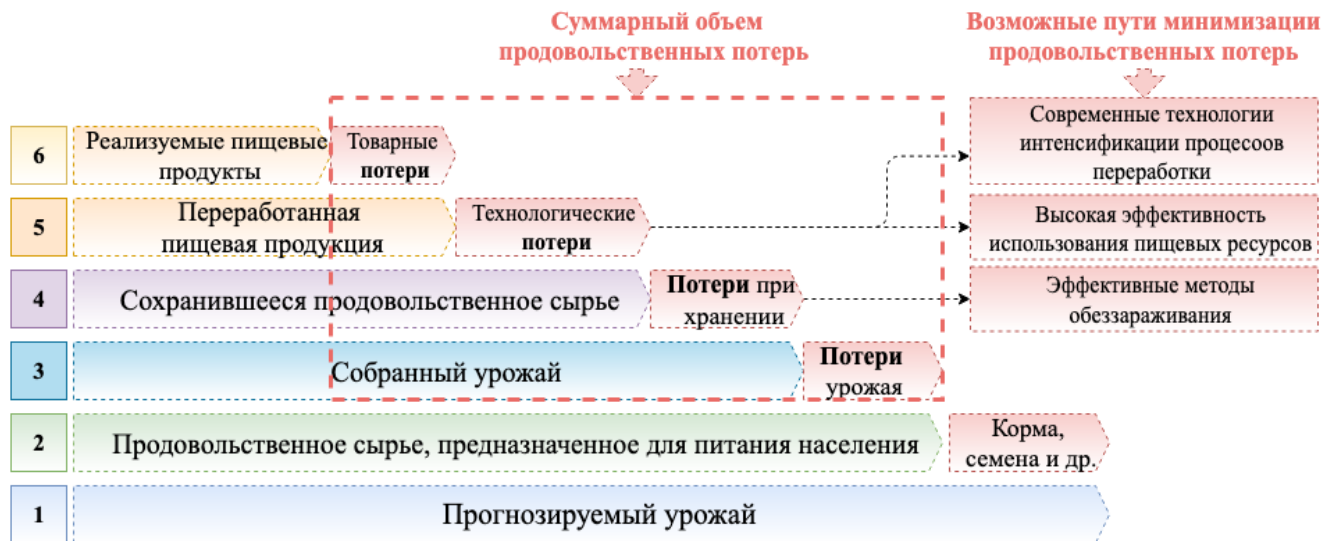


Рисунок 9 – Графическое отображение процесса формирования продовольственных потерь и возможные пути их минимизации на отдельных этапах для устойчивости продовольственных систем [120]

С целью формирования концептуального направления решения комплекса проблем, в том числе снижения продовольственных потерь, Правительство РФ разработало и утвердило ряд законодательных актов и нормативных документов, наиболее важными из которых можно назвать: «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» (распоряжение от 29 июня 2016 г. № 1364-р), «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения до 2020 г.» (распоряжение от 25 октября 2010 г. № 1873-р), а также проект Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. Данный перечень документов предполагает научно обоснованное развитие пищевой промышленности, базирующееся на применении наукоемких подходов и инновацион-

ных решений, принципиально новых технологий, обеспечивающих комплексную переработку сельскохозяйственного сырья для создания экологически безопасных пищевых продуктов с заданными свойствами [33; 129; 150; 151; 265].

В настоящее время мировое сообщество, говоря о продовольственной безопасности и рисках продовольственных потерь, все чаще указывает на риски, сопряженные с присутствием в пище различного рода контаминантов. Международными организациями (ICC, NACMCF, AACC, ICMSF, ФАО), осуществляющими мониторинг качества и безопасности зерна и продуктов его переработки, определена основная проблема в области хранения и переработки – ежегодные общемировые потери зерна до 20 %, обусловленные развитием патогенной микрофлоры и загрязнением продуктов переработки ее метаболитами. При этом особо отмечается, что мониторинг зараженности зерна мицелиальной микрофлорой не может проводиться только по данным визуальной оценки, поскольку большинство пораженных зерен внешне не отличаются от здоровых, но могут содержать микотоксины, в том числе маскированные [122; 151; 212; 246; 247; 284; 347; 368].

Актуальность рисков накопления микотоксинов подтверждается статистическими данными, представленными в предыдущих пунктах главы 1.

Так, только в России, по данным Центра оценки безопасности и качества зерна Россельхознадзора, за последние годы при оценке зерна выявлено превышение по показателям безопасности, которое составило в 2018 г. 39 тыс. т. Среди выявленных микотоксинов преобладают дезоксиниваленол и Т-2, также присутствуют охратоксин А и афлатоксин В1 [337].

Анализ доступных данных показывает, что первичным фактором, обуславливающим *наиболее высокие риски контаминации продуктов переработки растительного сырья*, являются технологии производства сырьевых ингредиентов из цельных зерновых культур, когда все составляющие части зерна переходят в конечный продукт вместе с эпифитной микрофлорой и продуктами ее метаболизма. В связи с этим исходная обсемененность и температурно-влажностный режим при хранении зернового сырья являются причинами активного развития патогенной микрофлоры. Но наибольшую угрозу для безопасности потребителей продукции

создают накапливающиеся в зерне злаковых культур микотоксины, часть которых обладает повышенной устойчивостью и не удаляется при технологической обработке пищевого сырья, что формирует риски для потребителя [54; 56; 87].

На масштабность представленной проблемы указывает тот факт, что еще в 1997 г. Национальный консультативный комитет по микробиологическим критериям оценки продуктов питания (NACMCF) разработал ряд концептуальных подходов (в том числе ХАССП), связанных с минимизацией рисков развития патогенной микрофлоры и накопления микотоксинов в пищевых продуктах, а также их миграции по трофологической цепи [246; 337].

Вторым важным фактором, определяющим риски контаминации пищевого сырья, является процесс проращивания зерновых культур, подразумевающий их предварительное замачивание с последующим выдерживанием во влажной среде при повышенных температурах. Еще в 1998 г. рабочая группа NACMCF разработала стратегический документ «Оценка и рекомендации микробиологической безопасности свежих пищевых продуктов», где пророщенные зерновые культуры были обозначены как наиболее опасный сырьевой ингредиент, способный аккумулировать в процессе производства экспоненциальный прирост патогенной микрофлоры и вызывать масштабную контаминацию [138; 140; 212; 220; 223; 226; 266].

В связи с этим перед пищевой промышленностью стоят приоритетные задачи снижения рисков контаминации микотоксинами растительного сырья и обеспечения высоких стандартов экологической безопасности производства при сохранении пищевой ценности и технологической пригодности сырьевых ингредиентов.

Решение данной проблемы в условиях устойчивого развития сельского хозяйства РФ и пищевой промышленности требует комплексного системного подхода, базирующегося на прослеживаемости продукции и позволяющего своевременно минимизировать риски. Инструментом для достижения результата может стать единый методологический подход к получению безопасного сырьевого ингредиента и разработке безопасных продуктов с повышенной пищевой ценностью (рисунок 10).



Рисунок 10 – Методологический подход к получению безопасного сырьевого ингредиента на основе снижения рисков контаминации и продовольственных потерь

Обобщая и систематизируя информацию из баз данных (РИНЦ, ФИПС, Scopus, Web of Science и Google Scholar, общий анализируемый объем составил более 1 600 публикаций и документов), методы и подходы в области создания сырьевых ингредиентов из растительного сырья, выделим следующие процессы,

требующие детального изучения и проработки с точки зрения обеспечения безопасности конечного продукта:

- 1) выбор наиболее эффективных подходов в обеспечении безопасности и снижении потерь продовольственного сырья;
- 2) обеспечение интенсификации технологических процессов переработки сырья для создания устойчивого производства, базирующегося на стабильных показателях качества продукции;
- 3) разработка технологии получения безопасных сырьевых ингредиентов с добавленной стоимостью на основе принципов ХАССП;
- 4) разработка модели встраивания сырьевых ингредиентов в систему пищевого продукта с целью повышения его пищевой ценности.

Концепция безопасности пищевых продуктов в мировой практике на сегодняшний день направлена на обеспечение главной задачи – безопасность разрабатываемых и производимых сырьевых ингредиентов и пищевых продуктов, для чего необходимо использовать наиболее результативные способы обеззараживания зернового сырья, позволяющие максимально сохранить основные пищевые ингредиенты, входящие в состав системы пищевого продукта, и их биоактивные свойства.

Для обеззараживания зерна наиболее часто применяют тепловое воздействие (высушивание при высокой температуре, автоклавирование, пропаривание, ИК-обработка и др.), которое весьма эффективно обеспечивает снижение количества патогенных микроорганизмов, но при этом вызывает значительные потери термолabile соединений (в результате денатурации белка, разрушения витаминов, инактивации ферментов и др.) и изменения органолептических, физико-химических и функциональных свойств конечного продукта [311].

Во время переработки зернового сырья добиться практически невозможно полного обеззараживания путем проведения таких технологических операций, как сухая очистка и мойка зерна [238; 239; 282]. При выборе метода обеззараживания необходимо учитывать, что приблизительно 87 % бактериальной и мицелиальной микрофлоры сосредоточено на оболочечных частях зерна, удаление которых позволяет снизить общую нагрузку обсеменения, но не исключить ее [282].

Как правило, наблюдается обратный эффект: неизбежное накопление микотоксинов в зерне и, как следствие, создание рисков интоксикации потребителей продукции, ухудшение здоровья населения в долгосрочной перспективе.

Следовательно, поиск новых подходов для обеззараживания, исключающих риски повторной контаминации сырья и продуктов его переработки, понимание механизма обеззараживающего действия позволит получить продукцию с высокой гарантией качества и безопасности.

Определение методов обеззараживания, применимых для продовольственного зерна

Весьма перспективными для обеззараживания представляются физические нетепловые методы воздействия [195; 205; 224; 306; 307; 335; 346; 366; 369; 370; 371; 372; 397;], которые применяются и активно развиваются во всем мире. Сведения о результатах применения этих методов имеют эпизодический характер, а механизмы их влияния изучены недостаточно. На рисунке 11 систематизированы применяемые в мировой практике методы нетеплового обеззараживания растительного сырья, дающие стабильный положительный эффект.



Рисунок 11 – Систематизация сведений о наиболее перспективных нетепловых методах обеззараживания растительного сырья в мировой практике [311]

В рамках данного диссертационного исследования были определены следующие нетепловые методы обеззараживания, которые по параметрам и эффектам действия могут быть применимы для растительного сырья.

Ультразвуковое воздействие (далее – УЗВ) достаточно успешно применяется в технологии пищевых производств. Сущность воздействия заключается в преобразовании электрической энергии в упругие, высокоинтенсивные (более 1 Вт/см²) колебания ультразвуковой частоты (более 20 кГц), введении их в разные технологические среды (твердые, жидкие и газообразные) для изменения структуры и свойств материалов, что обуславливает возможность создания уникальных технологий. Метод основан на способности высокоинтенсивных колебаний ультразвуковой частоты разрушать молекулярные и атомные структуры за счет формирования локальных разрывов жидких сред с образованием взрывающихся кавитационных пузырьков.

Эффективность и безопасность применения УЗВ в технологии пищевых производств доказана в работах известных зарубежных и отечественных ученых, таких как В. А. Акуличев, А. Г. Галстян, С. Д. Шестаков, В. Н. Хмелев, О. Н. Красуля, И. Ю. Потороко, М. Ashokkumar, B. Zisu, J.-Y. Wu, P. Juliano, T. G. Leighton, K. S. Suslick, F. Grieser, а также ряда других исследователей [14; 49; 117; 118; 119; 160; 174; 195; 209; 289; 302; 329].

A. Lopez-Malo, M. Jimenez-Fernandez, E. Palou [268; 305] в своих исследованиях отмечают, что УЗВ достаточно эффективно для инактивации *P. digitatum*. Также отмечается, что наилучший эффект достигается при совместном воздействии ультразвука и стерилизации поверхности продукта.

M. T. Jimenez-Munigua, M. R. Arce-Garcia, A. Argaiз и другие исследователи [210; 229; 268] в своих работах проводили инактивацию *P. digitatum*, а также спор *A. niger* с помощью ультразвуковой обработки. В результате исследований было установлено, что наибольшего эффекта обеззараживания возможно достичь при повышении температуры обрабатываемого продукта до 45 °С.

В настоящее время в России существует ряд организаций, которые разрабатывают генераторы ультразвукового низкочастотного воздействия. Наиболее рас-

пространены и успешно используются в пищевой промышленности генераторы ультразвукового низкочастотного воздействия серии «Волна», разработанные сотрудниками Центра ультразвуковых технологий, созданного на базе Бийского технологического института под руководством доктора технических наук, профессора В. Н. Хмелева [157; 160; 161; 274].

Наносекундные электромагнитные импульсы (далее – НЭМИ) вызывают интерес как новый способ воздействия на пищевые системы. Основной принцип формирования наносекундного электромагнитного поля заключается в использовании однополярных импульсов тока, что позволяет избежать осциллирующих колебаний в излучаемом поле, в результате чего возможно получить направленное пространственно-временное действие силы за время одного импульса.

Параметры техники генерирования наносекундных импульсов: длительность импульсов по уровню половины амплитуды $\tau = 10^{-9}$ с, амплитуда импульсов – более 7 кВ, частота повторения импульсов – до 1 000 Гц. При нагрузке 50 Ом мощность одного импульса составляет порядка 1 МВт, при этом генерируемая за 1 с энергия равна 0,1 Дж [94]. Напряженность полей пропорциональна временным и пространственным производным. Приближенный расчет напряженности дает величину $E \approx 10^{10}–10^{12}$ В/м вблизи излучателя. Приведенные параметры свидетельствуют об энергетических характеристиках НЭМИ, позволяющих создать условия для целенаправленного воздействия на физико-химические свойства веществ [66; 71]. При этом следует учитывать специфику НЭМИ, которые образуют локальные поля высокой мощности от 1 до 7 МВт. Эти поля характеризуются отсутствием осциллирующих колебаний и направленным действием электромагнитных сил, способных целенаправленно влиять на структуру и свойства веществ.

В настоящее время в России существуют организации, которые могут изготавливать генераторы с такими характеристиками: Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (г. Москва), Институт электрофизики РАН (г. Екатеринбург), Институт сильноточной электроники РАН (г. Томск), Институт ядерной физики РАН (г. Новосибирск), ЗАО «Фидтехнологии» (г. Санкт-Петербург).

Использовать НЭМИ для пищевых систем впервые предложил В. В. Крымский. В его работах [99; 117; 118; 119] приведены основные теоретические предпосылки и некоторые экспериментальные данные. Используемые генераторы НЭМИ потребляют из сети относительно небольшую мощность в пределах от 10 до 100 Вт. Условия работы излучателей при проведении исследований по воздействию НЭМИ на химические свойства вещества принципиально отличаются от их традиционного использования. Генераторы могут работать как в жидкой среде, так и на воздухе, имеют малые габариты излучателя и создают высокие напряженности поля в ограниченном пространстве, а также обеспечивают безопасность обслуживающего персонала.

Излучатель представляет собой рупор с раскрывом 90×120 мм длиной 240 мм, изготовленный из пластин фольгированного стеклотекстолита. Питание рупора несимметричное непосредственно от кабеля. Облучаемые растворы в стеклянных емкостях помещаются внутрь излучателя между его обкладками [117; 118; 119]. В промышленных условиях возможно совместить установку с использованием транспортной ленты, которая позволяет обрабатывать большие объемы сухого зерна.

Холодное плазменное излучение (далее – ХПИ) является четвертым состоянием вещества и представляет собой ионизированный газ, содержащий атомы или молекулы в метастабильном состоянии с нулевым суммарным электрическим зарядом [299; 301; 306; 307; 384; 387]. В пищевой промышленности холодная плазма только начинает применяться для микробной инактивации сырья, обеззараживания оборудования и поверхности упаковочных материалов [369; 370; 371; 372; 382].

Природа воздействия холодной плазмы зависит от нескольких факторов, таких как состав газовой среды, относительная влажность, используемая мощность и время обработки. В процессе обработки холодной плазмой генерируются ультрафиолетовый свет, свободные радикалы, свободные ионы и другие химически активные вещества, которые способны вступать в реакцию с микроорганизмами, что приводит к их разрушению.

В настоящее время в России существует ряд организаций, которые могут изготавливать установки, генерирующие ХПИ с характеристиками, подходящими для использования в пищевой промышленности: ООО Научно-производственный центр «ПЛАЗМА», ФГБОУ ВО «Челябинская государственная агроинженерная академия», ФГБУН Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН.

Обеззараживающий эффект при применении ХПИ описан рядом исследователей [221; 224; 283; 295; 372]. Установлено, что этот вид обеззараживания обеспечивает минимальное разрушение пищевых ингредиентов, полное сохранение органолептических характеристик, отсутствие токсичных побочных продуктов.

Таким образом, рассмотренные физические методы воздействия имеют доказанное применение для продовольственного сырья и обладают высокой эффективностью действия в отношении микроорганизмов. Вместе с тем важно минимизировать риски повторной контаминации в технологическом потоке в каждом процессе.

Моделью для исследования была определена технологическая система получения сырьевого ингредиента – цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы. В технологии ЦСМППЗ процесс предварительной подготовки зерна для проращивания, основанный на замачивании, имеет риски значительного роста количества микотоксинов в системе пищевого продукта.

3.2. Исследование качества и технологической пригодности зерна пшеницы, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области

Зерно мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), занимая первое место по площади посева и валовому сбору, играет исключительную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. По своей природе это биологический объект, свойства и технологическая пригодность которого сильно зависят от сортовых осо-

бенностей, агроклиматических условий при созревании, правильного использования севооборота, технологий возделывания, уборки, послеуборочной обработки зерна и хранения [66; 67; 70]. На технологическую пригодность зерна, помимо сортовых особенностей, оказывают влияние почвенно-климатические условия региона произрастания, поэтому исследование качества зернового сырья и оценка динамики его изменения проводилось с учетом региона возделывания культуры.

Выборка для исследования сформировалась на основе анализа массива данных, характеризующих объемы зерна пшеницы урожая 2014–2018 гг., поступившего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области из пяти регионов (таблица 10). Отбор проб проводился согласно требованиям ГОСТ 13586.3-83 и ГОСТ 13586.3-2015 (в соответствии со сроком действия стандартов).

Анализируя представленные данные, можно сказать, что зерно пшеницы, поступающее на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области из указанного перечня регионов, значительно отличается по почвенно-климатическим условиям произрастания. При этом, несмотря на сортовое разнообразие и вариабельность условий возделывания, можно говорить о насыщении сырьевого рынка Челябинской области зерном пшеницы 3-го и 4-го классов, что согласуется с общероссийскими статистическими данными, представленными в главе 1.

Долевое распределение по классам зерна пшеницы урожаев 2014–2018 гг., поступающего для переработки предприятия Челябинской области, представлено на рисунке 12.

На основании представленных данных можно сказать, что наблюдается некий дисбаланс в объемах перерабатываемого зерна пшеницы 3-го и 4-го классов. Фактически за последние пять лет зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области закупали в среднем 61,8 % зерна пшеницы 3-го класса и не более 34,2 % – 4-го класса. Так, в 2018 г. было переработано 49,2 % зерна пшеницы 3-го класса и только 37,6 % – 4-го класса. При этом в целом по России на протяжении последних десятилетий наблюдается сокращение урожая пшеницы 3-го класса (20,1 % от общего объема урожая 2018 г. в среднем по территории страны) и увеличение 4-го класса (до 45,8 % в 2018 г.).

Таблица 10 – Усредненные данные о качестве зерна пшеницы 2014–2018 гг. урожая, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области

Показатель			Регион произрастания									
			Курганская область		Челябинская область		Оренбургская область		Республика Башкортостан		Тюменская область	
Состояние			В здоровом, не греющемся состоянии									
Цвет			Свойственный здоровому зерну данного типа и подтипа									
Запах			Свойственный здоровому зерну пшеницы									
Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %			12,6–13,2	10,7–11,3	12,2–13,1	10,6–11,8	12,1–13,0	10,6–11,9	12,2–13,4	10,8–11,8	12,0–13,4	10,2–11,9
Количество клейковины, %			23,1–24,2	19,5–20,9	23,1–25,2	20,0–22,8	23,1–25,2	21,3–22,6	23,2–25,3	21,9–22,9	23,2–24,5	18,1–19,9
Качество клейковины, ед., ИДК/группа			70–90 I–II	70–90 I–II	65–80 I–II	70–90 I–II	70–80 I–II	70–75 I–II	65–75 I–II	70–75 I–II	70–80 I–II	70–75 I–II
Число падения, с			270–360	150–290	280–370	280–310	290–350	300–320	250–340	300–310	290–346	250–260
Стекловидность, %			43–50	39–52	40–56	40–58	40–53	42–53	44–56	42–53	40–42	38–39
Натура, г/л			770–818	755–815	700–810	760–805	760–768	763–795	756–798	765–793	793–813	780–796
Влажность, %			12,4–14,0	12,4–13,6	11,8–14,0	11,7–13,8	12,4–14,0	12,4–13,9	11,4–12,8	12,3–13,4	13,2–14,0	12,9–13,8
Сорная примесь, %			1,5–2,2	1–2,2	1,8–2,2	1,7–2,2	1,7–2,2	1,7–2,1	1,4–2,8	1,5–2,1	1,6–2,3	1,8–2,2
Зерновая примесь, %			0,9–1,1	0,8–1,5	1,1–1,6	0,9–1,7	0,8–1,6	1,1–2,1	1,6–1,8	1,5–1,9	0,9–1,6	1,3–1,8
Класс пшеницы согласно ГОСТ 9353-2016			3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Класс пшеницы	Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %, не менее	Количество клейковины, %, не менее	Качество клейковины, ед.; ИДК/группа, не ниже		Число падения, с, не менее	Стекловидность, %, не менее		Натура, г/л, не менее	Влажность, %, не более		Сорная примесь, %, не более	Зерновая примесь, %, не более
3	12	23	18–102		150	40		730	14		2	5
4	10	18	II		80	Не ограничивается		710				

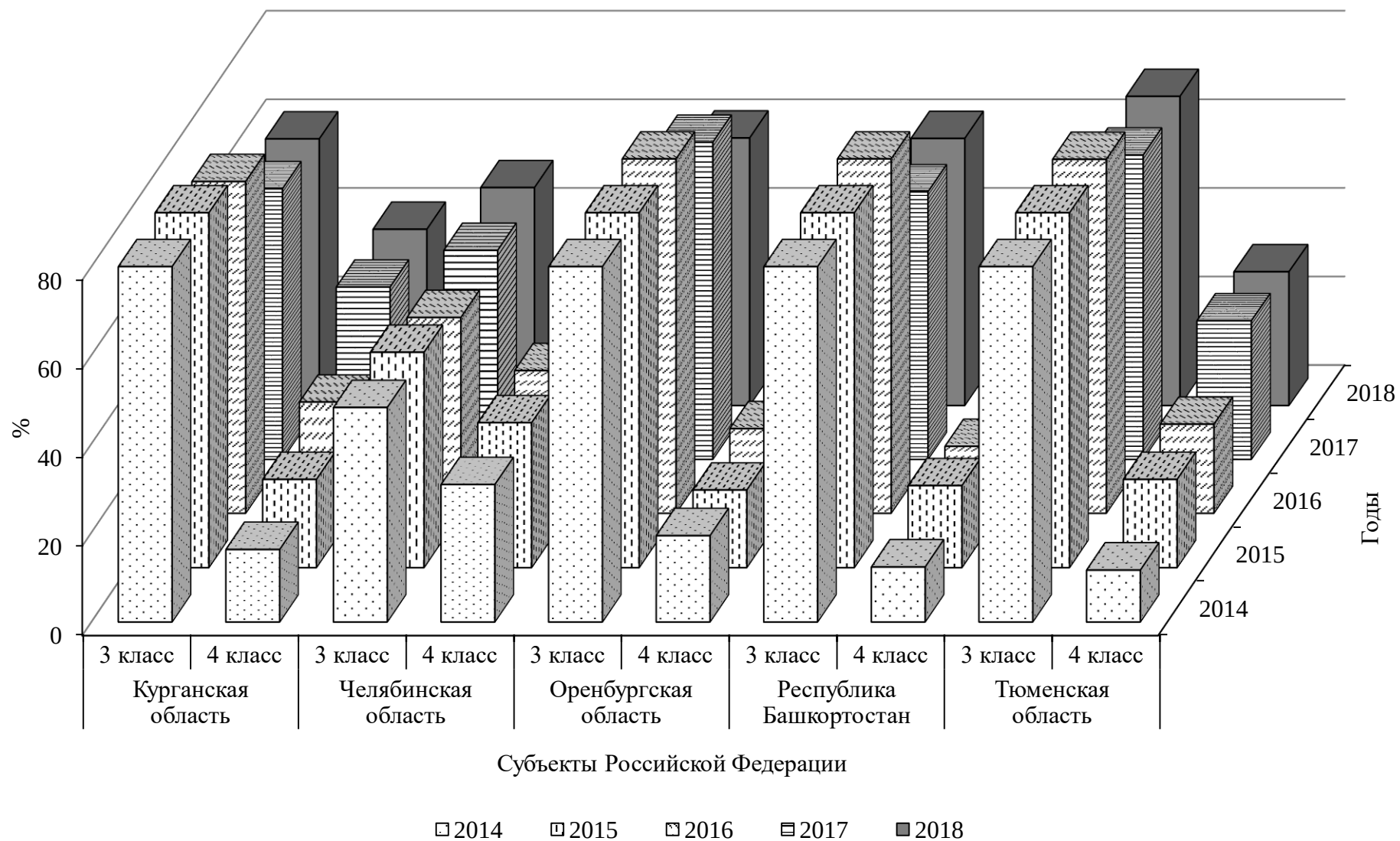


Рисунок 12 – Долевое распределение по классам зерна пшеницы, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области, % по годам урожая

При формировании помольных партий зерна необходимо учитывать тот факт, что, несмотря на отмену разделения товарных партий зерна по целевому назначению (согласно ГОСТ 9353-2016), использование пшеницы 4-го класса в чистом виде для выработки хлебопекарной муки невозможно.

Согласно Правилам организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах (ВНПО «Зернопродукт»), при формировании помольных партий зерна рекомендовано использовать пшеницу 4-го класса в помольной смеси только для баланса показателей качества сортовой муки по требованиям действующего ГОСТ 26574-2017 и снижения ее себестоимости. Мукомольные предприятия стараются максимально перерабатывать пшеницу 4-го класса, но у сельскохозяйственных производителей все еще отмечается значительный ее профицит.

Поскольку количество низкосортного зерна может определять значительные потери продовольственного сырья, в настоящее время предприятия заинтересованы в ресурсосберегающих технологиях производства. Соответственно, возникает необходимость в разработке технологий переработки зерна пшеницы именно 4-го класса для получения полноценных сырьевых ингредиентов, используемых при производстве продуктов для здорового питания.

В качестве объектов исследования на данном этапе работы были определены два образца мягкой яровой пшеницы сортов «Любава» и «Эритроспериум 59», возделываемые в степной зоне Челябинской области. Данный регион относится к зоне рискованного земледелия, характеризуется значительными колебаниями температуры воздуха в период активной вегетации и вариативностью степени увлажнения почвы. Территории возделывания культуры в зависимости от количества осадков могут быть охарактеризованы от острозасушливых до достаточно влажных, что гарантирует разнородность качества партии урожая зерна пшеницы.

Выборку для исследования составили партии урожая, полученные в период с 2014 по 2018 г. агропромышленным предприятием ООО «Боровое»:

– пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Любава», срок созревания – среднеранний, вегетационный период 70–84 дней, рекомендуемая зона возделывания – степная зона Южного Урала;

– пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Эритроспериум 59», срок созревания – среднепоздний, вегетационный период – 80–108 дней, рекомендуемая зона возделывания – лесостепная и степная зона Южного Урала, Западно-Сибирский регион.

Данные сорта пшеницы мягкой яровой постоянно находятся на возделывании предприятия ООО «Боровое», средний объем сбора культуры с 1 га за указанный период – 17,3 центнера. Фактический сбор урожая данных сортов пшеницы ООО «Боровое» с 2014 по 2018 г. в среднем составил более 17 543 т.

Отбор проб производился в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-83 и ГОСТ 13586.3-2015 (согласно срокам действия стандартов). Объединенную пробу от каждой партии зерна пшеницы формировали из точечных проб зерна пшеницы путем применения многоуровневого пробоотборника для захвата верхнего и нижнего слоев. Средняя проба формировалась исходя из массы объединенной и составляла не менее 2 кг от каждой партии зерна пшеницы. Общее количество исследуемых образцов за указанный период составило 405 средних проб. Исследование проводилось в соответствии со схемой исследования.

Усредненные результаты исследования качества, химического состава и линейных размеров зерна пшеницы урожая 2014–2018 гг. представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Усредненные результаты исследования качества, химического состава и линейных размеров зерна пшеницы урожая 2014–2018 гг.

Показатель	Характеристика показателей зерна пшеницы	
	«Любава»	«Эритроспериум 59»
Класс пшеницы	4	4
Состояние	В здоровом, не греющемся состоянии	
Цвет	Свойственный здоровому зерну пшеницы	
Запах	Свойственный здоровому зерну пшеницы	
Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %	10,6–11,8	10,9–11,8
Количество клейковины, %	20,4–22,6	21,8–22,8
Качество клейковины, ед. ИДК (группа)	60,3–65,8 (I)	66,6–69,5 (I)
Растяжимость клейковины, см	14,2–15,1	13,3–14,0
Масса 1000 зерен, г	31,8–34,6	33,6–35,3
Число падения, с	293–306	284–310
Стекловидность, %	48,6–50,2	51,3–56,2
Натура, г/л	772–799	789–805

Продолжение таблицы 11

Показатель	Характеристика показателей зерна пшеницы	
	«Любава»	«Эритроспериум 59»
Влажность, %	11,9–13,9	12,5–13,8
Сорная примесь, %	1,7–2,1	1,8–2,2
Зерновая примесь, %	0,7–1,4	0,9–1,6
Массовая доля, %:		
– жира	2,4–2,5	2,3–2,5
– моно- и дисахаридов	0,9–1,4	0,9–1,3
– крахмал	60,3–64,3	61,6–68,2
– сырой клетчатки, %	6,6–8,2	6,4–8,6
Зольность, %	2,2–2,4	2,2–2,4
Линейные размеры, мм:		
– толщина	2,4–2,6	2,3–3,1
– длина	4,6–4,9	4,8–5,4
– ширина	1,9–2,2	2,1–2,4

На основании оценки качества зерна пшеницы по расширенной номенклатуре показателей можно сказать, что данные сорта пшеницы соответствуют требованиям ГОСТ 9353-2016, зерно можно отнести 4-му классу. За годы исследований наблюдалась разнородность результатов по количеству клейковины, но при этом ее качество оставалось стабильно высоким.

Выполненность зерна также имела значительную вариабельность результатов: так, масса 1000 зерен находилась в диапазоне значений от 31,8 до 35,3 г, натура – от 772 до 805 г/л. Эти значения достаточно высоки, что свидетельствует об отсутствии воздушных прослоек между отдельными структурными элементами и сморщенности эндосперма. Стекловидность зерна пшеницы составила от 48,6 до 56,2 %. Данный показатель является признаком, характеризующим строение эндосперма и его консистенцию. Содержание белка в исследуемых образцах пшеницы колеблется в пределах от 10,6 до 11,8 %.

Влажность зерна пшеницы обоих сортов в отдельных пробах была приближена к критическим значениям, регламентируемым ГОСТ 9353-2016 (не более 14 %), что подтверждает актуальность проводимых исследований.

С учетом полученных результатов можно сказать, что исходное зерновое сырье отличается вариабельностью свойств и значительным разбросом значений технологических показателей. Эти характеристики во многом зависят от почвенно-

климатических условий, зоны районирования, сортовых особенностей зерна, а также технологии уборки, послеуборочной обработки и хранения. Производственные предприятия имеют минимальное влияние на перечисленные факторы, и проблема переработки зерна 4-го класса в России только набирает свою актуальность. Поэтому наиболее важно проводить разработку эффективных технологий сохранения безопасности и качества зерна пшеницы, внедрять в производство современные технологии снижения микробной контаминации сырья и производить безопасные пищевые продукты для здорового питания (рисунок 13). Кроме того, в связи с тяжелой экономической ситуацией в мире при создании системы пищевого продукта необходимо максимально учитывать экономическую эффективность предлагаемого подхода, что может быть реализовано путем внедрения технологий предотвращения продовольственных потерь, увеличения выхода продукции с единицы перерабатываемого сырья и интенсификации процессов переработки.

Для получения конечного продукта переработки зерна стабильного качества необходимо учитывать, что на зерноперерабатывающие предприятия, как правило, поступают партии зерна пшеницы, различающиеся по технологическим параметрам и показателям безопасности. В этих условиях производитель (предприятия перерабатывающей и пищевой индустрии), сохраняя сырьевые ресурсы, может осуществлять только корректирующие операции, но существуют ограничительные меры. Особую актуальность в решении данной проблемы имеет фактор обеспечения безопасности получаемого конечного продукта. Как указывалось в главе 1, в настоящее время мировым научным сообществом доказано, что присутствие и развитие *токсигенных плесеней* в составе эпифитной микрофлоры зерна пшеницы приводит к высокой контаминации продуктов переработки микотоксинами, количество которых определяют технологии переработки (как возможные провокационные факторы). Поэтому разработка высокоэффективных и экологически безопасных методов разрушения токсигенных плесеней, а также изучение механизмов ингибирующего действия методов обеззараживания на биосинтез микотоксинов является одним из перспективных путей совершенствования современных технологий получения сырьевых ингредиентов повышенной пищевой ценности.



Примечание – * Область проведения комплекса научных исследований.

Рисунок 13 – Схема получения пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью в условиях разнородности качества исходного сырья

Таким образом, разработка и практическое применение *комплексного подхода к технологии* получения *безопасного сырьевого ингредиента повышенной пищевой ценности* из зерна пшеницы для использования в хлебопекарной промышленности, основанная на реализации принципов предотвращения продовольственных потерь, повышения эффективности сохранения качества и безопасности, применении современных технологий, а также оптимизации процессов переработки, позволит получить стабильное производство независимо от технологических показателей исходного сырья.

3.3 Обеспечение безопасности и качества сырьевого ингредиента из зерна пшеницы на основе принципов процессного подхода

Создание комплексной системы управления процессами производства, основанной на принципах процессного подхода и обратной связи, в производстве безопасных пищевых продуктов нового поколения с заданными характеристиками является одним из направлений реализации задач в области повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации [146]. Использование методологического подхода эмпирического оценивания, где размытые области возможных множеств отклонений качества и безопасности сырья, а также технологических процессов уменьшены за счет введения таких управляющих мероприятий, как контроль и обратная связь, позволяет минимизировать существующие проблемы зерновой отрасли [58; 60; 133; 149; 68; 67; 69].

Одной из законодательных проблем зернового комплекса России является отсутствие взаимосвязанных нормативных документов, позволяющих обеспечить качество и безопасность всей продовольственной цепочки «зерно – мука – хлеб». При этом проведение таких технологических операций, как проращивание, создает особые риски в вопросах безопасности получаемого сырьевого ингредиента. Только прозрачность и всеобъемлющий контроль технологических этапов производ-

ства может минимизировать риски большой variability сырья, а использование современных методов моделирования позволит получать стабильное качество в условиях информационной неопределенности, когда практически невозможно выявить четкие критерии (экономические, социальные, технологические и какие-либо другие) для принятия решений [152].

Среди множества подходов к моделированию технологических процессов можно выделить направление «от целого к частному», при котором не отрицается практика решения технологических задач от частного к целому. Установление общих исходных положений и последующий переход на составляющие компоненты повышает эффективность функционирования всего комплекса взаимосвязанных объектов [47; 89; 130; 380].

В основе изучения функционирования технологических систем и процессов всегда лежит эксперимент – реальный или модельный. Большое распространение получила методология IDEF (Integration Definition for Function Modeling) – методология функционального моделирования, позволяющая описать технологический процесс в виде иерархической системы взаимосвязанных функций.

Создание функциональной модели интегрированной интеллектуальной системы проектирования IDEF – это популярный инструмент для анализа и проектирования сложных систем производства пищевых продуктов. Данная модель состоит из серии этапов жизненного цикла продукта и позволяет отследить функционирование всего комплекса взаимосвязанных объектов [118; 119]. IDEF0 – это один из способов моделирования IDEF, который позволяет визуализировать все этапы работ, установить наиболее значимые факторы производственного процесса, провести их анализ и выявить взаимосвязи.

В настоящее время общая методология IDEF включает ряд частных методологий для моделирования систем, в том числе: IDEF0 – создание функциональной модели, IDEF1 – получение информационной модели, IDEF2 – динамическое моделирование меняющихся во времени поведения, функций, информации и ресурсов системы.

Методология IDEF0 основана на подходе, получившем название SADT (Structured Analysis & Design Technique – метод структурного анализа и проектирования). Основу этого подхода и методологии IDEF0 составляет графический язык описания (моделирования) систем.

Преимуществами моделирования IDEF0 являются хорошо протестированный язык и комплексная техника моделирования систем. Модели IDEF0 хорошо структурированы, просты для понимания, легко модифицируются и могут быть расширены до любой глубины детализации.

Модели IDEF0 можно считать трехмерными, поскольку любую диаграмму функциональной модели двумерной IDEF0 можно распространить на дочерние функции, представленные на разных уровнях или уровнях модели. Также отсутствуют ограничения по количеству дочерних функциональных слоев.

Использование методологии моделирования IDEF0 позволяет получить схематичное системное представление последовательности стадий и операций, используемых в производстве, выявить степень их взаимодействий, а также систематизировать инструменты, используемые для достижения поставленных целей стратегического плана и управления. При этом полученный «прозрачный» технологический процесс позволяет отследить обратную связь по управлению качеством и безопасностью получаемого продукта.

Именно системный подход к решению задачи производства безопасного сырьевого ингредиента из пророщенного зерна пшеницы с улучшенными технологическими характеристиками позволит установить наиболее значимые факторы данного процесса, сформировать их подробный анализ на основе процессного подхода и принципов прослеживаемости, обеспечить возможность оценки влияния каждого фактора на всех стадиях жизненного цикла продукта – от свойств и получения сырья до реализации продуктов переработки.

С позиций системного анализа была предложена модель управления безопасностью и качеством такого сырьевого ингредиента, как цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП) (рисунок 14).

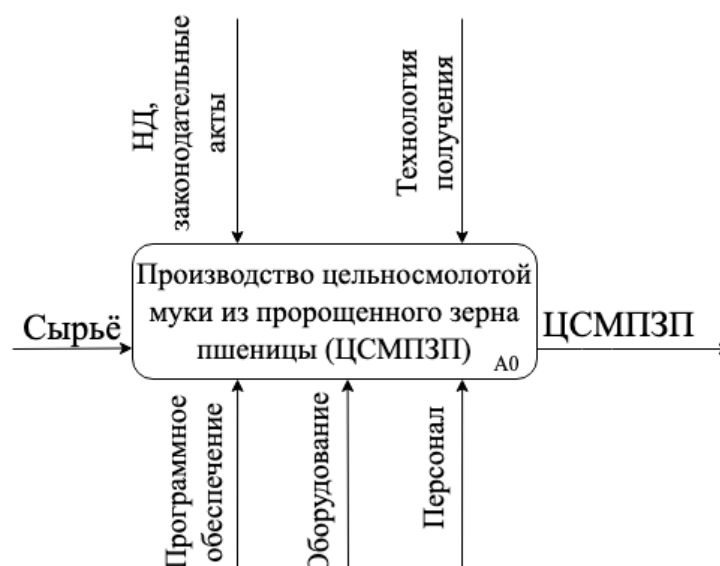


Рисунок 14 – Контекстная диаграмма технологии производства ЦСМПЗП (в нотации IDEF0)

С целью минимизации рисков накопления микотоксинов на всех этапах технологической цепочки в зерне пшеницы при хранении, переработке и в технологии получения сырьевого ингредиента ЦСМПЗП предложена комплексная система управления качеством и безопасностью (рисунок 15).

Согласно представленной дочерней диаграмме технологии производства ЦСМПЗП (в нотации IDEF0) первой группой технологических операций является входной контроль качества и безопасности зерна пшеницы, используемой для проращивания. Последующие элементы диаграммы включают основные операции, нацеленные на минимизацию рисков накопления микотоксинов, анализ и моделирование процессов получения ЦСМПЗП, контроль технологических параметров, безопасности и сохраняемости ЦСМПЗП.

Проведение анализа внешних и внутренних факторов рассматриваемой системы, имеющих непосредственное влияние на безопасность и качество ЦСМПЗП, является обязательным процессом. После декомпозиции системы каждый блок дочерней диаграммы рассматривался самостоятельно на основе факторного анализа.

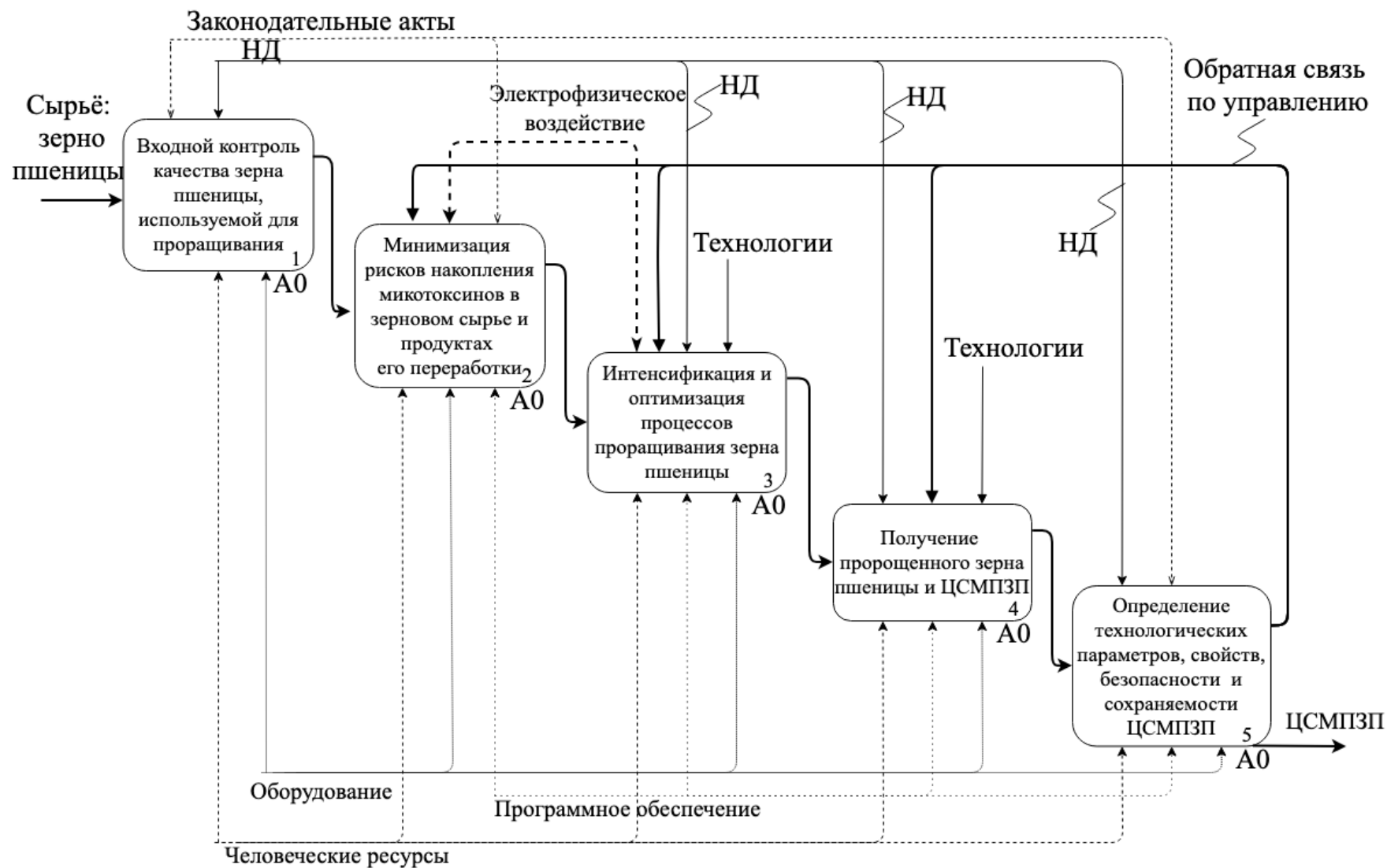


Рисунок 15 – Дочерняя диаграмма технологии производства ЦСМПЗП (в нотации IDEF0)

Для обеспечения качества и безопасности полученных продуктов переработки зерна в условиях неопределенности была использована методика эмпирического оценивания, где размытые области возможных множеств отклонений качества и безопасности зерна пшеницы уменьшены за счет введения таких управляющих мероприятий, как контроль эффективности процесса обеззараживания.

В предлагаемой системе был реализован принцип обратной связи с целью коррекции процессов, гарантированного качества и безопасности ЦСМПЗП. Только при строгом контроле выявленных рисков возможно получить гарантированно безопасный сырьевой ингредиент, что позволит использовать его для встраивания в систему пищевого продукта.

В последующих разделах диссертационной работы на основе исследований и оценки полученного массива данных будет проведена верификация разработанной системы управления.

3.4 Установление рисков контаминации зерна пшеницы микотоксинами при использовании технологий проращивания в его переработке

Безопасность зерна и продуктов его переработки определяется прежде всего микробиологической чистотой – регламентируемым показателем, имеющим наиболее важное значение при оценке безопасности зернового сырья. В соответствии с требованиями ТР ТС 015/2011 и ТР ТС 021/2011 в числе регламентируемых показателей безопасности зерна пшеницы, поставляемого на пищевые цели, определены плесени (не более 50 КОЕ/г) и группа микотоксинов: афлатоксин В1 (в количестве не более 0,005 мг/кг), дезоксиниваленол (не более 0,7 мг/кг), Т-2 токсин (не более 0,1 мг/кг), зеараленон (не более 1,0 мг/кг) и охратоксин А (не более 0,005 мг/кг).

Важным показателем является влажность зерна. Ее изменение при хранении, а также во время переработки в пределах от 12 до 25 %, по данным исследований ГНУ ВНИИЗ, приводит к увеличению количества плесеней в 75 000 раз [12; 66; 138; 140; 363]. В связи с этим при проведении процессов проращивания важно отслеживать микробиологическую чистоту зерна, поскольку возникают критические условия – повышение влажности и температуры. Такие условия ведения технологического процесса способствуют активации эпифитной микрофлоры, в том числе токсигенных плесеней, и определяют миграцию микотоксинов и возникновение рисков при использовании полученного продукта в качестве сырьевого ингредиента в производстве пищевых продуктов.

Для установления рисков контаминации микотоксинами сырьевого ингредиента ЦСМПЗП, в технологии получения которого используется процесс проращивания, в качестве модельных были определены следующие образцы зернового сырья:

– образец ЗП-1 – пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Любава», выращенная в степной зоне Брединского муниципального района Челябинской области;

– образец ЗП-2 – пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Эритроспериум 59», выращенная в степной зоне Брединского муниципального района Челябинской области.

Выборка образцов для исследования формировалась от партий урожая в период с 2016 по 2018 г., отобранных в агропромышленном предприятии ООО «Боровое». На данном предприятии хранение зерновой массы осуществляется в металлических зернохранилищах фирмы «ROMAX», характеризующихся объемом 80 м³ с конусным основанием при угле наклона воронки 60° и вентилированием атмосферным воздухом. Контроль температуры и влажности зерна производился 1 раз в 5 дней в соответствии с Инструкцией № 9-7-88 по хранению зерна, маслосемян, муки и крупы.

Для получения данных о возможном влиянии температурно-влажностного режима хранения зерновой массы на изменение показателей безопасности зерна отбор проб осуществлялся в ноябре, январе и марте каждого года проведения исследований.

Отбор проб проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-2015. Объединенную пробу формировали из точечных проб зерна пшеницы путем применения ручного щупа для захвата верхнего и нижнего слоев. Средняя проба формировалась исходя из массы объединенной и составляла не менее 2 кг. Отбор проб проходил в одно и то же время суток. Общее количество исследуемых образцов средних проб составило ежегодно 81, что в общем объеме за указанный период соответствовало 243 пробам.

На данном этапе исследований были проведены контрольные исследования микробиологических показателей и показателей безопасности зерна пшеницы на соответствие требованиям ТР ТС 015/2011 и ТР ТС 021/2011 [82; 84]. Исследования проводились с применением стандартных методов, описанных в главе 2.

Чтобы обеспечить идентификацию токсигенных плесеней с высокой вероятностью и точностью, исследование колониеобразующих единиц проводили с применением метода MALDI TOF MS и программного обеспечения MALDI Biotyper. Посев разведений (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) осуществляли глубинным методом на селективный агар для дрожжей и плесеней YGC (Yeast extract glucose chloramphenicol agar, Merck). Инкубацию проводили при $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ на 3 и 10 сут. Затем определяли количество колоний и отсев единичных колоний для идентификации.

В таблице 12 представлены усредненные результаты входного контроля микробиологических показателей и показателей безопасности используемого для проращивания зерна пшеницы в момент закладки на хранение.

Анализ полученных результатов показал, что в целом зерно пшеницы сортов «Любава» и «Эритроспериум 59» соответствует требованиям ГОСТ 9353-2016, а также ТР ТС 015/2011 и ТР ТС 021/2011 и может быть использовано в качестве сырья для получения сырьевых ингредиентов.

Таблица 12 – Результаты входного контроля микробиологических показателей и показателей безопасности образцов зерна пшеницы сортов «Любава» и «Эритроспериум 59» в момент закладки на хранение, усредненные по годам

Показатель	Регламентируемое значение согласно ТР ТС 021/2011, ТР ТС 015/2011	Фактическое значение показателей для образцов	
		ЗП-1	ЗП-2
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$	$(1,6 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(2,8 \pm 0,5) \cdot 10^3$
БГКП (колиформы)	Не допускается в 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г
Дрожжи, КОЕ/г	Не более 100	Менее 10	Менее 10
Плесени, КОЕ/г	Не более 50	25 ± 2	32 ± 2
Токсичные элементы, мг/кг не более			
Массовая доля свинца	0,5	$(0,012 \pm 0,009) \text{ млн}^{-1}$	$(0,010 \pm 0,008) \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля мышьяка	0,2	$(0,053 \pm 0,016) \text{ млн}^{-1}$	$(0,021 \pm 0,006) \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля кадмия	0,1	Менее $0,01 \text{ млн}^{-1}$	Менее $0,01 \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля ртути	0,03	Менее 0,0025	$0,004 \pm 0,001$
Микотоксины, мг/кг, не более			
Афлатоксин В1	0,005	Менее 0,001	Менее 0,001
Дезоксиниваленол	0,7	Менее 0,2	Менее 0,2
Т-2 токсин	0,1	Менее 0,02	Менее 0,02
Зеараленон	0,2	$0,065 \pm 0,027$	$0,024 \pm 0,010$
Охратоксин А	0,005	Менее $0,0025 \text{ млн}^{-1}$	Менее $0,0025 \text{ млн}^{-1}$
Пестициды, мг/кг, не более			
ГХЦГ (α -, β -, γ -изомеры)	0,5	Менее 0,005	Менее 0,005
2,4-Д кислота, ее соли и эфиры	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	0,02	Менее 0,05	Менее 0,05
Гексахлорбензол	0,01	Менее 0,005	Менее 0,005
Ртутьорганические пестициды, мкг/кг	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено
Радионуклиды, Бк/кг, не более			
Цезий-137	60	Менее 4,19	Менее 3,33
Стронций-90	11	Менее 0,03	Менее 0,05
Прочие показатели, не более			
Массовая доля бенз(а)пирена, мг/кг	0,001	Менее $0,001 \text{ млн}^{-1}$	Менее $0,001 \text{ млн}^{-1}$
Зараженность вредителями	Не допускается	Не обнаружено	
Загрязненность мертвыми насекомыми-вредителями, экз/кг	15	Не обнаружено	

Рассмотрение влажности и количества плесеней в исследуемых образцах зерна пшеницы по месяцам в течение периода хранения (таблица 13) позволило более детально изучить динамику изменения данных показателей и выявить потенциальные риски использования данного вида сырья при переработке. Анализ полученных данных указывает на то, что на начальном этапе влажность зерна пшеницы имеет достаточно высокие значения (13–14 %), что связано с протеканием процесса послеуборочного созревания и улучшением технологических свойств зерна (значительно улучшается качество клейковины, повышается ее эластичность и растяжимость), при этом количество плесеней находится на уровне минимальных значений (14–18 КОЕ/г для ЗП-1 и 22–25 КОЕ/г для ЗП-2).

Таблица 13– Результаты оценки влажности и количества плесеней для образцов зерна пшеницы сортов «Любава» и «Эритроспериум 59», усредненные по годам

Показатель	Фактическое значение показателей с учетом времени года, мес.					
	ЗП-1			ЗП-2		
	Ноябрь	Январь	Март	Ноябрь	Январь	Март
2016 г. урожая						
Влажность, %	13,6 ± 0,2	12,0 ± 0,1	13,4 ± 0,2	13,2 ± 0,2	12,6 ± 0,1	13,1 ± 0,3
Плесени, КОЕ/г	18 ± 2	22 ± 0,3	46 ± 2	25 ± 3	27 ± 2	48 ± 1
2017 г. урожая						
Влажность, %	13,8 ± 0,1	12,2 ± 0,2	13,6 ± 0,2	12,9 ± 0,2	11,9 ± 0,3	13,3 ± 0,2
Плесени, КОЕ/г	14 ± 2	16 ± 2	33	22 ± 2	24 ± 2	40
2018 г. урожая						
Влажность, %	13,8 ± 0,1	12,3 ± 0,2	13,6 ± 0,1	13,6 ± 0,2	12,9 ± 0,2	13,5 ± 0,2
Плесени, КОЕ/г	16 ± 2	18 ± 2	46 ± 2	24 ± 2	26 ± 3	48 ± 1

В зимний период влажность зерна пшеницы снижается и для ЗП-1 составляет от 12,0 до 12,2 %, для ЗП-2 – от 11,9 до 12,9 %, что свидетельствует о соответствующем режиме хранения и сбалансированном уровне влажности воздуха в зернохранилище 60–75 %. Количество плесеней на данном этапе хранения увеличивается и для ЗП-1 составляет от 18 до 20 КОЕ/г; для ЗП-2 – от 18 до 24 КОЕ/г, что укладывается в рамки регламентируемых значений.

Однако, сопоставляя влажность и количество плесеней для исследуемых образцов, отобранных в весенний период, можно наблюдать некоторую критич-

ность в значении показателей по отношению к регламенту. Так, для ЗП-1 влажность составляет 13,4–13,6 % (при норме не более 14 %), количество плесеней в 2016 и 2018 гг. – (46 ± 2) КОЕ/г (при норме не более 50 КОЕ/г), а для ЗП-2 соответственно 13,1–13,5 % и (48 ± 2) КОЕ/г. Выявленные изменения показателей могут быть обусловлены происходящими в зерне биохимическими процессами, в частности дыханием зерна, интенсивность которого зависит от температурно-влажностного режима окружающей среды в хранилище. Значительное увеличение влажности может определять риски развития токсигенных плесеней в составе эпифитной микрофлоры зерна пшеницы и последующее накопление микотоксинов. Так, согласно данным ряда авторов [4; 64; 126; 179; 224], выдержка даже полностью безопасного сырья в гидромодуле 1:1, при комнатной температуре 20–25 °С в течение 24 ч приводит к увеличению количества плесневых грибов в 3–5 раз, дрожжей – в 1,5–2 раза, количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – в 1–1,5 раза.

Поэтому для выявления токсигенных видов плесеней важно при закладке зерна на хранение на этапе созревания (обычно 1,5–2 мес.) контролировать показатель влажности и проводить видовую идентификацию плесневой микрофлоры. В целях установления рисков накопления микотоксинов при технологии проращивания была проведена видовая идентификация микроорганизмов в образцах зерна пшеницы с применением метода MALDI TOF MS. Характерные виды колоний после инкубации посевов образцов ЗП-1 и ЗП-2 на селективном агаре глубинным методом по истечении 3 и 10 сут представлены на рисунке 16.

Изучение морфолого-культуральных свойств колоний показало, что уже через трое суток инкубации количество образовавшихся колоний выше у образца ЗП-2 («Эритроспериум 59»), в то время как посевы образца ЗП-1 («Любава») дают менее значительный рост колоний. На поверхности питательной среды визуализируются плоские белые, слегка пушистые, местами рваные, неоднородные по массе колонии.

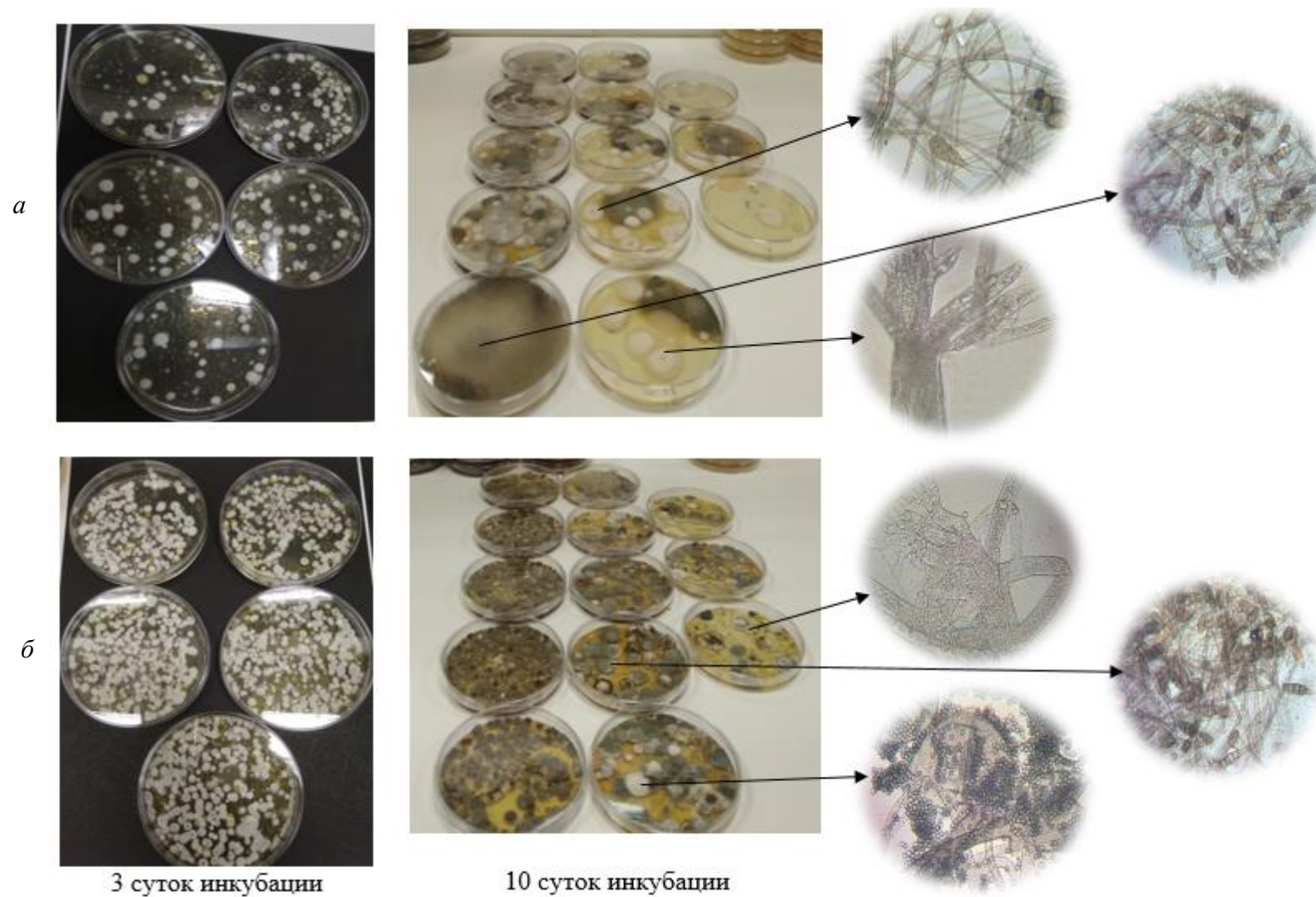


Рисунок 16 – Результаты роста колоний исследуемых образцов зерна пшеницы на селективном агаре для идентификации плесеней методом MALDI TOF через 3 и 10 сут инкубации:
a – ЗП-1; *б* – ЗП-2

По истечении 10 сут инкубации морфолого-культуральные свойства колоний значительно изменились. На поверхности питательной среды визуализируются колонии от белых до бурых и зеленоватых, воздушный мицелий – от практически отсутствующего до обильного и пушистого. Внешний вид и микроскопия колоний могут ориентировочно указывать на их принадлежность к грибам родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria*.

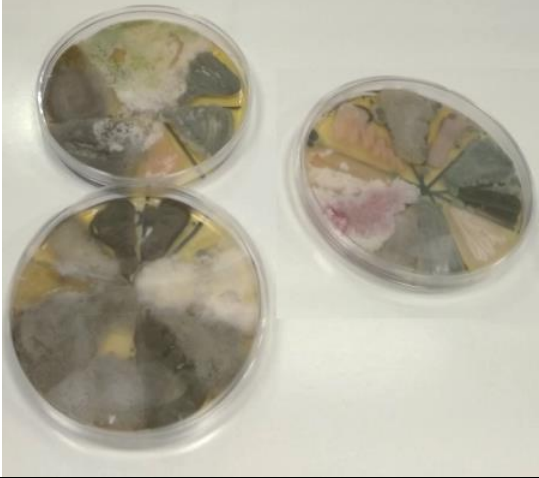
Результаты посевов разведений глубинным методом и идентификации микроорганизмов зерна пшеницы (методом MALDI TOF MS), представленные в таблице 14, подтверждают первичные заключения. Так, в образцах ЗП-1 (пробы зерна сорта «Любава») после инкубации с самым высоким значением сора (++) были идентифицированы такие виды плесневых грибов, как *Alternaria alternate* (2,312), *Aspergillus candidus* (1,918) и *Fusarium spp.* (1,854). В образцах ЗП-2 («Эритроспериум 59») с высоким значением сора были идентифицированы *Aspergillus glaucus* (2,054), *Aspergillus candidus* (1,918) и *Fusarium incarnatum* (2,144).

Полученные методом MALDI TOF MS результаты идентификации мицелиальной токсигенной микрофлоры доказывают, что в случае нарушения условий хранения зерновые массы имеют достаточно высокий риск накопления микотоксинов. В связи с этим, на наш взгляд, для минимизации рисков повышения активности токсигенных плесеней необходимо прежде всего установить и регулировать факторы, провоцирующие их возникновение.

На основании анализа и систематизации информации, изложенной в научной литературе, была сформирована система оценки (рисунок 17) факторов рисков накопления микотоксинов (афлатоксин В1 (АФВ1); охратоксин А (ОТА); дезоксиниваленол (ДОН); Т-2 токсин и зеараленон (ЗОН)) токсигенными плесенями родов *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium*, и способы их регулирования.

Видовая идентификация микрофлоры позволяет оценить потенциальные риски накопления микотоксинов и их патологическое влияние на организм животных и человека. При характеристике рисков накопления микотоксинов в пищевых продуктах ряд исследователей [245] особо подчеркивают важность данного описания, где систематизируется характер и степень неблагоприятных последствий для здоровья конечного потребителя.

Таблица 14 – Результаты идентификации мицелиальной токсигенной микрофлоры зерна пшеницы (метод MALDI TOF MS), усредненные значения

Наименование образца (сорта зерна пшеницы)	Посев разведений глубинным методом для идентификации методом MALDI TOF	Идентификация MALDI TOF MS	Скор согласно коэффициенту совпадения*
ЗП-1 (пшеница сорта «Любава»)		<i>Alternaria alternate</i> (2,312) <i>Aspergillus candidus</i> (1,918) <i>Fusarium spp.</i> (1,854) <i>Penicillium spp.</i> (1,751) <i>Sarocladium spp.</i> (< 1,7) <i>Cladosporium spp.</i> (< 1,7) <i>Trichoderma spp.</i> (< 1,7)	+++ ++ ++ + – – –
ЗП-2 (пшеница сорта «Эритроспериум 59»)		<i>Aspergillus glaucus</i> (2,054) <i>Aspergillus candidus</i> (1,918) <i>Fusarium incarnatum</i> (2,144) <i>Aureobasidium pullulans</i> (2,082) <i>Azoarus communis</i> (2,026) <i>Cladosporium spp.</i> (< 1,7) <i>Penicillium spp.</i> (< 1,7) <i>Sarocladium spp.</i> (< 1,7)	++ ++ ++ + + – – –

Примечание – * Меню скор с учетом коэффициента совпадения: от 2,300 до 3,000 (+++), от 2,000 до 2,299 (++), от 1,700 до 1,999 (+), от 0,000 до 1,699 (–). Скор с величиной, равной 2 и более, считали надежным для определения вида (++); в диапазоне от 1,7 до 2,0 – надежным для определения рода (+); показатель менее 1,7 свидетельствовал о ненадежной идентификации (–).



Рисунок 17 – Факторы риска накопления микотоксинов токсигенными плесенями и способы их регулирования

Регламентируемые ФАО/ВОЗ [122; 246; 337; 368] нормы допустимого уровня микотоксинов основаны на применении «факторов неопределенности», которые рассчитаны с учетом уровня минимального негативного эффекта регулярного употребления загрязненных пищевых продуктов. Данные характеристики получены в результате экспериментальных или эпидемиологических исследований, основанных на результатах исследований на животных, а также включают использование математических методов моделирования. Однако с учетом значительной variability безопасности зернового сырья оценка рисков потребления продуктов, загрязненных микотоксинами, должна быть направлена на полное исключение загрязнения сырьевых ингредиентов токсичными соединениями.

Важную роль в данном вопросе играют скрытые риски регулярного употребления пищевых продуктов, загрязненных микотоксинами, которые обусловлены отсутствием быстрой реакции организма на употребление данной группы веществ, что затрудняет формирование обширной доказательной базы в области причинно-следственных связей между потреблением таких продуктов и случаями возникновения неинфекционных заболеваний.

Согласно ежегодным отчетам Системы быстрого реагирования при появлении опасностей, связанных с пищевыми продуктами и кормами (RASFF) [337], методологию количественной оценки рисков целесообразно применять только в безоговорочно доказанных исследованиях безопасности регулярного употребления низких уровней воздействия микотоксинов [337]. На сегодняшний день рядом ученых доказано [8; 122; 246; 294; 337; 368], что необходимо стремиться к применению **«концептуального подхода с нулевым риском загрязнения»** [245], в основу которого положено соблюдение принципов полного обеззараживания пищевого сырья и применение надлежащей гигиенической практики, основанной на принципах ХАССП, что является единственным критерием минимизации рисков накопления микотоксинов и снижения рисков контаминации пищевого сырья.

Таким образом, ввиду высокой степени опасностей, которые могут возникать при значительном накоплении микотоксинов в условиях активного развития токсигенных плесеней в зерновой массе, необходимо исследовать возможности их

блокирования. Однако ограничительным фактором для применения тех или иных способов минимизации рисков является их безопасность как для системы пищевого продукта, так и для конечного потребителя.

3.5 Использование технологических приемов минимизации рисков накопления микотоксинов токсигенными плеснями в зерновом сырье

Основная цель исследований на данном этапе – установить наиболее эффективные технологические приемы, позволяющие блокировать активное развитие токсигенных плесеней и минимизировать риски накопления микотоксинов в сырьевых ингредиентах и готовых изделиях. В настоящее время наиболее перспективными являются методы обеззараживания зернового сырья, позволяющие внедрять ресурсо- и энергосберегающие технологии, а также добиваться максимального обеззараживающего эффекта. Для достижения цели из совокупности известных методов (п. 1.2.3 и 3.1 исследования) в качестве наиболее приемлемых для пищевых систем нами были определены следующие (рисунок 18).

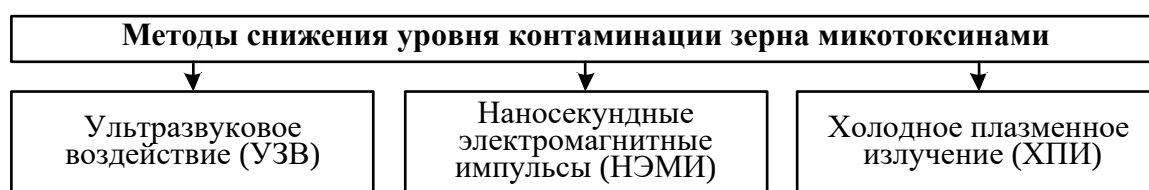


Рисунок 18 – Методы физического воздействия для снижения уровня контаминации зерна пшеницы микотоксинами токсигенных плесеней

Как указывалось в п. 1.2.3 исследования, использования для обеззараживания зернового сырья методы воздействия имеют физическую природу и обладают высокой эффективностью действия в отношении микроорганизмов. Эти методы применимы в технологиях производства молочной [222; 224; 352], мясной [372],

хлебопекарной [371] и других отраслях промышленности, успешно используются в создании новых, модифицированных продуктов, а также [370] для обеззараживания поверхностей, контактирующих с пищевым сырьем, и блокирования активности токсигенных плесеней.

В рамках моделирования процесса обеззараживания зерна мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в качестве объекта исследования было определено зерно пшеницы мягкой яровой сорта «Любава» (срок созревания – среднеранний, вегетационный период 70–84 дней, рекомендуемая зона возделывания – степная зона Южного Урала).

В предыдущих исследованиях в данных образцах зерна были идентифицированы с высоким значением сора следующие токсигенные плесени: *Alternaria alternate* (2,312), *Aspergillus candidus* (1,918), *Fusarium spp.* (1,854), что дает основание для получения расширенного массива данных по эффективности применяемых методов обеззараживания.

Из зерновой массы в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-2015 формировалась объединенная проба зерна пшеницы, полученная путем выемки точечных проб из насыпной массы зерна с применением ручного щупа для захвата верхнего и нижнего слоев. Средняя проба массой не менее 2 кг формировалась из массы объединенной. Выборка для исследования осуществлялась от партий каждого года урожая (в период с 2016 по 2018 г.).

На первом этапе проводились исследования активности токсигенных плесеней по следующей методике: образцы зерна пшеницы выдерживались в заведомо провокационных условиях при температуре $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$, влажности окружающей среды $(95 \pm 5)\%$ в течение 24 ч. Важно было не допускать появления активации точки роста.

По истечении времени выдержки влажность образцов зерна достигала $(20 \pm 2)\%$, в ходе визуального осмотра видимых изменений (потемнений поверхности зерна, развития мицелия плесеней и др.) отмечено не было. При этом установлены изменения по микробиологическим показателям: так, значение показателя КМАФАнМ превышало пределы регламентируемых значений в среднем не бо-

лее чем в 1,5 раза (от $1,3 \cdot 10^6$ до $2,3 \cdot 10^6$ КОЕ/г), в то же время количество дрожжей и плесеней увеличилось в 90 и 20 раз и составляло в среднем (900 ± 12) и (400 ± 14) КОЕ/г соответственно. Полученные результаты являются прогностическими и указывают на высокую вероятность возникновения рисков накопления микотоксинов до критических значений.

На следующем этапе были исследованы физические методы обеззараживания (обработка применением УЗВ, НЭМИ и ХПИ в соответствующих режимах) с целью определения возможности блокировать активное развитие токсигенных плесеней и минимизировать риски накопления микотоксинов в сырьевых ингредиентах из зерна пшеницы и готовых изделиях.

Эффективность процесса воздействия на токсигенные плесени оценивали по следующей номенклатуре показателей:

- микробиологические показатели (КМАФАнМ, КОЕ/г; БГКП (колиформы); дрожжи, КОЕ/г; плесени, КОЕ/г);
- накопление афлатоксина В1 по наличию эффекта флуоресценции при воздействии ультрафиолетового света (365 нм).

Влияние ультразвукового воздействия на снижение уровня контаминации микотоксинами зерна пшеницы

В качестве акустического источника упругих колебаний применяли ультразвуковой низкочастотный генератор «Волна-Л», модель УЗТА-0,63/22-ОЛ (частота $(22 \pm 1,65)$ кГц, интенсивность не менее 10 Вт/см², рабочий инструмент грибкового типа).

Обработку образцов зерна осуществляли при следующих параметрах УЗВ: экспозиция 5, 10, 15 мин при частоте $(22 \pm 1,65)$ кГц, интенсивности не менее 10 Вт/см², мощности (номинальной) 630 Вт. Воздействие осуществляли методом погружения рабочего элемента в зерновую массу при постоянном перемешивании.

После УЗВ наблюдался слабовыраженный обеззараживающий эффект (таблица 15).

Таблица 15 – Усредненные результаты оценки микробиологических показателей модельных образцов зерна пшеницы после УЗВ

Показатель	Контроль	Длительность воздействия, мин		
		5	10	15
КМАФАнМ, КОЕ/г	$(1,8 \pm 0,5) \cdot 10^6$	$(2,6 \pm 0,4) \cdot 10^5$	$(3,8 \pm 0,4) \cdot 10^4$	$(5,6 \pm 0,6) \cdot 10^3$
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 1,0 г			
Дрожжи, КОЕ/г	900 ± 12	850 ± 15	400 ± 14	120 ± 20
Плесени, КОЕ/г	400 ± 14	380 ± 18	140 ± 8	50 ± 4

Так, при воздействии в течение 3 и 5 мин отмечалось снижение показателя КМАФАнМ на один порядок значений – от 10^6 для контрольного образца до 10^5 и 10^4 КОЕ/г соответственно; дрожжей и плесневых грибов – в 2,2–2,8 раза. Однако желаемого эффекта (полного обеззараживания) достигнуть при используемых параметрах УЗВ не удалось; даже при максимальных параметрах воздействия – мощности 630 Вт и экспозиции 15 мин – показатели имели достаточно высокие значения.

Для определения присутствия плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus* использовался метод качественной оценки афлатоксина В1 согласно методу ААСС 45-15.01. Интенсивность желто-зеленого свечения (далее – люминесценция) (рисунок 19), обусловленного взаимодействием плесневых грибов с ферментом пероксидазой, в наибольшей степени визуализируется в контрольных образцах зерна. Так, после 72 ч хранения наличие характерной люминесценции отмечалось более чем у 30 % зерен, а через 120 ч – у 90 %, что может свидетельствовать о накоплении плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus*. Процент люминесцирующих зерен снижался незначительно после УЗВ вне зависимости от длительности воздействия.

Полученные результаты указывают на низкую эффективность УЗВ для обеззараживания зерновой массы в воздушной среде, что согласуется с известными данными в части бактерицидного действия ультразвука в жидких пищевых системах, описанных в ряде работ [224; 371; 373].



Контроль
($4 \pm 1,3$) %



24 ч
($24 \pm 2,5$) %



72 ч
($32 \pm 1,6$) %



120 ч
($91 \pm 1,5$) %



5 мин УЗВ
($4 \pm 1,5$) %



24 ч
($22 \pm 2,5$) %



72 ч
($30 \pm 1,6$) %



120 ч
($89 \pm 1,5$) %



10 мин УЗВ
($3 \pm 1,8$) %



24 ч
($18 \pm 2,5$) %



72 ч
($30 \pm 3,6$) %



120 ч
($86 \pm 3,5$) %



10 мин УЗВ
($3 \pm 1,3$) %



24 ч
($18 \pm 2,5$) %



72 ч
($28 \pm 2,6$) %



120 ч
($82 \pm 1,5$) %

Рисунок 19 – Результаты определения накопления афлатоксина В1 по методу ААСС 45-15.01 в контрольных и модельных (после УЗВ) образцах зерна пшеницы

Влияние наносекундных электромагнитных импульсов на снижение уровня контаминации микотоксинами зерна пшеницы

Для получения НЭМИ использовали излучатель (генератор ГНИ-01-1-6), разработанный и изготовленный в ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» [94]. Рабочий инструмент – рупорный излучатель размером 90×120 мм, длиной 240 мм, обеспечивающий частоту следования НЭМИ 1000 Гц.

Обработку образцов зерна осуществляли при следующих параметрах воздействия НЭМИ: экспозиция 5; 10; 15 мин при частоте следования НЭМИ 1000 Гц, амплитуде импульсов 15 кВ, раскрые рупора 90×120 мм и высоте 240 мм.

Анализ результатов исследования (таблица 16) показал, что использование НЭМИ обеспечивает высокий результат обеззараживания. Так, при воздействии НЭМИ в течение 15 мин достигается максимальная эффективность процесса. Установлено, что количество дрожжей и плесневых грибов по истечении 10 мин воздействия сокращается в среднем на 20 и 30 % соответственно, тогда как 15-минутное воздействие обеспечивает сокращение количества микрофлоры в среднем в 18 раз и 8,9 раза соответственно.

Таблица 16 – Усредненные результаты оценки микробиологических показателей модельных образцов зерна пшеницы после воздействия НЭМИ

Показатель	Контроль	Длительность воздействия, мин		
		5	10	15
КМАФАнМ, КОЕ/г	$(1,8 \pm 0,5) \cdot 10^6$	$(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^5$	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^3$	$(1,2 \pm 0,5) \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 1,0 г			
Дрожжи, КОЕ/г	900 ± 12	870 ± 14	720 ± 16	50 ± 3
Плесени, КОЕ/г	400 ± 14	320 ± 18	280 ± 20	45 ± 2

Результаты качественной оценки присутствия афлатоксина В1, продуцируемого *A. flavus* или *A. parasiticus*, показали, что интенсивность желто-зеленого свечения у образцов зерна пшеницы после 5 и 10 мин воздействия НЭМИ (рисунок 20) незначительно отличалась от результатов, полученных для контрольных образцов.



Контроль
($4 \pm 1,3$) %



24 ч
($24 \pm 2,5$) %



72 ч
($32 \pm 1,6$) %



120 ч
($91 \pm 1,5$) %



5 мин НЭМИ
($4 \pm 1,5$) %



24 ч
($22 \pm 2,1$) %



72 ч
($30 \pm 1,6$) %



120 ч
($55 \pm 1,5$) %



10 мин НЭМИ
($4 \pm 0,9$) %



24 ч
($20 \pm 1,5$) %



72 ч
($26 \pm 3,6$) %



120 ч
($53 \pm 2,5$) %



10 мин НЭМИ
($3 \pm 1,5$) %



24 ч
($16 \pm 2,0$) %



72 ч
($19 \pm 2,6$) %



120 ч
($46 \pm 1,5$) %

Рисунок 20 – Результаты определения накопления афлатоксина В1 по методу ААСС 45-15.01 в контрольных и модельных (после НЭМИ) образцах зерна пшеницы

Так, через 72 ч хранения у образцов зерна пшеницы после 5 и 10 мин воздействия НЭМИ можно наблюдать характерную для афлатоксина В1 люминесценцию у более чем 26 % зерен, а через 120 ч – у 50 %, что отражает интенсивность активности токсигенных плесеней *A. flavus* или *A. parasiticus*. Только после 15 мин воздействия НЭМИ на зерно пшеницы было зафиксировано заметное снижение количества люминесцирующих зерен к 72 ч хранения, при этом через 120 ч данный показатель также имел выраженную динамику роста, что характеризует слабовыраженный эффект обеззараживающего действия НЭМИ на данные виды токсигенных плесеней.

Вместе с тем использование НЭМИ для снижения общей обсемененности зерновых масс может быть весьма перспективным и использоваться для создания асептических технологий в пищевой индустрии.

Влияние холодного плазменного излучения на снижение уровня контаминации микотоксинами зерна пшеницы

В исследованиях использовали установку, разработанную в ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», защищенную патентом на изобретение. Генерация ХПИ осуществлялась за счет отрицательного коронного разряда при импульсном напряжении с параметрами: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях [92].

Обработку образцов зерна осуществляли при следующих параметрах воздействия ХПИ: экспозиция 5; 10; 15 мин при напряжении 10 кВ, частоте 50 Гц, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях.

Описанные в п. 1.2.3 исследования характеристики ХПИ определяют возможности корректировки как самих установок, так и параметров воздействия ХПИ на пищевые системы. Исследования, представленные группой авторов Y. Devi, R. Thirumdas, C. Saranganu, R. R. Deshmukh, U. S. Annapure [369; 370; 371; 372] доказывают высокую эффективность ХПИ в отношении инактивации плесневых грибов: так, при воздействии ХПИ погибает 99,9 и 99,5 % *A. paraticus* и *A. flavus* соответственно. В то же время в исследованиях Yong [42; 372; 392] подтверждается, что воздействие ХПИ разрушает естественную систему защиты от микроорга-

низмов, что приводит к повреждению ДНК, белков, липидов и цитоплазматических мембран. В работе D. Bermúdez-Aguirre [201] указано, что микробная инактивация происходит из-за ультрафиолетовых фотонов, электрических полей и реактивных частиц, таких как атомарный кислород, гидроксильные ионы, метастабильные молекулы кислорода, озон, ионы азота, радикалы NO.

Наши исследования направлены оценку эффективности данного метода для обеспечения обеззараживающего эффекта в отношении блокирования токсигенных плесеней. В ходе исследований установлено (таблица 17), что использование ХПИ для обеззараживания зерна является весьма эффективным с точки зрения минимизации рисков накопления микотоксинов в зерновой массе.

Таблица 17 – Усредненные результаты оценки микробиологических показателей модельных образцов зерна пшеницы после воздействия ХПИ

Показатель	Контроль	Длительность воздействия, мин		
		5	10	15
КМАФАнМ, КОЕ/г	$(1,8 \pm 0,5) \cdot 10^6$	$(2,6 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(1,3 \pm 0,5) \cdot 10^2$	20 ± 5
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 1,0 г			
Дрожжи, КОЕ/г	900 ± 12	350 ± 13	Менее 10	Менее 10
Плесени, КОЕ/г	400 ± 14	150 ± 8	Менее 10	Менее 10

Так, уже при 5-минутном воздействии ХПИ значение показателя КМАФАнМ снижается более чем в два раза, а количество плесневых грибов и дрожжей – в 2,5–2,6 раза, что позволяет говорить о выраженном обеззараживающем эффекте. Воздействие в течение 10 мин обеспечивает значительное снижение количества дрожжей и плесеней до минимальных значений – менее (10 ± 2) КОЕ/г. При наращивании длительности экспозиции ХПИ можно обеспечить эффект стерилизации поверхности зерна пшеницы, но при этом должны учитываться анатомические особенности зерна и показатели скважистости насыпной массы.

Результаты качественной оценки присутствия афлатоксина В1 после использования ХПИ для блокирования токсигенных плесеней *A. flavus* или *A. parasiticus* представлены на рисунке 21.

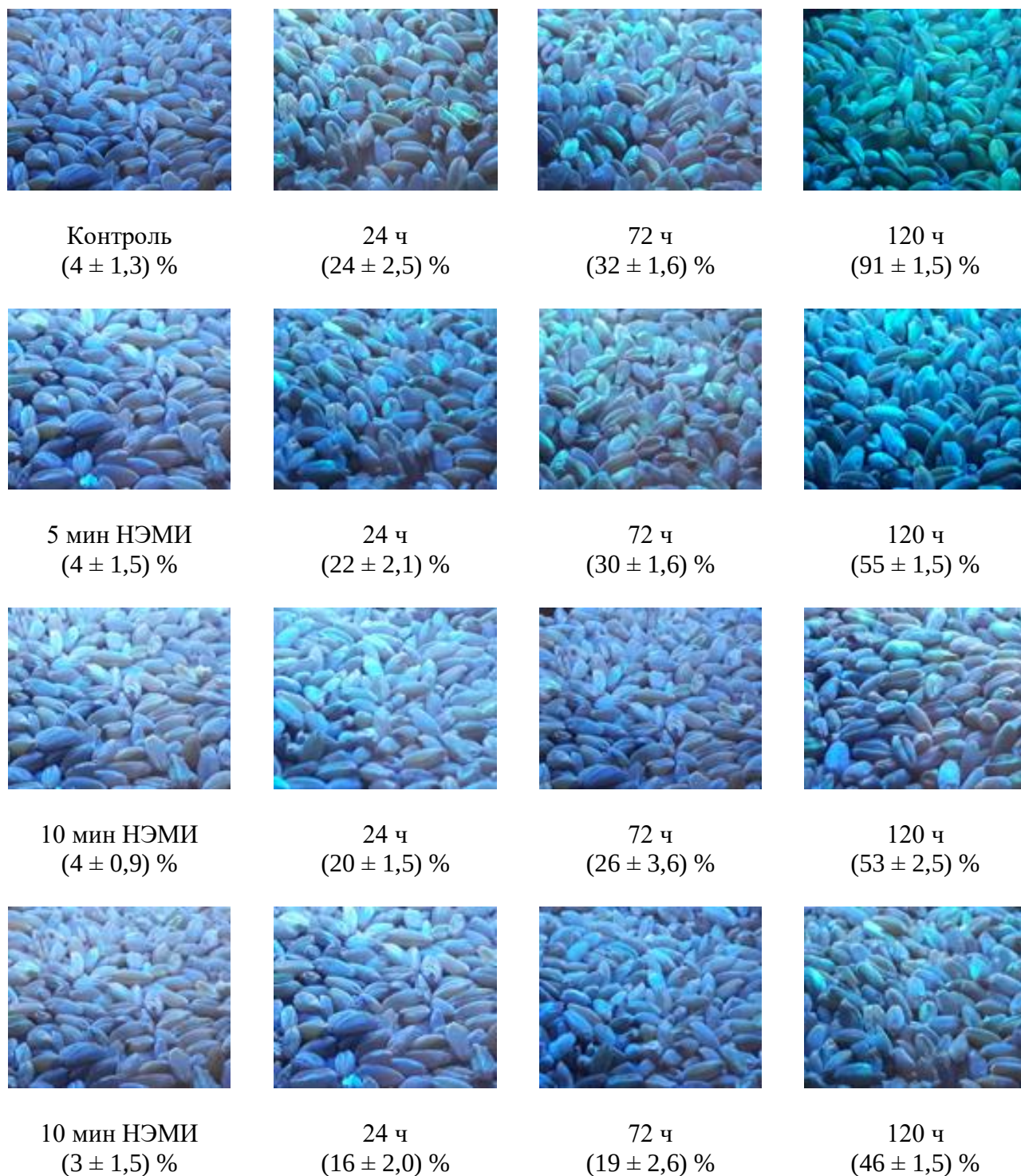


Рисунок 21 – Результаты определения накопления афлатоксина В1 по методу ААСС 45-15.01 в контрольных и модельных (после обработки ХПИ) образцах зерна пшеницы

У образцов зерна пшеницы, обработанных ХПИ в течение 5 мин, на протяжении всего периода хранения наблюдается рост характерной люминесценции: так, через 72 ч количество люминесцирующих зерен составило ($20 \pm 1,4$) %, через

120 ч – $(48 \pm 1,6)$ %. При этом при воздействии ХПИ в течение 10 и 15 мин увеличение количества люминесцирующих зерен является незначительным: даже после 120 ч хранения данная величина составляла $(12 \pm 1,5)$ % и $(10 \pm 1,3)$ % соответственно, что свидетельствует о выраженном обеззараживающем эффекте ХПИ.

Учитывая, что использование ХПИ обеспечивает высокую эффективность блокирования токсигенных плесеней, для детального изучения процесса номенклатура показателей была расширена.

В ходе эксперимента установлено, что наиболее выраженный обеззараживающий эффект был достигнут при 10-минутной экспозиции ХПИ. В связи с этим для исследования в качестве модельного определен образец зерна пшеницы сорта «Любава» (урожая 2018 г.) после обработки ХПИ в течение 10 мин с последующим хранением продолжительностью 120 ч.

Эффективность процесса обеззараживания оценивали по следующей номенклатуре показателей:

- идентификация мицелиальной токсигенной микрофлоры методом MALDI TOF MS;
- содержание микотоксинов (афлатоксин В1, дезоксиниваленол, Т-2 токсин, зеараленон, ократоксин А).

Результаты исследований представлены ниже в таблицах 18 и 19.

Исследования видовой идентификации плесневой микрофлоры модельных образцов зерна пшеницы с использованием метода MALDI TOF MS после воздействия ХПИ указывают на выраженное обеззараживающее действие в отношении токсигенных плесеней видов *Alternaria alternate* и *Aspergillus candidus*, идентификация которых в контрольных образцах имела высокие значения сора (коэффициент совпадения равен 1,918 и 2,312 соответственно). Токсигенная плесень вида *Fusarium spp.*, выявленная на начальном этапе (коэффициент совпадения 1,854), после обработки ХПИ имеет минимальные показатели совпадения (коэффициент совпадения менее 1,7).

Таблица 18 – Результаты идентификации мицелиальной токсигенной микрофлоры в контрольных и модельных (после обработки ХПИ) образцах зерна пшеницы (метод MALDI TOF MS) (усредненные значения)

Идентификация MALDI TOF MS	Контроль по данным усредненной оценки		Модельный образец после обработки ХПИ в течение 10 мин	
	Коэффициент совпадения*	Скор	Коэффициент совпадения*	Скор
<i>Alternaria alternate</i>	(1,918)	+++		
<i>Aspergillus candidus</i>	(2,312)	++		
<i>Fusarium spp.</i>	(1,854)	++	(< 1,7)	–
<i>Penicillium spp.</i>	(1,751)	+	(< 1,7)	–
<i>Sarocladium spp.</i>	(< 1,7)	–		
<i>Cladosporium spp.</i>	(< 1,7)	–	(< 1,7)	–
<i>Trichoderma spp.</i>	(< 1,7)	–		

Примечание – * Меню скор с учетом коэффициента совпадения: от 2,300 до 3,000 (+++), от 2,000 до 2,299 (++), от 1,700 до 1,999 (+), от 0,000 до 1,699 (–). Скор с величиной, равной 2 и более, считали надежным для определения вида (++); в диапазоне от 1,7 до 2,0 – надежным для определения рода (+); показатель менее 1,7 свидетельствовал о ненадежной идентификации (–).

Таблица 19 – Результаты определения показателей безопасности в контрольных и модельных (после обработки ХПИ) образцах зерна пшеницы, мг/кг

Показатель	Регламентируемое значение согласно ТР ТС 015/2011, не более	Фактическое значение показателей	
		Контроль (по данным усредненной оценки)	Модельный образец (после обработки ХПИ)
Афлатоксин В1	0,005	Менее 0,001	Менее 0,001
Дезоксиниваленол	0,7	Менее 0,2	Менее 0,2
Т-2 токсин	0,1	Менее 0,02	Менее 0,02
Зеараленон	1,0	0,065 ± 0,027	Менее 0,017
Охратоксин А	0,005	Менее 0,0025 млн ⁻¹	Менее 0,0025 млн ⁻¹

Важно отметить, что другие виды токсигенных плесеней (*Alternaria alternate* – скор +++, *Aspergillus candidus* – скор ++), обнаруженные в контрольных образцах зерна пшеницы, после обработки ХПИ выявлены не были. Полученные результаты указывают на высокую эффективность применения ХПИ для инактивации токсигенных плесеней, в том числе *Aspergillus candidus*, *Fusarium spp.* и *Penicillium spp.*

В подтверждение сказанному при исследовании содержания микотоксинов (афлатоксин В1, дезоксиниваленол, Т-2 токсин, зеараленон, охратоксин А) не зафиксировано положительной динамики их накопления, даже после хранения в провокационных условиях в течение 120 ч. По мнению R. C. Thirumdas и D. Ber-

múdez-Aguirre [201; 339; 340; 369; 370; 371; 372], относительная влажность воздуха и количество влаги на поверхности зерна играют важную роль, так как влага является основным источником образования радикалов OH^* . Эти радикалы разрушают молекулы ДНК, митохондрии, а также другие клеточные компоненты. Данный вид воздействия приводит к нарушению цитоплазматической мембраны спор, снижению выработки афлатоксина В1 на 96,8 % у *A. flavus* и на 95 % у *A. paraticus* [370; 372].

Возможно, что блокирование токсигенных плесеней при использовании ХПИ для обеззараживания зерна происходит за счет перехода в условиях холодной плазмы кислорода воздуха в активные формы (O^* , O_2 , O_3), которые обеспечивают инактивацию микроорганизмов из-за образования пероксидов [372]. Согласно другой теории, высказанной [224; 299; 370], происходит накопление заряженных частиц на наружной клеточной мембране, а образующиеся электростатические силы приводят к разрыву клеточной мембраны, что вызывает гибель клетки. По мнению [306; 307; 381], инактивация возможна за счет окисления нуклеиновых кислот и аминокислот микроорганизмов, находящихся на поверхности зерна. N. N. Misra, R. Thirumdas и их коллеги считают, что ультрафиолетовое излучение, создаваемое во время плазменной обработки, может воздействовать на ДНК клетки, в результате клетка больше не может реплицироваться, что приводит к ее гибели. Вышеизложенные теории имеют достаточно разнородную экспериментальную доказанность и требуют дальнейшего исследования влияния ХПИ на пищевые системы.

Снижение количества токсигенных плесеней и уровня микотоксинов в зерне пшеницы после его обработки ХПИ определило данный метод как наиболее эффективный для обеззараживания зерновой массы перед процессом проращивания. Вместе с тем при встраивании оборудования ХПИ в технологические цепочки производства необходимо определить наиболее рациональные режимы его воздействия на зерновые массы, что предполагает проведение математической обработки полученного массива данных.

Определение рациональных режимов процесса обеззараживания зерна пшеницы с использованием ХПИ

На начальном этапе расчетов была проведена оценка влияния напряжения (U) и длительности воздействия ХПИ (t_0) на показатели КМАФАнМ (K), КОЕ/г, количество дрожжей (D), КОЕ/г и плесеней (Π), КОЕ/г, используемые в качестве откликов для установления обеззараживающего эффекта.

Как принято в антибактериальных и антифунгальных исследованиях, использованы десятичные логарифмы вышеуказанных показателей ($\lg K$, $\lg D$ и $\lg \Pi$). В ходе математической обработки факторов и откликов установлена следующая корреляционная зависимость:

- между показателями U и $\lg K$ коэффициент корреляции составил 0,905;
- между показателями U и $\lg D$ коэффициент корреляции составил 0,719;
- между показателями U и $\lg \Pi$ коэффициент корреляции составил 0,760;
- между показателями $\lg K$ и $\lg D$ коэффициент корреляции составил 0,883;
- между показателями $\lg K$ и $\lg \Pi$ коэффициент корреляции составил 0,879;
- между показателями $\lg D$ и $\lg \Pi$ коэффициент корреляции составил 0,970.

На основании уравнений множественной регрессии длительность обработки выступала в качестве второго значимого фактора наряду с напряжением для показателей, характеризующих эффективность обеззараживания. Уравнения имеют вид:

$$\lg K = 9,28 - 0,583U - 0,128t_0. \quad (13)$$

Коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений (R_k) составил 0,952; стандартное отклонение ($St. err.$) = 0,49.

$$\lg D = 2,58 - 0,110U - 0,058t_0 (R_k = 0,915; St. err. = 0,15); \quad (14)$$

$$\lg \Pi = 2,69 - 0,117U - 0,046t_0 (R_k = 0,884; St. err. = 0,17). \quad (15)$$

Одинаковое значение коэффициентов последних двух уравнений, объяснимо сходной фунгальной природой дрожжей и плесеней. Графики расчетных и экспериментальных значений показателей обеззараживания представлены на рисунке 22.

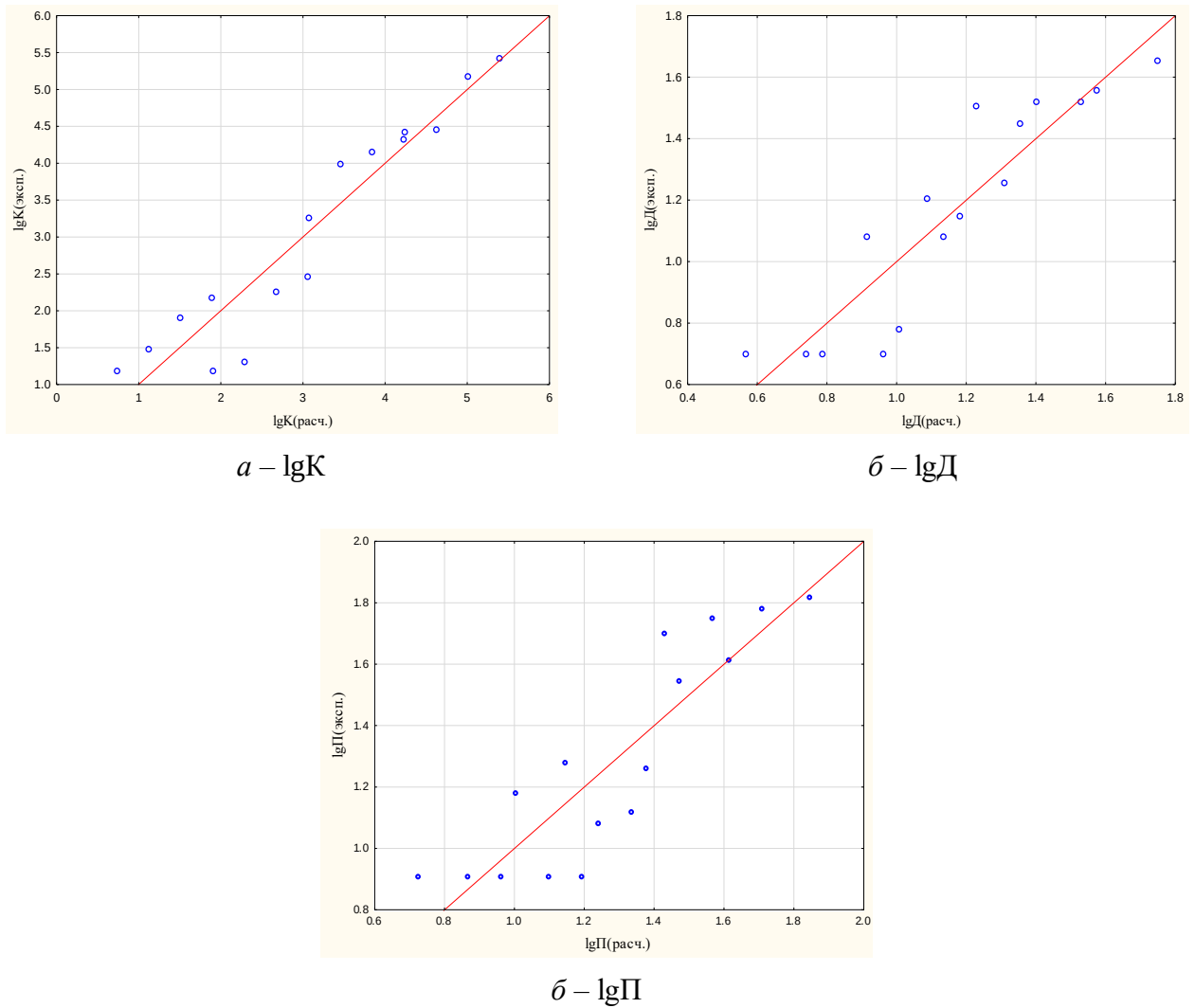


Рисунок 22 – Расчетные (расч.) и экспериментальные (эксп.) значения показателей обеззараживания

На *втором этапе* была проведена оценка влияния частоты воздействия (ν) и длительности обработки ХПИ (t_0) на изменения микробиологических показателей безопасности. Анализ корреляций факторов и откликов показал, что все отклики в той или иной степени связаны с данной характеристикой. Так, коэффициенты корреляции ν с $\lg K$ составил $R_k = 0,946$, с $\lg D$ $R_k = 0,871$, с $\lg \Pi$ $R_k = 0,917$. Коэффициенты корреляции между показателями микробиологических показателей составили: для $\lg K$ и $\lg D$ $R_k = 0,937$; $\lg K$ и $\lg \Pi$ $R_k = 0,967$; $\lg D$ и $\lg \Pi$ $R_k = 0,965$.

При анализе уравнений множественной регрессии длительность обработки определяется в качестве второго значимого фактора наряду с напряжением для показателей, характеризующих эффективность обеззараживания.

$$\lg K = 9,81 - 0,137\nu - 0,087t_0 \quad (R_k = 0,962; St. err. = 0,49) \quad (16)$$

$$\lg D = 2,73 - 0,0285\nu - 0,030t_0 \quad (R_k = 0,912; St. err. = 0,17) \quad (17)$$

$$\lg \Pi = 3,07 - 0,0355\nu - 0,018t_0 \quad (R_k = 0,927; St. err. = 0,18) \quad (18)$$

Графики расчетных и экспериментальных значений показателей представлены на рисунке 23.

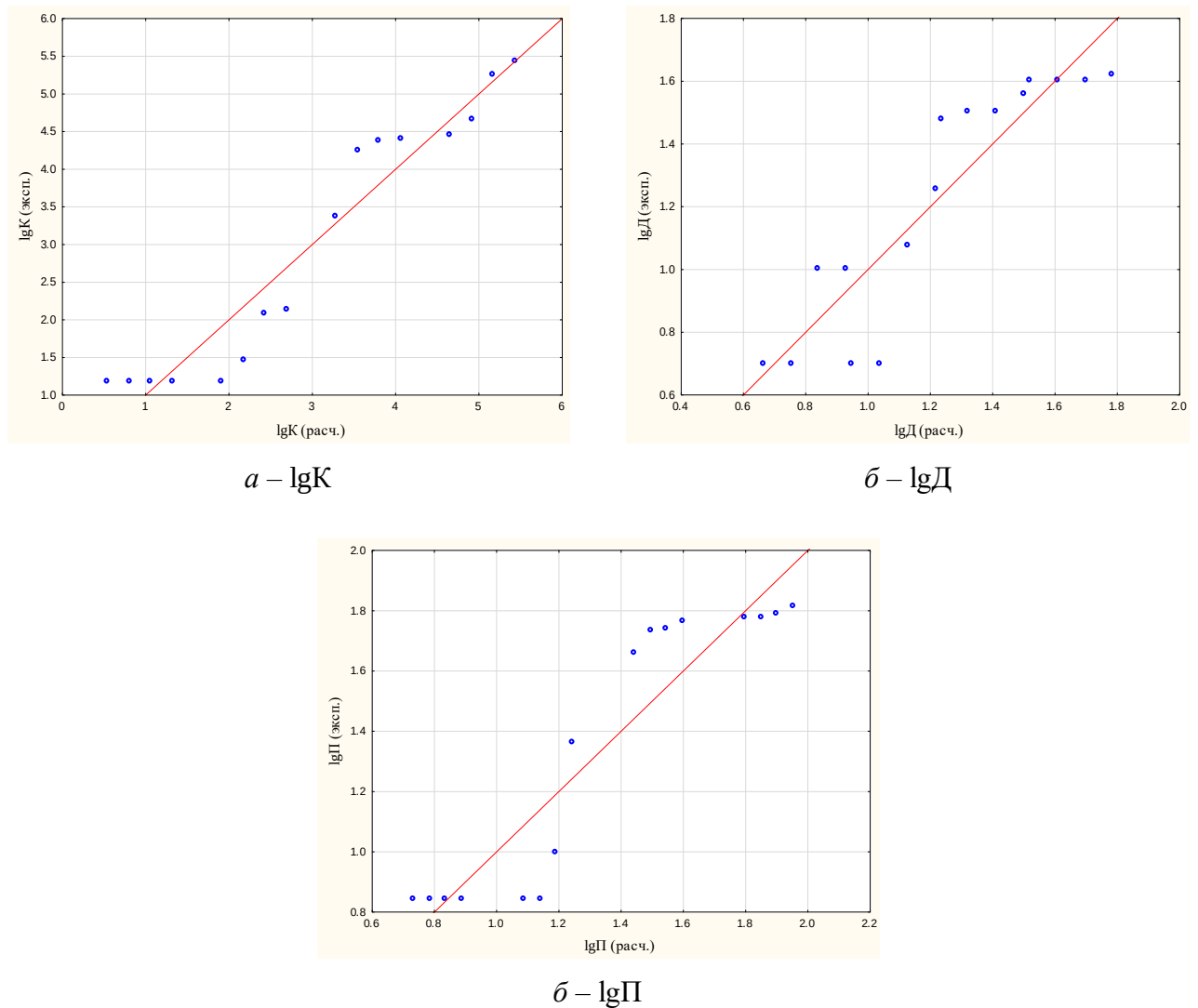


Рисунок 23 – Расчетные (расч.) и экспериментальные (эксп.) значения показателей

Необходимо отметить, что при использовании более высоких частот (ν) и длительности воздействия ХПИ (t_0) полученные значения выходят на плато, что говорит о нерентабельности использования высоких значений этих факторов.

На *третьем этапе* для определения оптимальных условий воздействия ХПИ и достижения максимального обеззараживающего эффекта на основе функции желательности был рассчитан обобщенный критерий оптимальности.

При выявлении оптимальных условий воздействия (напряжения и длительности обработки) была получена система уравнений, имеющая вид

$$\begin{cases} \ln(-\ln(0,5)) = a + b \times 3,1 \\ \ln(-\ln(0,95)) = a + b \times 1,6 \end{cases} \quad (19)$$

При решении данной системы уравнений учитывался тот факт, что длительность обработки и используемое напряжение являются одновременно как факторами, так и откликами, поскольку временные затраты и энергозатраты сказываются на себестоимости готовых изделий.

Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и используемого напряжения представлена на рисунке 24.

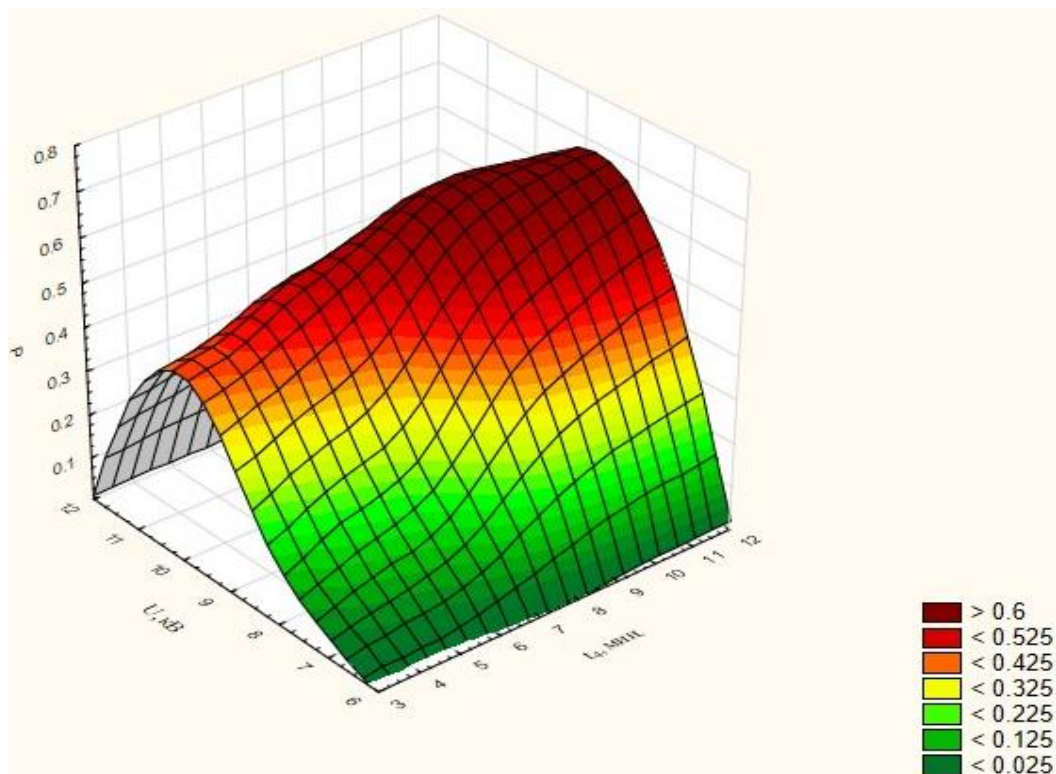


Рисунок 24 – Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и используемого напряжения ХПИ

Наилучшие значения показателей наблюдаются для напряжения 10 кВ, при этом оптимальным значением длительности обработки является 9 мин. При этих условиях значение обобщенного критерия оптимальности P равно 0,678.

На основе расчетов функции желательности относительно зависимости частоты и длительности обработки было установлено, что достаточным является построение квадратного уравнения для экспериментов при 50 Гц с дальнейшим определением максимума. При этом квадратное уравнение имело вид

$$P = 0,337 + 0,148t_0 - 0,00956t_0^2 \quad (R_k = 0,995; St. err. = 0,018). \quad (20)$$

Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени и частоты представлена на рисунке 25.

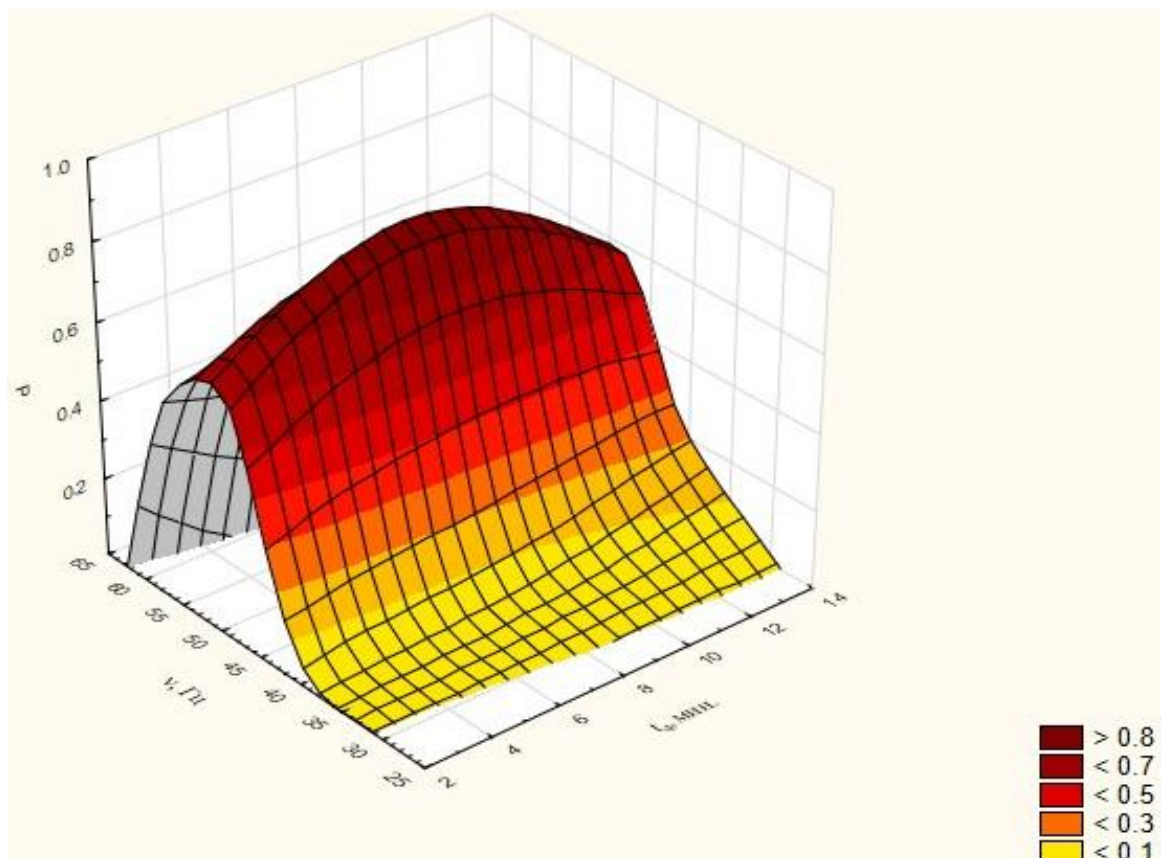


Рисунок 25 – Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и используемой частоты ХПИ

Наилучшие значения показателей наблюдаются для частоты 50 Гц, при этом оптимальная длительность обработки составляет 9 мин. При этих условиях значение обобщенного критерия оптимальности P равно 0,902.

Поскольку данный вид обеззараживания зерна пшеницы предлагается использовать с целью минимизации развития эпифитной микрофлоры зерна в процессе проращивания, то в качестве оценочных критериев выбора обеззараживающих режимов, помимо микробиологических показателей, были определены энергия прорастания (E) и способность прорастания (N). Данные показатели наиболее полно характеризуют способность зерна к прорастанию, жизнеспособность зерна и выравненность скорости роста.

При проведении математической обработки экспериментальных данных было установлено, что энергия и способность прорастания не зависят от длительности воздействия, а их зависимости от напряжения выражаются следующими уравнениями:

$$E = 141 - 7,7U \quad (R_k = 0,745; St. err. = 17); \quad (21)$$

$$N = 140 - 7,3U \quad (R_k = 0,739; St. err. = 16). \quad (22)$$

Анализ зависимостей энергии и степени прорастания от напряжения показывает, что при использовании диапазона напряжений 6–10 кВ значения данных показателей сохраняются практически постоянными, а при повышении воздействующей характеристики до 12 кВ наблюдается резкое снижение значений данных показателей.

Уравнения зависимостей энергии и степени прорастания от частоты воздействия выражаются следующими уравнениями:

$$E = 136 - 1,41v \quad (R_k = 0,743; St. err. = 15); \quad (23)$$

$$N = 139 - 1,40v \quad (R_k = 0,739; St. err. = 15). \quad (24)$$

Анализ графиков зависимостей энергии и степени прорастания от частоты воздействия показывают, что для диапазона частот 30–50 Гц значения данных по-

казателей сохраняются практически постоянными, а при повышении воздействующей характеристики до 60 Гц наблюдается резкое снижение данных показателей.

На основании проведенных исследований, расчетов функций желательности и обобщенных критериев оптимальности в качестве рационального *режима воздействия ХПИ* был определен следующий режим: *напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, длительность воздействия 9 мин*, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях.

Таким образом, обобщение результатов представленных исследований обосновывает целесообразность определения ключевой точки роста – повышение качества и безопасности продовольственных товаров, которое должно достигаться путем минимизации рисков продовольственных потерь и сохранения продовольственного сырья.

Выводы по главе 3

На основании анализа научной информации и результатов собственных исследований разработан единый методологический подход к получению безопасных пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью, базирующийся на комплексном подходе, позволяющем своевременно минимизировать риски накопления микотоксинов в зерне пшеницы на всех этапах технологической цепочки: при хранении, переработке и в технологии получения сырьевого ингредиента ЦСМПЗП. На базе предложенной методологии с использованием моделирования IDEF0 реализован принцип прослеживаемости технологического процесса с обратной связью, что позволит получать гарантированно безопасный и качественный сырьевой ингредиент и использовать его для встраивания в систему пищевого продукта.

Системный анализ результатов исследований качества зерна пшеницы, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия Челябинской области, и его

долевого распределения по классам показал необходимость создания технологии переработки зерна пшеницы именно 4-го класса и получения полноценных сырьевых ингредиентов, используемых при производстве продуктов для здорового питания.

Проведенные комплексные исследования микробиологических показателей безопасности и идентификация мицелиальной токсигенной микрофлоры методом MALDI TOF MS доказали высокие риски накопления микотоксинов в случае нарушения условий хранения зерновых масс.

Ввиду высокой степени опасности в качестве технологических приемов снижения уровня контаминации были предложены три метода физического воздействия, базирующиеся на принципах безопасности как для системы пищевого продукта, так и для конечного потребителя: ультразвуковое воздействие, наносекундные электромагнитные импульсы и холодное плазменное излучение.

В ходе собственных исследований был определен наиболее эффективный способ обеззараживания зерновой массы – ХПИ, позволяющий блокировать активное развитие токсигенных плесеней и минимизировать риски накопления микотоксинов в сырьевых ингредиентах и готовых изделиях. На основе математической обработки полученного массива данных установлены наиболее рациональные режимы воздействия ХПИ на зерновые массы: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, длительность воздействия 9 мин, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА НА ОСНОВЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

4.1 Обоснование эффективных технологических приемов для контролируемого проращивания зерна пшеницы

Технология проращивания зерна пшеницы требует четкого отслеживания и регулирования условий ведения процесса, так как их нарушение приводит к чрезмерному осахариванию крахмала зерна, гидролизу белков и нарастанию активности α -амилазы. Рядом исследователей [20; 60; 63; 64; 169; 171; 179; 262; 280; 298; 304] установлена корреляционная зависимость между уровнем активности α -амилазы при проращивании и реологическими характеристиками теста, полученного на основе пророщенного зерна пшеницы (далее – ПЗП) [235; 259; 333], что согласуется с данными других ученых. Так, по мнению Л. Я. Ауэрмана, В. Я. Черных, С. Я. Корячкиной, хлеб, полученный только из ПЗП, обладает низкими потребительскими характеристиками: заниженным объемом, неразвитой пористостью и низкой эластичностью мякиша [52; 169; 170].

В то же время при контроле условий проращивания (далее – контролируемом проращивании зерна пшеницы (КПЗП)) в исследованиях Н. Н. Алехиной, Т. Б. Цыгановой, А. Н. Новиковой [4; 165; 166; 167] отмечается лишь небольшая активность ферментов, что свидетельствует о возможности использования муки, полученной из ПЗП, для производства широкого спектра зерновых продуктов. Недавние исследования [222; 341] показали, что применение муки из цельной пшеницы, пророщенной в контролируемых условиях, позволило улучшить объем хлеба и структуру мякиша.

Вышеизложенные материалы легли в основу **рабочей гипотезы** о применимости методов электрофизического воздействия при разработке эффективного технологического решения для получения безопасной цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы с наилучшими (потенциально возможными) технологическими свойствами.

Определение технологических приемов, наиболее приемлемых для регулирования процесса проращивания зерна, осуществлялось прогностически, на основе методики SWOT-анализа полученных ранее данных (таблица 20).

Таблица 20 – Матрица SWOT-анализа оценки технологических приемов в контролируемом проращивании зерна пшеницы

Матрица SWOT-анализа	Возможности	Угрозы
Ультразвуковое воздействие (УЗВ)		
Сильные стороны: – наличие знакопеременного звукового давления и кавитационных эффектов, которые способствуют проникновению воды в трещины и капилляры твердой структуры зерна пшеницы; – безопасность как для системы пищевого продукта, так и для конечного потребителя	Как воспользоваться возможностями: – активация внутренних ресурсов зерна; – интенсификация процессов замачивания и проращивания; – получение стабильной технологии контролируемого проращивания зерна пшеницы; – повышение интенсивности синтеза биологически активных веществ	За счет чего можно снизить угрозы: – проводить воздействие при контроле температуры обрабатываемой системы; – установить наиболее эффективные параметры воздействия
Слабые стороны: – отсутствие выраженного обеззараживающего эффекта; – необходимость ведения процесса при контроле температуры обрабатываемой среды	Что может помешать воспользоваться возможностями: – повышение температуры обрабатываемой системы выше 50 °С	Как минимизировать наиболее вероятные риски: – проводить предварительное обеззараживание зерна пшеницы
Наносекундные электромагнитные импульсы (НЭМИ)		
Сильные стороны: – снижение уровня токсигенных плесеней на поверхности зерна пшеницы; – безопасность как для системы пищевого продукта, так и для конечного потребителя	Как воспользоваться возможностями: – использование для обеззараживания зерновых культур как на продовольственные (получение сортовой муки), так и на кормовые цели	За счет чего можно снизить угрозы: – контролировать параметры воздействия и эффективность процесса

Продолжение таблицы 20

Матрица SWOT-анализа	Возможности	Угрозы
Слабые стороны: – резкое снижение показателей энергии прорастания и способности прорастания ввиду глубокого проникновения воздействия в матрицу зерна; – необходимо обеспечение безопасности обслуживающего персонала ввиду создания высокой напряженности поля	Что может помешать воспользоваться возможностями: – отсутствие полного обеззараживания обрабатываемого зернового сырья	Как минимизировать наиболее вероятные риски: – проводить контроль и видовую идентификацию токсигенных плесеней; – отслеживать миграцию микотоксинов зерна пшеницы при разных технологиях возделывания, уборке, послеуборочной обработке и хранении, а также при производстве сырьевых ингредиентов и готовых пищевых продуктов
Холодное плазменное излучение (ХПИ)		
Сильные стороны: – возможность полного обеззараживания поверхности зерна пшеницы, имеющего большое количество неровностей, как биологического объекта; – малая глубина проникновения в матрицу зерна пшеницы, сохранение целостности его структурных элементов. – возможность адаптации механизма обеззараживания к другим зерновым культурам; – безопасность как для системы пищевого продукта, так и для конечного потребителя	Как воспользоваться возможностями: – применение для полного обеззараживания зерновых культур, используемых как в пищевой промышленности (получение сырьевых ингредиентов), так и в сельском хозяйстве (семенной материал)	За счет чего можно снизить угрозы: – контролировать параметры воздействия и эффективность процесса
Слабые стороны: – необходимость четкого контроля воздействующих параметров и эффективности процесса обеззараживания; – адаптация воздействующих факторов к конкретному объекту обеззараживания	Что может помешать воспользоваться возможностями: – недостаточность проведенных исследований, что не позволит найти оптимальные параметры воздействия	Как минимизировать наиболее вероятные риски: – оптимизировать параметры воздействия путем математического моделирования и определять наибольшую эффективность процесса воздействия

В качестве установочного параметра для прогноза было определено, что все методы обеззараживания, исследованные в п. 3.5 диссертационной работы, будут оценены с точки зрения применимости в частности или комплексно в технологии процесса КПЗП. Ранее в ходе рекогносцировочных исследований были выявлены сильные и слабые стороны каждого метода физических воздействия (УЗВ, НЭМИ,

ХПИ) в технологии получения ПЗП, а также возможности и потенциальные угрозы их использования. *Основной критерий оценки применимости метода – активность при проращивании без увеличения доли микотоксинов во время проращивания.*

Так, по комплексу параметров наиболее эффективным методом обеззараживания зерна пшеницы является ХПИ, которое максимально блокирует активность токсигенных плесеней, что позволяет минимизировать риски накопления микотоксинов. В ходе исследований установлено, что после обработки ХПИ зерно пшеницы обладает потенциалом роста и может быть использовано как в пищевой промышленности (при получении сырьевых ингредиентов), так и в сельском хозяйстве (в качестве семенного материала). Однако, за счет высокой плотности упаковки оболочек зерна пшеницы ХПИ имеет малую глубину проникновения в матрицу зерна, сохраняет целостность структурных элементов, что не влияет на активность процесса проращивания.

Воздействие НЭМИ на зерно пшеницы обеспечивало в некоторой мере уменьшение уровня токсигенных плесеней на его поверхности, но при этом в ходе рекогносцировочных исследований были получены результаты, характеризующие резкое снижение двух наиболее важных показателей – энергии прорастания и способности прорастания, что *исключает данный метод воздействия из последующего эксперимента.*

В ходе проведенных ранее исследований было определено, что УЗВ имеет минимальный обеззараживающий результат, однако опытно доказано, что эффекты ультразвука (в частности, кавитация) наиболее применимы при использовании в жидких пищевых системах.

Во-первых, УЗВ изменяет структуру самой воды (образуя активные радикалы, снижая динамическую вязкость путем создания хаотичного молекулярного движения), во-вторых, за счет знакопеременного звукового давления и кавитационных эффектов повышается проницаемость клеточных мембран, активируются внутренние ресурсы зерна, интенсифицируются процессы замачивания и проращивания, а также происходит стимулирование интенсивности синтеза биологически активных веществ [14; 117; 119; 160].

Результаты проведенного SWOT-анализа по совокупности сильных сторон позволили установить перспективные технологические приемы снижения рисков контаминации и продовольственных потерь. В качестве метода обеззараживания зерновой массы перед процессом проращивания определено воздействие ХПИ в режиме: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, длительность воздействия 9 мин. Для интенсификации процессов замачивания и проращивания зерна пшеницы наиболее перспективно использовать УЗВ в гидромодуле.

Определение рациональных условий и режимов ведения процессов в технологии проращивания зерна пшеницы (обеззараживание > замачивание > проращивание) осуществляли на основании обобщенной технологии ведения процесса, представленной на рисунке 26. В качестве значимых элементов системы процесса были определены *продолжительность процессов замачивания и проращивания* при стабильности режимов воздействия ХПИ и вариации режимов УЗВ, характеристик толщины слоя зерна и соотношения зерна и воды в гидромодуле 1:1.



Рисунок 26 – Обобщенная технология ведения процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы

Контроль за процессами замачивания и проращивания по выбранной номенклатуре показателей осуществляли с учетом номинальных характеристик каждого из показателей, установленных в ходе изучения подходов, предложенных в значительном количестве исследований [4; 63; 64; 65; 126; 179; 224; 371]. Обобщенная схема контролируемых параметров при проращивании зерна пшеницы представлена на рисунке 27.

Этапы контролируемого проращивания зерна пшеницы	Контролируемые показатели	Номинальные значения контролируемого показателя
Замачивание зерна пшеницы УЗВ	Энергия прорастания, %	Не менее 90 %
	Способность прорастания, %	Не менее 95 %
Набухание зерна пшеницы	Влажность зерна пшеницы, %	Не менее 35 %
	Степень набухания, %	Не менее 42 %
	Прирост массы, %	Не менее 50 %
Проращивание зерна пшеницы	Изменение размерных характеристик зерна, мм	Увеличение длины зерна пшеницы не менее чем на 20 %
	Время появления ростка, ч	Появление ростка величиной $(1,2 \pm 0,2)$ мм не менее чем у 95 % зерен
	Число падения, с	Не более 150 с

Рисунок 27 – Обобщенная схема контролируемых параметров при проведении процессов замачивания и проращивания зерна пшеницы

4.1.1 Определение рациональных параметров ведения процесса замачивания зерна пшеницы

Объектами исследования для моделирования процессов контролируемого проращивания было определено зерно пшеницы (*Triticum aestivum* L.) мягкой яровой сорта «Любава» урожая 2016–2018 гг. Пробы формировались из зерновой массы в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-2015.

Контрольные образцы (далее – ЗПК) обеззараживались посредством ХПИ и проращивались согласно методологии эксперимента без УЗВ.

Опытные образцы зерна пшеницы обеззараживались посредством ХПИ и на этапе замачивания подвергались УЗВ в гидромодуле 1:1.

Согласно предложенной методологии проведения процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы были выделены ключевые технологические этапы, на которых возможно возникновение рисков накопления микотоксинов.

Этап замачивания зерна пшеницы

Цель – определение наиболее приемлемых параметров УЗВ для ведения процесса замачивания зерна пшеницы. На данном этапе были проведены модельные исследования процесса замачивания зерна пшеницы при различных режимах УЗВ. Для исключения влияния качества воды на ведение процесса замачивания в постановочном эксперименте использовали дистиллированную и водопроводную воду (температура воды $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$). В ходе исследований была установлена минимальная вариация контролируемых показателей в зависимости от используемой воды, поэтому данный фактор не рассматривался в последующем.

Опытные образцы (далее – ЗПуЗВ) замачивали в гидромодуле (суммарный объем 1 000 мл, соотношение зерна и воды 1:1) и подвергали УЗВ с применением следующих вариаций его параметров:

- частота, кГц – $(22 \pm 1,65)$, интенсивность не менее 10 Вт/см^2 ;
- мощность (номинальная), Вт – 126; 189; 315; 378; 441; 504; 567 и 630 (соответственно 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 и 100 % мощности прибора от паспортного значения);
- экспозиция, мин – 3; 5 и 7.

Для обработки использовали ультразвуковой низкочастотный генератор «Волна-Л» (модель УЗТА-0,63/22-ОЛ) с рабочим элементом погружного типа, который опускали в гидромодуль с зерновой массой. Обработку проводили при постоянном перемешивании и контроле температуры в системе не выше $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Замачивание осуществляли по методике в соответствии с ГОСТ 10968-88, за исключением позиции первичного замачивания в течение 4 ч, которое осуществ-

лялось в описанном ранее гидромодуле. По завершении методики образцы ЗПуэв оценивались по следующей номенклатуре:

- энергия прорастания, %;
- способность прорастания, %.

Для решения задачи оптимизации и определения рациональных режимов УЗВ полученный массив экспериментальных данных математически обрабатывали. Для обработки данных использовали программный продукт Statistica 13, применяя расчет кусочно-непрерывных зависимостей, в качестве переменных были выбраны результаты определения вышеуказанных показателей.

Результаты исследования активности к росту зерна пшеницы при замачивании и определение рациональных режимов УЗВ в гидромодуле

Известно, что процесс замачивания в технологии проращивания зерна требует достаточно больших временных затрат (около 8 ч из всего объема времени отведенного на процесс, при соблюдении стандартизированных технологий) и имеет другие ограничительных факторы, что затрудняет использование данной технологии в промышленных масштабах. С целью сокращения длительности ведения процесса замачивания и получения гарантированного результата в качестве стимула для ускорения процесса в наших исследованиях было использовано УЗВ на зерно (гидромодуль 1:1) после его обеззараживания с помощью обработки ХПИ.

Результаты исследования зерна пшеницы после окончания процесса замачивания по показателям, характеризующим его активность к проращиванию (энергия прорастания, %, и способность прорастания, %), при использовании в качестве стимула УЗВ в разных режимах представлены рисунке 28.

Анализ полученных в ходе исследований данных показал, что максимальный положительный эффект наблюдался при использовании для обработки зерна УЗВ двух мощностей – 315 и 378 Вт. В указанных режимах УЗВ способность к проращиванию увеличилась по отношению к контролю в среднем на $(7,8 \pm 0,6) \%$ и $(12,4 \pm 0,5) \%$, а энергия прорастания – на $(10,9 \pm 0,8) \%$ и $(18,1 \pm 0,4) \%$ соответственно для какого режима.

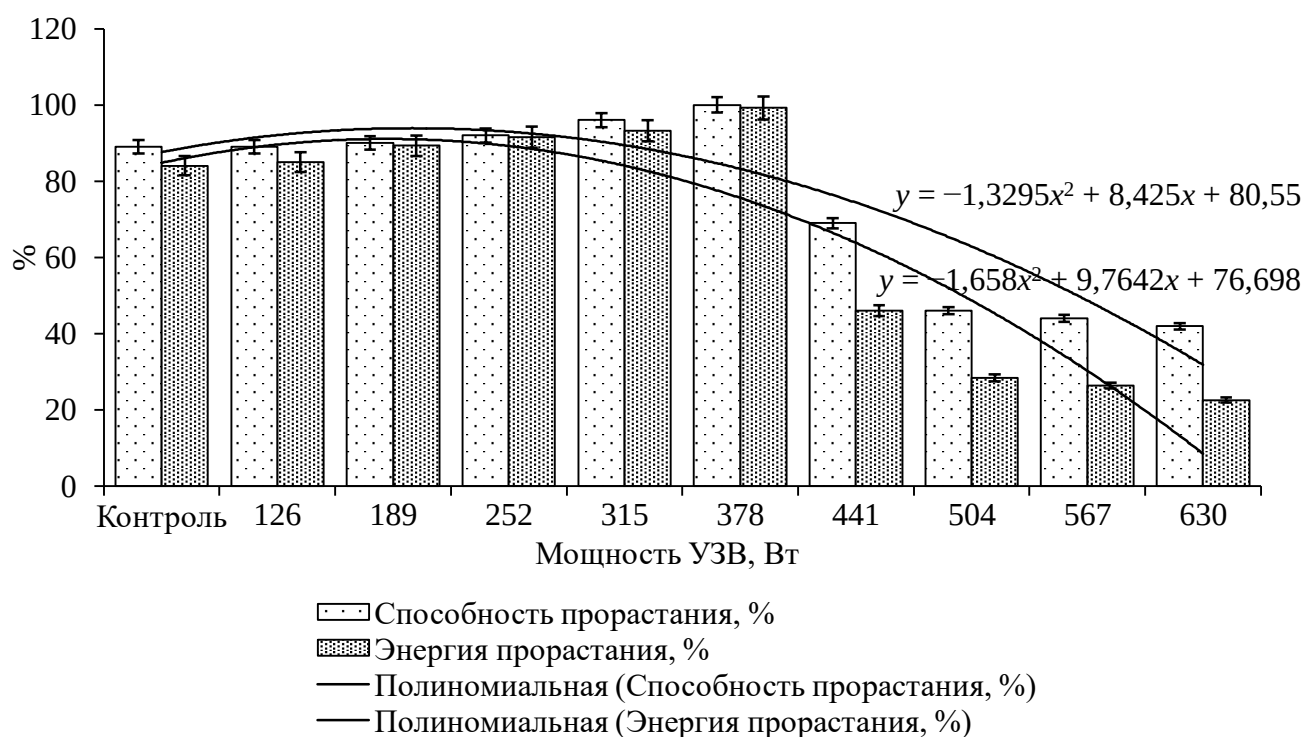


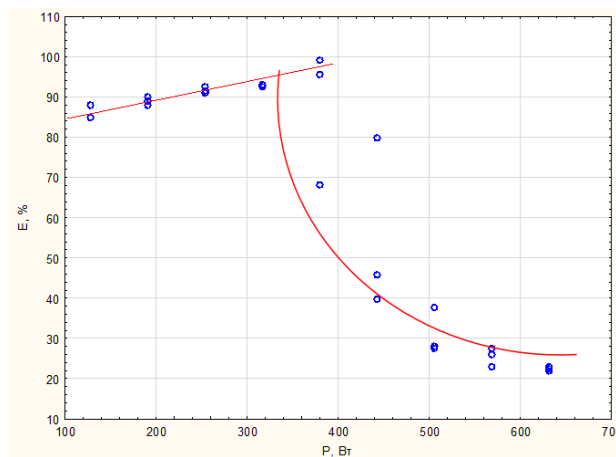
Рисунок 28 – Зависимость показателей, характеризующих способность к прорастанию и энергию прорастания зерна пшеницы, от мощности УЗВ в гидромодуле 1:1

Использование УЗВ более высокой мощности нецелесообразно, так как наблюдается значительное повышение температуры воды в гидромодуле (более 45 °С), что связано с преобразованием части акустической энергии в тепловую [4; 157; 160]. Было отмечено, что при нарастании мощности воздействия в диапазоне от 441 до 630 Вт независимо от экспозиции наблюдается повышение температуры в гидромодуле до значений $(55 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Такие условия выдержки зерна обуславливают денатурацию белков, клейстеризацию крахмала и инактивацию ферментов и определяют значительные потери качества образцов ЗПуэв.

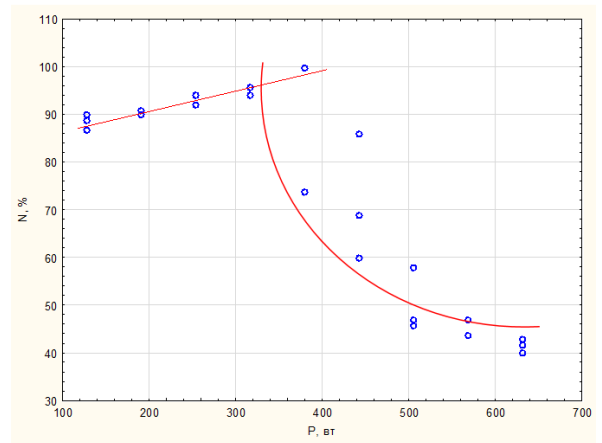
В связи с этим эффективность применения УЗВ для обработки зерна пшеницы на этапе замачивания требует определения четких параметров воздействия, что позволит минимизировать риски негативных изменений в качественных характеристиках объектов обработки и их технологических свойств.

Поскольку мощность воздействия (P) и экспозиция (t) УЗВ являются решающими факторами, способными стимулировать жизненные силы, заложенные природой в зерновую культуру, была использована математическая обработка массива

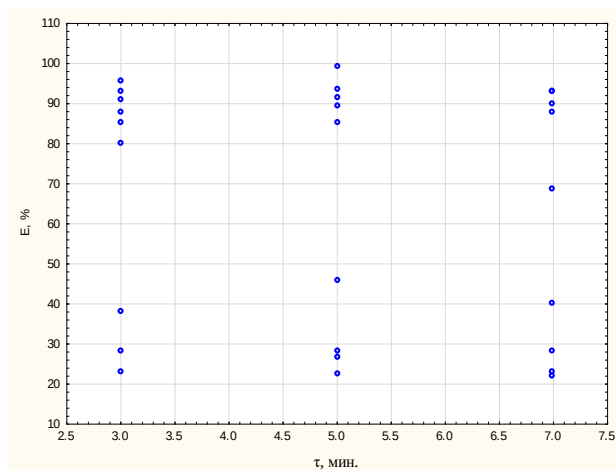
полученных данных для оптимизации этих параметров. Так, в ходе исследований получены данные при последовательной вариации мощности (P) от 126 до 630 Вт с шагом 63 Вт (10 % мощности прибора) и экспозиции УЗВ (t) 3; 5 и 7 мин. Для установления рациональных режимов УЗВ в качестве оценочных критериев использовались такие показатели, как энергия прорастания (E) и способность к прорастанию (N). В результате планирования и решения задачи оптимизации с помощью программного продукта Statistica 13 были рассчитаны кусочно-непрерывные зависимости и описывающие их уравнения, которые позволили установить наиболее приближенное к оптимальному сочетание факторов (рисунок 29).



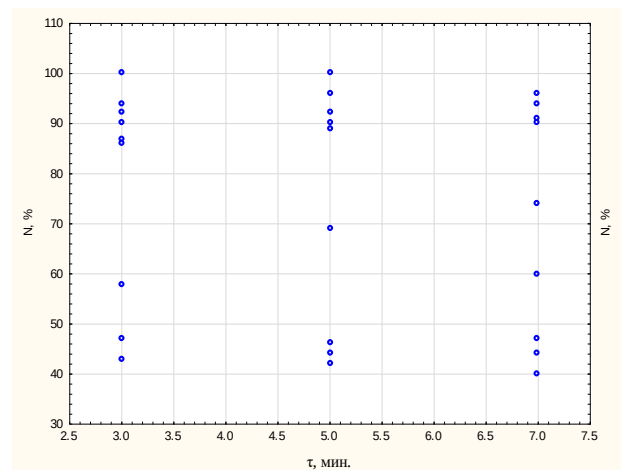
$a - E$ от P



$b - N$ от P



$в - E$ от t



$г - N$ от t

Рисунок 29 – Кусочно-непрерывные зависимости при УЗВ на зерно пшеницы при вариации показателей

Графики полученных зависимостей (рисунки 29а и 29б), показали, что кривая зависимостей разбивается на два участка, на первом E и N возрастают, на втором – резко снижаются. Зависимости проходят через максимум при мощности УЗВ ~ 378 Вт. Следует отметить, что отклики E и N между собой коррелируют и имеют коэффициент корреляции $R = 0,994$.

Обработка двумя кусочно-непрерывными функциями дает уравнение:

– для первого участка:

$$E = 80,9 + 0,0417P; \quad (25)$$

– для второго участка:

$$E = 9,9 - 879,2 \exp(-0,006981P). \quad (26)$$

Точка пересечения соответствует $P = (336 \pm 265)$ Вт и $E = (94,5 \pm 6,9)$ %. Коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений $0,975$. $St. err. = 6,9$ %. Для величины N уравнение:

– для первого участка:

$$N = 82,6 + 0,0425P; \quad (27)$$

– для второго участка:

$$N = 18,9 - 303,9 \exp(-0,004245P). \quad (28)$$

Точка пересечения $P = (323 \pm 17)$ Вт и $E = (96,4 \pm 5,2)$ %. $R_k = 0,973$. $St. err. = 5,2$ %.

При установлении оптимальной длительности воздействия вышеперечисленных зависимостей отмечено не было (рисунок 29в и 29г), однако увеличение времени более 5 мин, как правило, приводит к понижению значений как энергии прорастания, так и способности прорастания, поэтому было принято решение использовать минимально заявленную длительность воздействия (3 мин), так как

в ходе рекогносцировочных исследований, меньшая длительность воздействия (1–2 мин) не позволяла получать статистически значимые эффекты.

Таким образом, были определены *рациональные режимы УЗВ* для обработки зерна пшеницы, которые с учетом технологических возможностей работы прибора составили: *мощность 378 Вт, экспозиция 3 мин.*

В целях *верификации установленного рационального режима УЗВ (378 Вт, 3 мин)* для процесса получения пророщенного зерна пшеницы, были проведены экспериментальные исследования, направленные на *изучение процесса набухания зерна пшеницы и установление механизмов влияния УЗВ на происходящие в зерне изменения при его замачивании.*

Определение рациональных параметров ведения процесса замачивания зерна пшеницы при вариативности параметров

Основным активатором процесса проращивания и способом воздействия на его компоненты является вода. Зерно как капиллярно-пористое коллоидное тело обладает сетью макро- и микропор, что определяет его способность к процессам сорбции и десорбции влаги.

Физическая сущность и сложные механизмы процесса миграции влаги в зерно пшеницы и внутри него изучены и описаны С. Я. Корячкиной, Н. Н. Алехиной, Т. Б. Цыгановой, В. Я. Черных, Д. В. Шнейдер, С. Hoseney, T. V. Price, J. Ding, S. Xiong и др. [9; 17; 30; 48; 51; 52; 53; 63; 64; 65; 108; 141; 169; 177; 229; 230; 231; 232; 260; 300; 334].

Доказано, что в процессе замачивания зерна сорбционные процессы влаги включают: *адсорбцию* (уплотнение молекул воды на поверхности зерна), *абсорбцию* (проникание воды путем диффузии в зерно), *капиллярную конденсацию* (поглощение воды с образованием конденсата в капиллярах зерна) и *хемосорбцию* (поглощение воды зерном, сопровождающееся реакцией, которая ведет к химическим изменениям составных частей зерна) [4; 30; 51; 53; 133; 134; 334]. Под влиянием диффузионно-осмотических сил вода проникает в глубь зерна и образует коллоидные системы с белками и углеводами, при этом белки, набухая, могут поглотить воды до 250 % и более, крахмал – 30–35 %, слизи – до 800 % влаги. Коли-

чество веществ, способных к набуханию в воде, составляют в зерне пшеницы 80–85 % [4; 17; 30; 51; 65; 108; 133; 134; 170; 334].

Согласно исследованиям [202], на молекулярном уровне поглощение воды сухим зерном происходит в три этапа. Первый этап характеризуется начальным быстрым поглощением воды сухим зерном, его набуханием и изменением формы связи влаги. Мембранная структура клеток оболочечных частей зерна нарушается в результате быстрой гидратации, приводящей к частичному растворению сахаров, свободных аминокислот, фосфатов и других водорастворимых компонентов зерна. Как только скорость поглощения воды в семенах замедляется и становится более стабильной, наступает второй этап замачивания зерна [202; 369]. На третьем этапе происходит перераспределение влаги в зерне пшеницы. Скорость проникновения влаги в зерно обусловлена рядом факторов, важнейшими из которых являются стекловидность, качество белков, исходная влажность, выполненность, крупность зерна и его сорт [133; 134].

Следовательно, основными контролируемыми показателями в процессе замачивания зерна являются изменение его влажности и оптимальность количества используемой воды, так как излишнее количество влаги способно активировать токсикогенную микрофлору и создавать новые риски накопления микотоксинов.

В целях *исключения влияния параметральных факторов* (вариативности параметров при ведении технологических процессов) при процессе замачивания были проведены исследования в следующих условиях:

- для контрольных образцов (ЗПк) без изменений применялась выше представленная методология ведения процесса (рисунок 22);
- опытные образцы (ЗПуЗВ) после обеззараживания ХПИ помещались в гидромодуль для замачивания и подвергались УЗВ в следующем режиме: мощность 378 Вт, длительность воздействия – 3 мин.

Условия ведения процесса замачивания:

- соотношение зерна и воды в гидромодуле – 1:0,75; 1:1 и 1:1,25;
- длительность замачивания – от 6 до 16 ч (с контролем показателей каждые 2 ч).

Контроль влияния условий при замачивании на состояние зерна оценивали по следующей номенклатуре показателей:

- влажность зерна, %;
- степень набухания, %;
- прирост массы, %;
- микроструктурные изменения (с использованием СЭМ);
- распределение форм связи воды в зерне пшеницы в процессе замачивания.

Для установления рациональных режимов, определяющих длительность процесса замачивания зерна пшеницы при вариативности исходного качества, использовали функции желательности, на основе которых рассчитывался обобщенный критерий оптимальности.

В ходе рекогносцировочных исследований были установлены номинальные значения для начала проращивания зерна пшеницы – доведение показателя влажности зерна до величины не менее 35 % при температуре внутри гидромодуля $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

В целях определения минимально необходимого времени и оптимального количества воды, используемых для процесса замачивания зерна пшеницы, постановку эксперимента проводили при соотношениях зерна и воды в гидромодуле 1:0,75, 1:1 и 1:1,25.

Результаты, полученные в ходе исследования, полно характеризуют динамику течения процессов в зерне при УЗВ на этапе замачивания в гидромодуле при разном соотношении зерна и воды. Так, представленные на рисунке 30 значения показателя влажности зерна пшеницы контрольных и опытных образцов в процессе замачивания свидетельствуют о том, что использование УЗВ практически в два раза сокращает длительность замачивания зерна пшеницы.

Оболочки образцов зерна, подвергнутого УЗВ, поглощают воду быстрее. Так, уже через 4 ч замачивания различие между образцами ЗПузв и ЗПк при ведении процесса в гидромодуле при соотношении зерна и воды 1:1 составляло $(8 \pm 0,3) \%$. В гидромодулях 1:1 и 1:1,25 через 6 ч образцы ЗПузв достигали номинального значения влажности $(36 \pm 1) \%$.

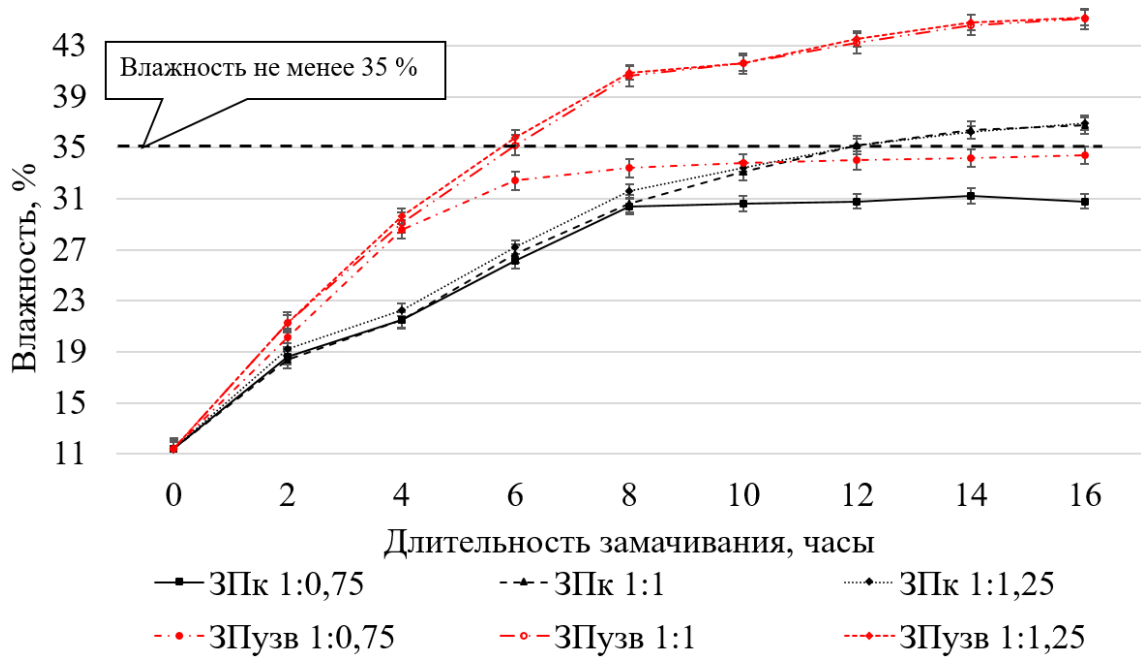


Рисунок 30 – Динамика изменения влажности в контрольных и опытных образцах зерна пшеницы при замачивании в гидромодуле при разных соотношениях зерна и воды

Из графика видно, что как для контрольных, так и для опытных образцов рост значений показателя влажности после достижения величины $(40 \pm 2) \%$ не наблюдался. Кривые на последующих участках времени имеют сглаженный вид, фактически выходят на плато. Вероятно, на данном этапе происходит перераспределение влаги в зерне пшеницы, она по внутренним каналам поступает в центральную часть зерна, где проникает в зародыш и активизируется процесс проращивания, затем равномерно распределяется по всей массе эндосперма [338].

Ведение процесса замачивания в гидромодуле с соотношением зерна и воды 1:0,75 малоприемлемо, так как на отдельных участках поверхности зерновой массы наблюдается подсыхание, что не обеспечивает необходимого равномерного распределения влаги в зерне и скорость процесса набухания снижается. В противовес этому, в гидромодуле с соотношением зерна и воды 1:1,25 было отмечено избыточное количество водной фазы, что негативно влияет на пищевую ценность пророщенного зерна, так как водорастворимые фракции белка и сахара переходят в водную фазу. Наиболее выражен этот процесс у образцов 3Пузв: по результатам рекогносцировочных исследований установлен переход сухих веществ в воду в количестве $(6 \pm 0,3) \%$.

На основании вышеизложенных данных и наблюдений, можно сделать вывод, что для процесса замачивания наиболее *рационально использовать гидро модуль в соотношении зерна и воды 1:1*.

Таким образом, в результате проведенных исследований определено, что номинальным для проращивания зерна пшеницы является значение показателя влажности не менее 35 %. Установлено, что для ЗПк при обеззараживании только ХПИ номинальная влажность при замачивании достигается только через 12 ч, тогда как для образцов ЗПузв – уже после 6 ч замачивания.

Учеными доказано [16; 19; 20; 152; 157; 160; 161; 195], что кавитационные эффекты УЗВ улучшают проницаемость клеточных мембран, обеспечивают дисперсию веществ, деструкцию воды и их доступность для клеток. Следовательно, УЗВ способствует более полному проникновению влаги в центральные части зерна пшеницы, обеспечивает прирост массы зерна и интенсифицирует процесс набухания, что наглядно подтверждает анализ данных исследований (рисунок 31).

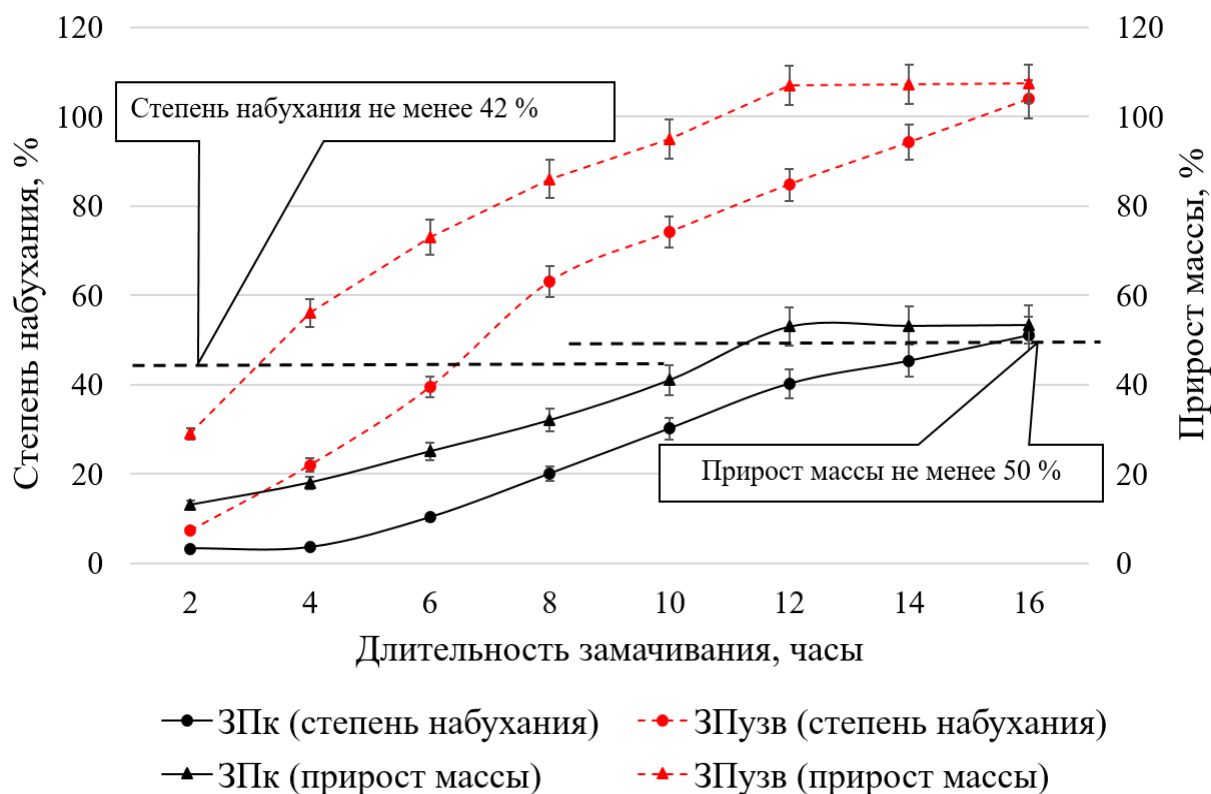


Рисунок 31 – Динамика изменения степени набухания и прироста массы при замачивании контрольных и опытных образцов зерна пшеницы

Анализ результатов исследования подтвердил зависимость степени набухания и прироста массы зерна от длительности ведения процесса замачивания и использования УЗВ. Значительный *прирост массы* зерна пшеницы был установлен для образцов ЗПузв: увеличение данного показателя *через 8 ч замачивания* составило $(54 \pm 2) \%$, тогда как у образцов ЗПк данное значение достигалось только после 12 ч ведения процесса.

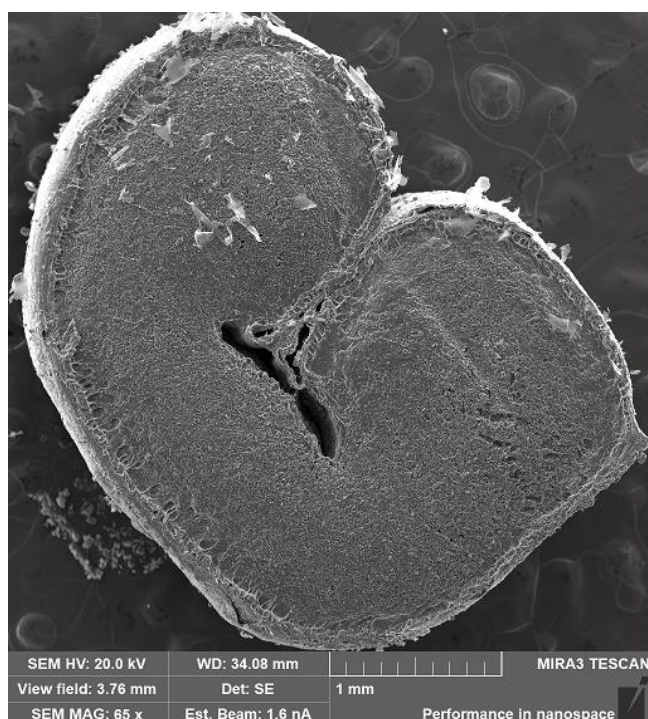
Степень набухания для всех образцов имеет менее выраженную динамику роста. Номинальное значение, по данным исследований [4; 9; 133; 134], должно составлять не менее 42 %. В образцах ЗПузв данная величина достигается на 2,5 ч раньше (*через 10,5 ч замачивания*), чем в образцах ЗПк (через 13 ч), что свидетельствует об ускорении процесса набухания зерна пшеницы при использовании УЗВ.

Исследование микроструктурных изменений в зерне пшеницы при замачивании

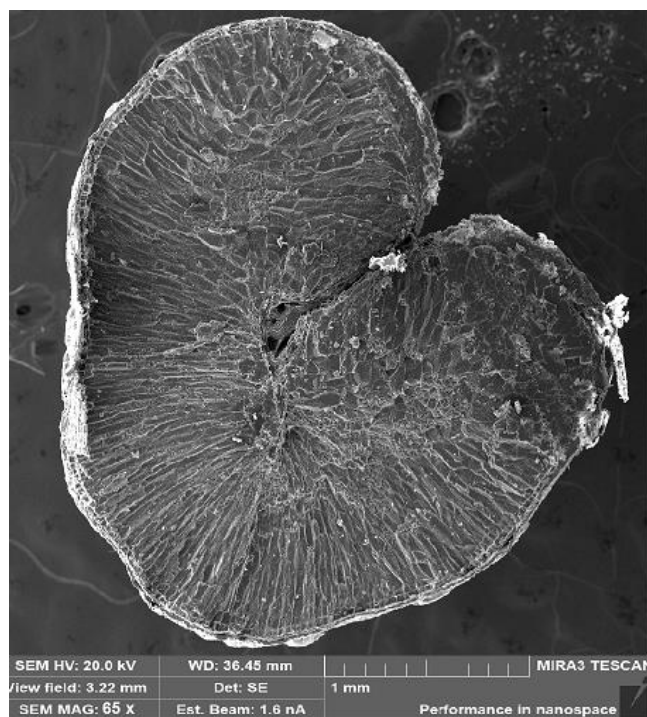
Для установления механизмов влияния УЗВ на происходящие в зерне изменения при его замачивании было проведено исследование микроструктурных изменений в опытных образцах зерна пшеницы. В предыдущих исследованиях было установлено влияние УЗВ на скорость увлажнения и набухания зерна при рациональном соотношении количества зерна и влаги (1:1) при замачивании. Учитывая характер поглощения воды структурными элементами зерна пшеницы, описанный в работах R. C. Hosney и его коллег [162], и последовательность наполнения влагой его структурных элементов, весьма значимо, используя современное оптическое оборудование, изучить влияние УЗВ на процесс увлажнения продольного, поперечного и трубчатого слоев плодовых оболочек, пигментного и гиалинового слоев семенных оболочек [9; 46; 50; 260], эндосперма и зародыша. Для этих целей опытные образцы зерна пшеницы оценивались с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения с катодом Шоттки фирмы TESCAN MIRA3, оснащенного безазотной системой микроанализа Ultim Max 100, под управлением программного обеспечения Aztex Energy. Для исследования микроструктуры контрольных и опытных образцов зерна пшеницы предварительно готовили поперечные срезы с последующим напылением графита.

Исследование микроструктурных изменений контрольных и опытных образцов зерна пшеницы проводилось через 8 ч протекания процесса замачивания, что обусловлено достижением номинальной величины показателя скорости набухания.

Анализируя результаты СЭМ (рисунок 32) поперечных срезов образцов зерна ЗПк и ЗПузв после 8 ч замачивания, можно наблюдать их явное различие. На микрофотографиях поперечных срезов образцов ЗПк (рисунок 32а) визуализируется плотно упакованная структура эндосперма и бороздка, что свидетельствует о начальных этапах процесса набухания. В образцах ЗПузв (рисунок 32б) видны разрыхленная структура эндосперма и равномерно набухшие составные части зерна, петля бороздки сомкнута, что характеризует интенсивно протекающий процесс набухания, вероятно, за счет повышения проницаемости мембран клеток.



а

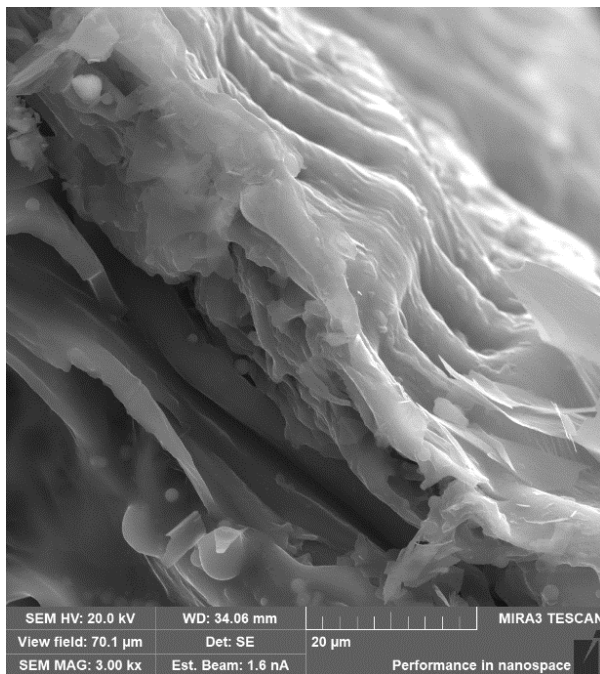


б

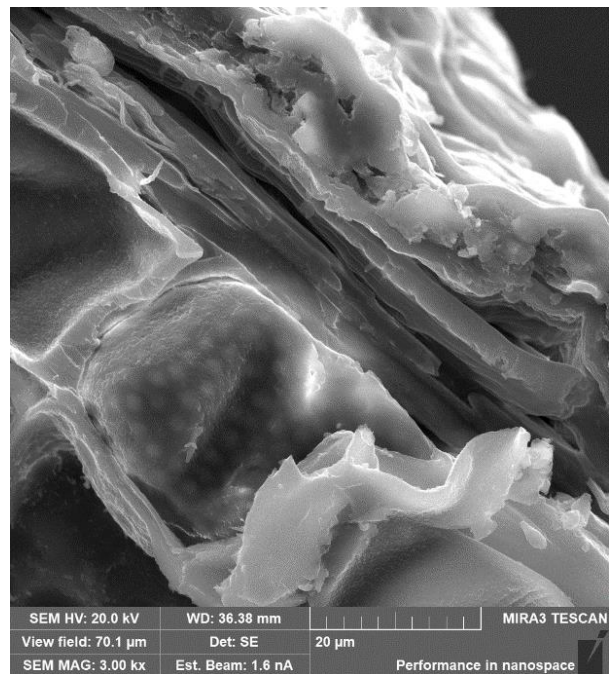
Рисунок 32 – Характерный вид электронных микрофотографий поперечного разреза контрольных (а) и опытных (б) образцов зерна пшеницы после 8 ч замачивания, СЭМ TESCAN MIRA3, увеличение $\times 65$

Детальное изучение (рисунок 33) плодовых и семенных оболочек контрольных и опытных образцов зерна пшеницы после 8 ч замачивания, доказывает раз-

личия в их состоянии. Плодовые и семенные оболочки зерна пшеницы у всех образцов по истечении процесса замачивания набухшие, но микрофотографии поперечных срезов образцов ЗПк (рисунок 33а) и ЗПузв (рисунок 33б) указывают на то, что при УЗВ состояние оболочечных слоев и их структура различаются. Для образцов ЗПузв выделяются расслоившиеся поперечные и продольные слои плодовой оболочки, набухший гиалиновый слой семенной оболочки с продольными удлиненными клетками, а также хорошо визуализируется алейроновый слой, что объясняется повышением проницаемости клеточных мембран благодаря энергии акустической кавитации [16; 19; 20; 47; 116; 195; 229; 230; 231; 232; 274].



а



б

Рисунок 33 – Характерный вид электронных микрофотографий поперечного разреза контрольных (а) и опытных (б) образцов зерна пшеницы после 8 ч замачивания, СЭМ TESCAN MIRA3, увеличение $\times 3000$

Ультразвуковые волны при обработке зерновой массы в системе гидромодуля проявляют эффект кавитации в виде колебаний парогазовых пузырьков и их коллапса, что изменяет физико-химические свойства воды. Под воздействием ударных волн поля кавитации происходит разрыв водородных связей в структуре воды, аналогичный происходящему при ее нагревании до точки кипения.

Высокая адсорбционная активность образующихся при УЗВ гидроксильных ионов обуславливает ускоренное смачивание, что подтверждают данные, полученные в предыдущих исследованиях образцов ЗПузв. Исследование состояния эндосперма после замачивания с использованием СЭМ при увеличении $\times 2000$ (рисунок 34) позволяет фиксировать различия в микроструктуре эндосперма контрольных и опытных образцов зерна пшеницы.

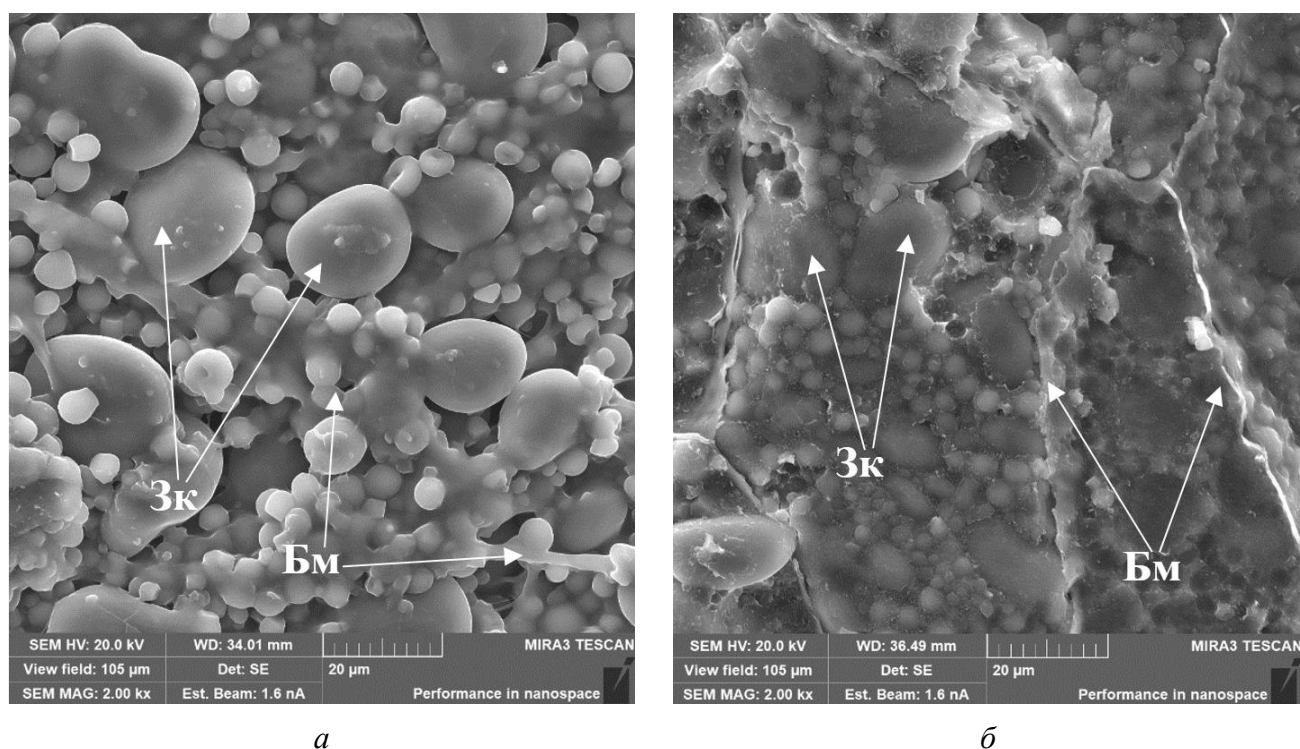


Рисунок 34 – Характерный вид электронных микрофотографий поперечного разреза контрольных (*а*) и опытных (*б*) образцов зерна пшеницы после 8 ч замачивания, СЭМ TESCAN MIRA3, увеличение $\times 2000$:
Зк – зерна крахмала; Бм – белковая матрица

В эндосперме образцов ЗПк (рисунок 34*а*) визуализируются зерна крахмала различной величины, но белковая матрица в виде отдельных нитей обволакивает их только частично. При этом в микроструктуре ЗПузв (рисунок 34*б*) присутствует большое количество набухшего белка, который полностью обволакивает зерна крахмала. Они имеют разную величину и хорошо встроены в белковую матрицу. Некоторыми исследованиями установлено [4; 30; 52; 53; 116; 162; 202; 344], что

вода способна ослаблять связь системы «белок – крахмал» [255; 260; 262], в дальнейшем это может оказать положительное влияние на процесс помола зерна пшеницы и минимизировать количество поврежденных зерен крахмала.

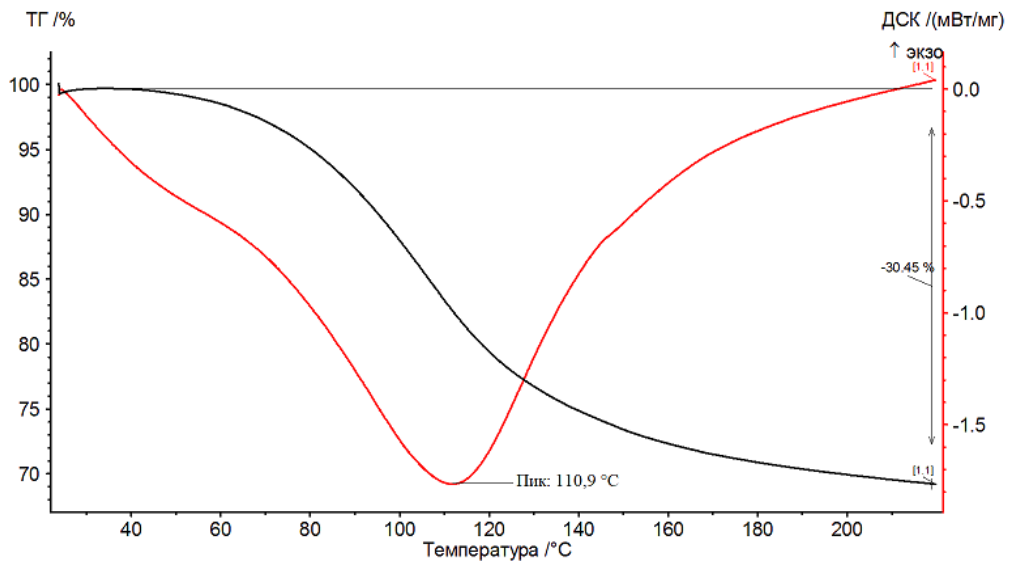
Известно, что набухание зерна пшеницы сопровождается рядом физиологических процессов: возобновляется дыхательная активность зерна, происходит синтез белка из существующей РНК [202; 334; 342]. При восстановлении РНК, которая была повреждена во время фазы высушивания зерна пшеницы, начинают проявляться функции всех клеточных органелл, в частности митохондрий [133; 134; 251; 260]. Данные процессы играют решающую роль в выработке аденозинтрифосфата (АТФ), необходимого для процесса проращивания зерна пшеницы [4; 53; 64; 133; 162; 253; 255].

Следовательно, при УЗВ за счет повышения проницаемости клеточных мембран плодовых и семенных оболочек зерна пшеницы ускоряется процесс миграции влаги от внешних к внутренним частям зерна при замачивании. Однако для раскрытия механизмов улучшения гидратации при УЗВ в системе гидромодуля на стадии замачивания, на наш взгляд, важно изучить, какие формы связи воды формируются в зерне и какова их устойчивость в системе.

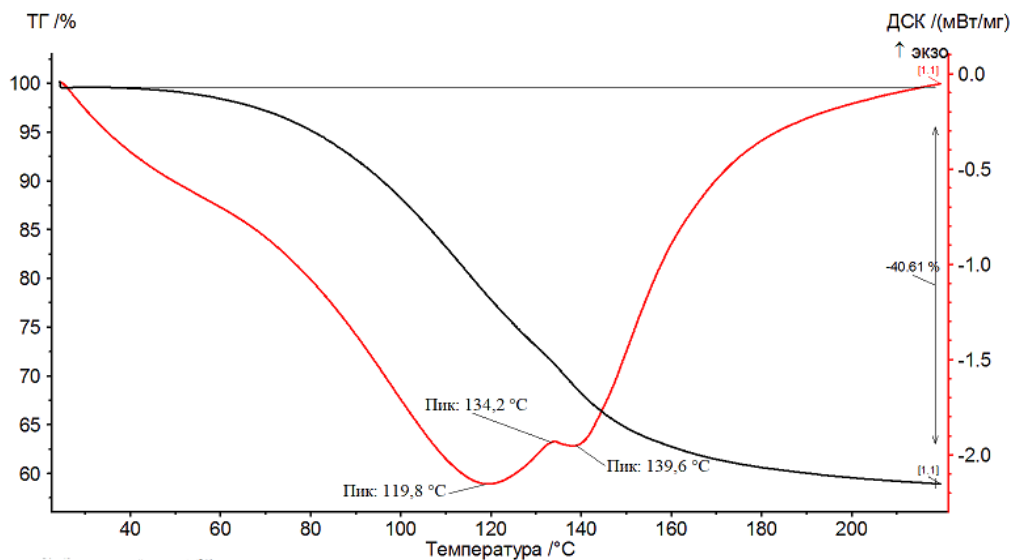
Исследование распределения форм связи воды в зерне пшеницы, происходящего в процессе его замачивания

Известно, что сорбционные процессы при замачивании зерна пшеницы сопровождаются перераспределением форм связи воды, находящейся в ее составных частях. Исследование этих процессов в рамках диссертационной работы позволит установить взаимосвязь между УЗВ и перераспределением форм связи воды при замачивании зерна в гидромодуле. Наиболее полно этот процесс возможно изучить, используя метод дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК), которая основана на фиксации зависимости теплового потока dH/dT (Дж/с). Преимуществом ДСК является наличие индивидуальных нагревателей для калориметрических камер образца и эталона, а также используемый принцип сбалансированного нуля. Для проведения эксперимента на данном этапе использовался синхронный термический анализатор (ТГ-ДСК) Netzsch STA 449F1 «Jupiter».

Исследования распределения форм связи воды в структурных образцах зерна на проводились для контрольных (ЗПк) и опытных образцов (ЗПуЗв) зерна пшеницы после 8 ч замачивания в условиях гидромодуля (соотношение зерна и воды 1:1). Характерный вид кривых распределения ТГ/ДСК исследуемых образцов представлен на рисунке 35.



a – контрольные образцы



б – опытные образцы, полученные при использовании УЗВ

Рисунок 35 – Характерные виды кривых ТГ/ДСК исследуемых образцов зерна пшеницы после 8 ч замачивания

Сопоставляя характер кривых, можно выявить и исследовать фазовые превращения воды и других химических компонентов зерна при нагревании с помощью термических эффектов, сопровождающих эти изменения.

Кривая ДСК образца ЗПк (рисунок 35а) имеет один характерный эндотермический пик ($(110,9 \pm 4) ^\circ\text{C}$), что свидетельствует о равномерном испарении влаги в течение всего периода термообработки. Тогда как на кривой ДСК образца ЗПузв (рисунок 35б) в интервале температур от $119,8$ до $139,6 ^\circ\text{C}$ присутствует два эндотермических и один экзотермический пик, что свидетельствует об интенсивном фазовом переходе вещества. Данный температурный диапазон характерен для начала миграции прочно связанной (моно- и полиадсорбционной) воды в образцах ЗПузв, что согласуется с ранее полученными в собственных исследованиях данными [316; 342; 344].

Кривые ТГ контрольных и опытных образцов были тождественны. На начальном этапе нагревания до температуры $42 ^\circ\text{C}$ потери влаги в исследуемых образцах зерна пшеницы были незначительны. По мере нагревания образцов до температуры $(185,6 \pm 5) ^\circ\text{C}$ отмечалась наиболее значительная потеря массы вещества, в том числе воды, в зависимости от силы ее связи с химическими компонентами зерна. На начальном этапе наиболее легко удаляется свободная вода, далее происходит потеря физико-механически связанной воды, которая удерживается макромолекулярной матрицей и способна проникать в микронеплотности белка зерна пшеницы [147; 316]. Также низкая энергия связи характерна для осмотически удерживаемой воды. В то же время наиболее прочно связанной считается вода адсорбционная (моно- и полиадсорбционная) и химически связанная вода [147], которая удаляется на последнем этапе нагрева. Данная градация воды в системе зерна, подразумевающая ее нахождение в шести различных состояниях, которые различаются прочностью связи и способны осуществлять фазовый переход при термоанализе, была положена в основу представленной ниже обработки полученных экспериментальных данных [316].

Результаты термоанализа были обработаны с помощью математической модели кусочно-линейной функции, описанной в п. 2.2 диссертации и апробирован-

ной ранее в совместных работах с Л. П. Ниловой и И. В. Калининой [316]. Для построения модели по кривой TG были рассчитаны величины степени превращения (α) и построены кривые зависимости $-\lg\alpha$ от $1\,000/T$ в виде кусочно-линейной функции $-\lg\alpha = F(1\,000/T)$. В ходе расчетов выделены шесть линейных участков с разным углом наклона к оси абсцисс и определены температурные интервалы, которые соответствуют изменению массы образца по кривой TG , данные значения были приняты за соответствующее количество выделившейся воды из исследуемого образца. Соотношения воды различных форм связи в контрольных и опытных образцах зерна пшеницы после замачивания представлены на рисунке 36.

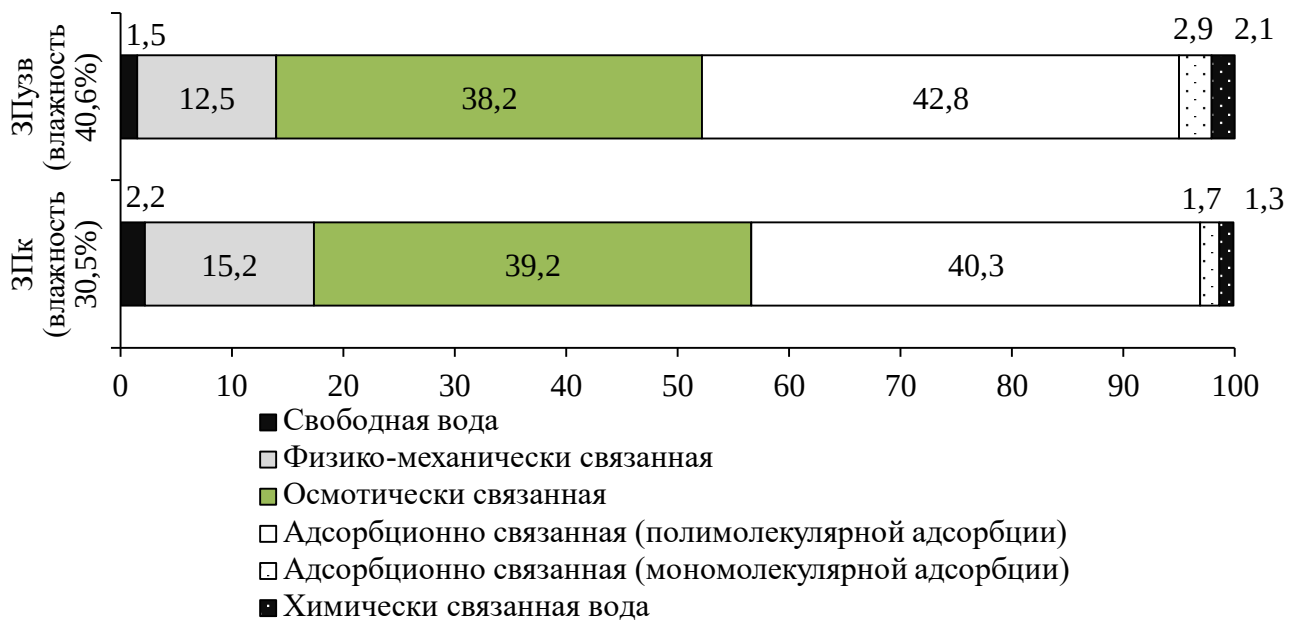


Рисунок 36 – Усредненные результаты определения изменения форм связи воды в исследуемых контрольных и опытных образцах зерна пшеницы после замачивания

Анализ полученных данных позволяет сделать заключение, что после 8 ч замачивания зерна пшеницы в гидромодуле 1:1 количество физико-механически удерживаемой воды в образцах ЗПк составляет $(15,2 \pm 0,8) \%$, а в образцах ЗПузв – $(12,5 \pm 0,6) \%$, что на $(3,0 \pm 0,5) \%$ меньше по отношению к контрольным образцам. Количество адсорбционно связанной воды в образцах ЗПузв составляет в среднем $(45,7 \pm 0,7) \%$, а в образцах ЗПк – в среднем $(42,0 \pm 0,6) \%$, что указывает на

влияние УЗВ на интенсивность миграции влаги в эндосперм зерна и взаимодействие ее с молекулами белка и крахмала.

Следовательно, вода в образцах ЗПк, преимущественно удерживаемая физико-механически, адсорбируется плодовыми и семенными оболочками, не достигает центральной части зерна и малодоступна для эндосперма. Использование УЗВ при замачивании зерна в гидромодуле обеспечивает интенсификацию процессов миграции влаги к структурным частям зерна. В связи с этим можно предположить, что через 8 ч замачивания в гидромодуле 1:1 при использовании УЗВ зерно пшеницы готово к последующим технологическим операциям.

Вместе с тем установление рациональных параметров для ведения процесса замачивания позволит смоделировать технологические условия получения ЦСМПЗП в случае вариативности отдельных элементов системы.

Моделирование процесса замачивания зерна пшеницы в условиях вариативности входных параметров

Описанные выше технологии замачивания зерна пшеницы после обеззараживания ХПИ и использования УЗВ для зерновой массы в гидромодуле не позволяют в полном объеме гарантировать качество конечного продукта с установленными технологическими свойствами. Кроме того, определение рациональных параметров ведения процесса в производственных условиях позволит минимизировать риски активации остаточной токсигенной микрофлоры зерна после обработки ХПИ.

Для этих целей была проведена математическая обработка массива полученных экспериментальных данных, характеризующих ведение процесса замачивания образцов ЗПк и ЗПузв, а в качестве контролируемых параметров определены следующие показатели:

- влажность зерна V , %,
- степень набухания S , %;
- прирост массы M , %.

В качестве входных параметров для обработки данных применены:

- длительность замачивания t_1 , мин;
- показатель соотношения зерна и воды.

Для процесса моделирования на основании ранее полученных результатов (п. 4.1.1) для контрольных и опытных образцов был исключен показатель соотношения зерна и воды 1:0,75.

В ходе математической обработки данных для образцов ЗПк была установлена корреляционная зависимость между показателями (V , S и M):

- между показателями V и S коэффициент корреляции составил 0,77;
- между показателями V и M коэффициент корреляции составил 0,84;
- между показателями S и M коэффициент корреляции составил 0,93.

Установленные коэффициенты корреляции применительно для биологических объектов являются высокими ввиду большой разнородности экспериментальных данных и свидетельствуют о сильной положительной зависимости между указанными показателями.

Зависимость V от t_1 имеет вид кривой насыщения (рисунок 37а), которая для гидромодуля не ниже 1:1 описывается уравнением

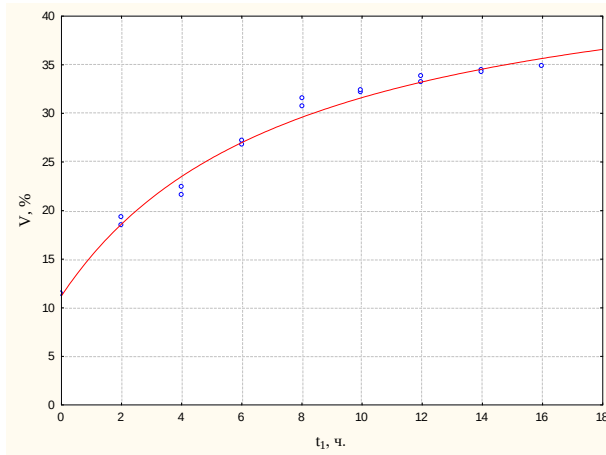
$$V = 11,21 + \frac{36,44t_1}{7,85 + t_1}. \quad (29)$$

Коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений $R_k = 0,9937$; стандартное отклонение $St. err. = 0,95$.

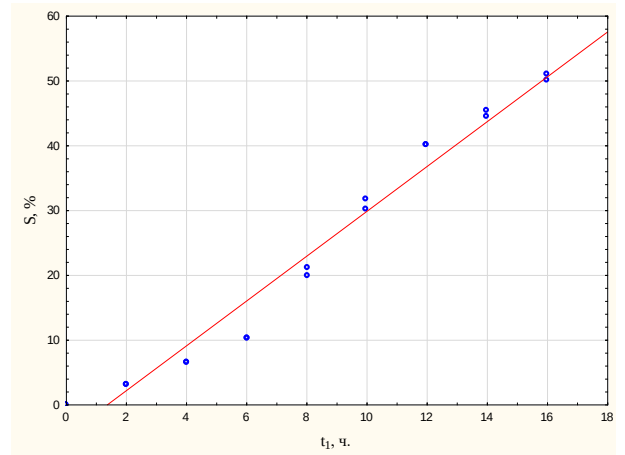
В соответствии выведенным аналогом уравнения Ленгмюра (п. 2.2 исследования) влажность зерна пшеницы возрастает линейно, когда $t_1 \ll 7,85$ ч, и выходит на насыщение при величине 47,65 %, когда $t_1 \gg 7,85$ ч. Скорость увеличения влажности на начальном участке составляет 4,64 %/ч.

Учитывая, что номинальное значение показателя влажности зерна пшеницы должно составлять не менее 35 %, в соответствии с уравнением можно вычислить величину t_1 :

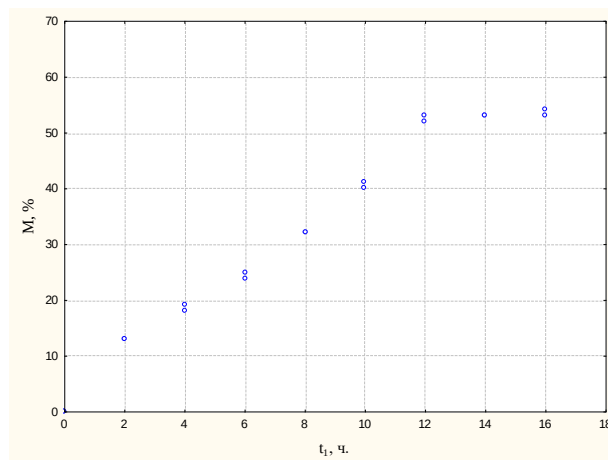
$$t_1 = \frac{7,85(V - 11,21)}{47,65 - V}. \quad (30)$$



а – для показателя влажности



б – для показателя степени набухания



в – для показателя прироста массы

Рисунок 37 – Зависимость показателей V , S , M от длительности t_1 процесса замачивания контрольных образцов (ЗПк), %

По данному показателю расчетная длительность замачивания образцов ЗПк составила 13,1–19,0 ч. Степень набухания (рисунок 37б) в пределах условий эксперимента при соотношении зерна и воды не ниже 1:1 практически линейно зависит от длительности процесса и описывается уравнением

$$S = -4,7 + 3,46t_1 \quad (R_k = 0,985; St. err. = 0,33). \quad (31)$$

Номинальное значение степени набухания должно составлять не менее 42 % с учетом стандартного отклонения модели, расчетная длительность замачивания по данному показателю должна быть не менее 13,5–13,8 ч.

Зависимость увеличения массы от t_1 так же, как влажность зерна пшеницы, имеет вид кривой насыщения (рисунок 37в) и описывается уравнением вида:

$$M = 0,6 + \frac{173t_1}{33,4 + t_1} (R_k = 0,989; St. err. = 3,0). \quad (32)$$

Скорость прироста массы при замачивании составляла 5,2 %/ч. Таким образом, рассматривая процесс замачивания для образцов ЗПк, можно сделать вывод, что достижение заданных характеристик показателей возможно обеспечить при длительности замачивания 13,5–19 ч при соотношении зерна и воды не менее 1:1.

Определение корреляционных зависимостей между показателями влажности зерна (V), степени набухания (S) и прироста массы (M) для образцов ЗПузв показало, что, в отличие от образцов ЗПк, опытные образцы обладают более высокой степенью набухания за счет влияния ультразвука.

В ходе математической обработки данных для образцов ЗПузв установлена следующая корреляционная зависимость:

- между показателями V и S коэффициент корреляции составил 0,92;
- между показателями V и M коэффициент корреляции составил 0,94;
- между показателями S и M коэффициент корреляции составил 0,85.

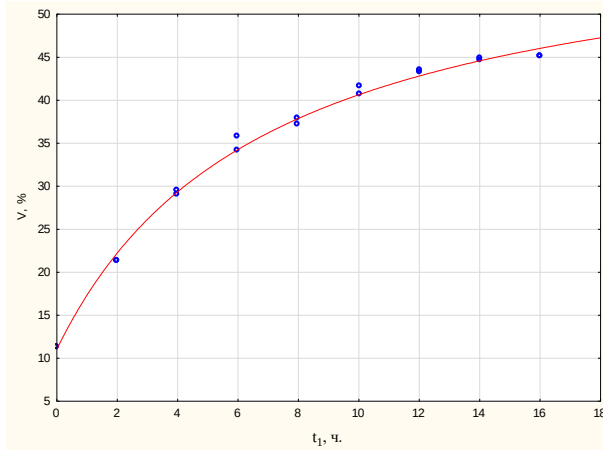
Установленные значения коэффициентов корреляции для ЗПузв имеют более высокие значения, чем для ЗПк, что свидетельствует о сильной положительной зависимости между указанными показателями.

Данный факт указывает на то, что УЗВ обеспечивает гидратационные свойства зерна, обусловленные изменениями структуры воды и кавитационными эффектами.

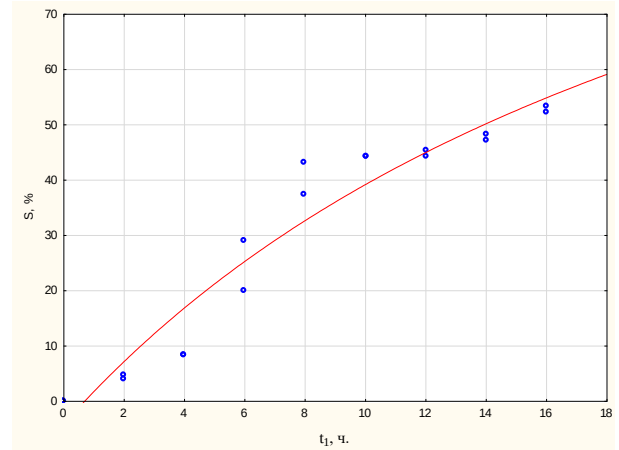
Зависимость V от t_1 имеет вид кривой насыщения (рисунок 38а), которая описывается уравнением

$$V = 11,04 + \frac{50,25t_1}{6,98 + t_1} (R_k = 0,9981; St. err. = 0,75). \quad (33)$$

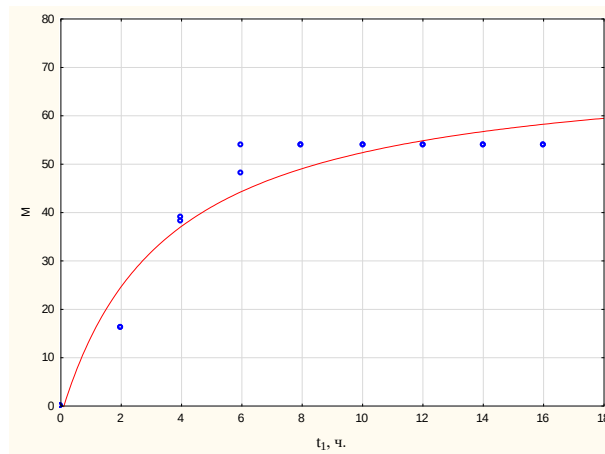
Из уравнения следует, что *использование УЗВ позволяет повысить скорость увеличения влажности до 7,20 %/ч (в 1,5 раза в сравнении с образцом ЗПк) в процессе замачивания зерна пшеницы, при этом сократить на 0,87 ч длительность процесса до состояния насыщения.*



a – для показателя влажности



b – для показателя степени набухания



v – для показателя прироста массы

Рисунок 38 – Зависимость показателей V , S , M от длительности процесса замачивания опытных образцов (ЗПуЗв), %

В отличие от линейного уравнения (30), для показателя степени набухания при замачивании опытных образцов зависимость имеет вид кривой насыщения (рисунок 38б) и описывается уравнением

$$S = -4,07 + \frac{147t_1}{24,4 + t_1} (R_k = 0,968; St. err. = 5,4). \quad (34)$$

Скорость набухания на начальном этапе процесса составила 6,0 %/ч, что почти вдвое выше, чем для образцов ЗПк.

Зависимость показателя прироста массы от t_1 имеет вид кривой насыщения (рисунок 38в) и описывается уравнением

$$M = -2,05 + \frac{73,5t_1}{3,5 + t_1} (R_k = 0,971; St. err. = 2,2). \quad (35)$$

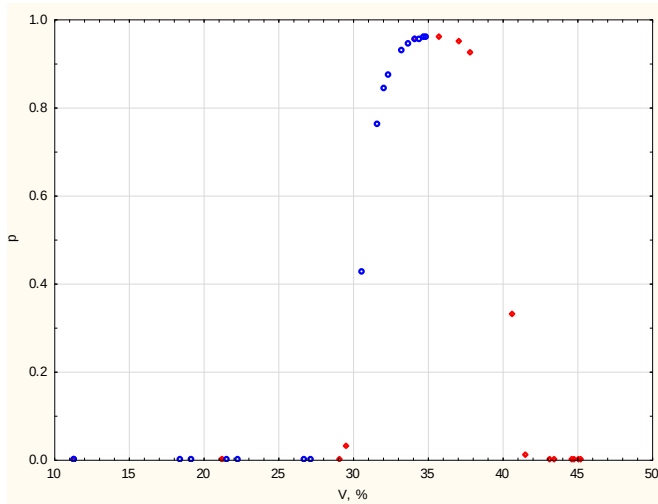
Скорость прироста массы на начальном этапе процесса составляет 21,0 %/ч, что в 4 раза выше по сравнению с контрольными образцами.

С учетом совокупности оцениваемых показателей и проведенных расчетов далее на основе обобщенного критерия оптимальности были определены оптимальные показатели длительности процесса замачивания контрольных и опытных образцов пшеницы.

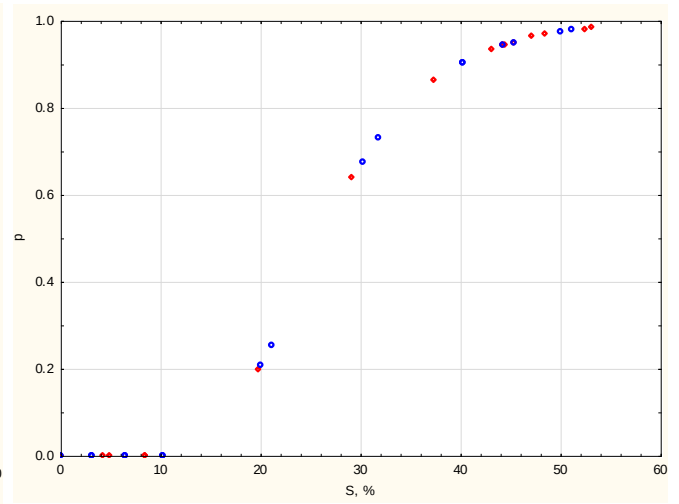
Для расчета обобщенного критерия оптимальности использовалась двусторонняя функция желательности (рисунок 39а), которая для описания динамики изменения влажности зерна пшеницы в процессе замачивания имела вид системы уравнений:

$$\begin{cases} \ln(-\ln(0,95)) = a + b \times 34 + c \times 34^2 \\ \ln(-\ln(0,95)) = a + b \times 37 + c \times 37^2 \\ \ln(-\ln(0,95)) = a + b \times 30,77 + c \times 30,77^2 \end{cases} \quad (36)$$

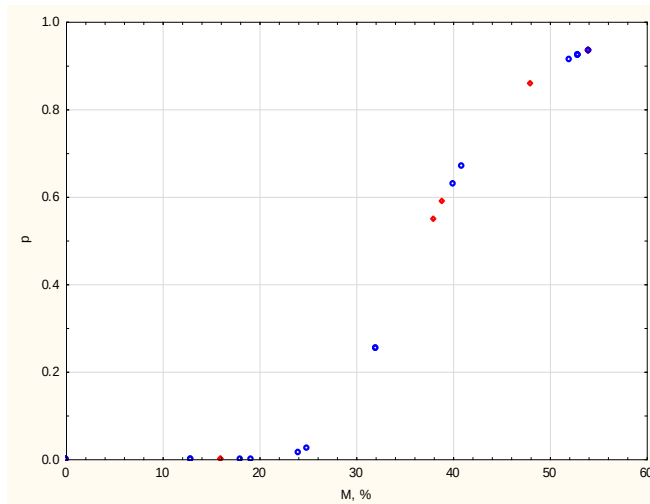
Из уравнений были определены коэффициенты $a = 46,182$; $b = -2,774$; $c = 0,0$. Наибольшего значения 0,962 функция достигает у образцов ЗПузв при значении гидромодуля 1:1,25 и времени замачивания 6 ч, тогда как у образцов ЗПк оптимальным является соотношение зерна и воды 1:1 и длительность замачивания 16 ч.



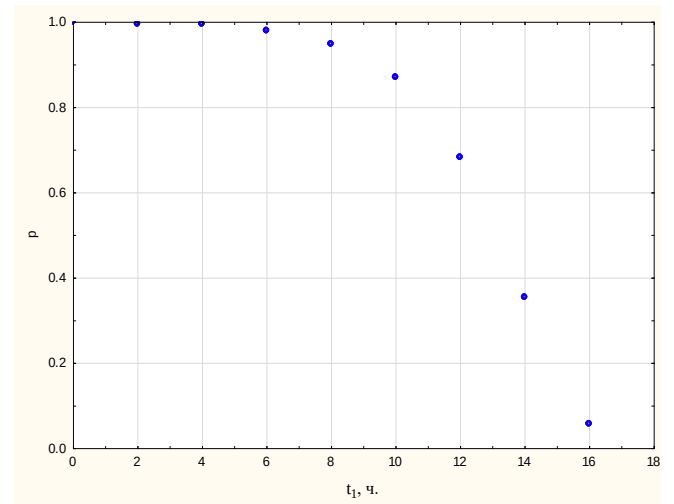
a – для показателя влажности, %



б – для показателя степени набухания, %



в – для показателя прироста массы, %



г – длительность замачивания, ч

Рисунок 39 – Функции желательности показателей V , S , M от длительности процесса замачивания опытных образцов (ЗПузв), обозначенных красным цветом, и контрольных образцов (ЗПк), обозначенных синим цветом

Для степени набухания (рисунок 39б) была использована односторонняя функция желательности, при этом система уравнений имела вид

$$\begin{cases} \ln(-\ln(0,5)) = a + b \times 26 \\ \ln(-\ln(0,95)) = a + b \times 45 \end{cases} \quad (37)$$

Значения коэффициентов составили: $a = 3,1964$ и $b = -0,1370$. Для образцов ЗПузв наибольшего значения 0,962 функция достигает при соотношении зерна

и воды 1:1,25 и времени замачивания 16 ч, тогда как для образцов ЗПк оптимальным является гидромодуль 1:1 и время замачивания 16 ч.

Применительно к показателю прироста массы (рисунок 39в) максимальное значение 0,934 соответствует длительности замачивания 8 и 6 ч (для образцов ЗПузв) при гидромодуле 1:1 и 1:1,25 соответственно и 16 ч для образцов ЗПузв.

Также необходимо учесть, что длительность замачивания зерна пшеницы (рисунок 39г) является не только варьируемым значением, но и фактором, влияющим на последующие процессы. Ряд зависимостей в данном случае имеет вид функций насыщения, и экономически нерентабельно увеличивать длительность замачивания по достижении номинального значения контролируемых показателей. В соответствии с вышеописанными принципами среднему значению длительности замачивания 8 ч можно присвоить $p = 0,95$, а среднему значению плюс стандартное отклонение 13,2 ч присвоить $p = 0,95$. Решением системы уравнений были получены значения $a = -6,9759$ и $b = 0,5007$. Функция равняется почти единице при значениях длительности замачивания менее 4 ч, затем 10 ч после резко снижается. График значений обобщенного критерия оптимальности при варьировании длительности замачивания образцов ЗПк и ЗПузв представлен на рисунке 40.

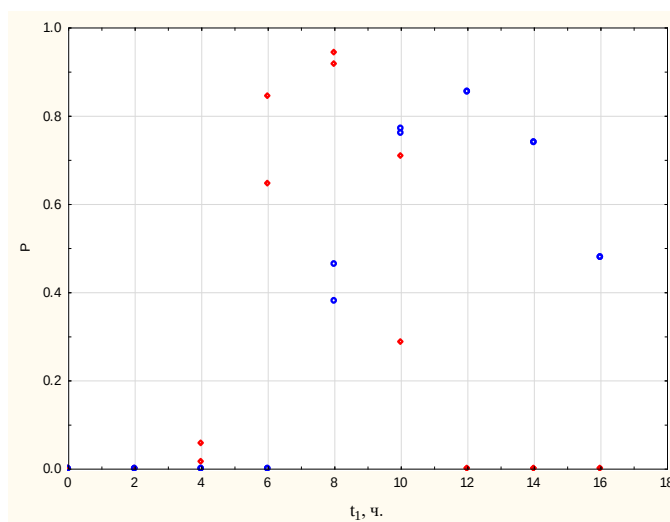


Рисунок 40 – Обобщенный критерий оптимальности в зависимости от длительности процесса замачивания опытных образцов (ЗПузв), обозначенных красным цветом, и контрольных образцов (ЗПк), обозначенных синим цветом

С целью поиска *оптимальной длительности ведения процесса замачивания зерна пшеницы с использованием УЗВ (ЗПузв)* было построено квадратное уравнение, аппроксимирующее обобщенный критерий оптимальности в районе максимума ($P > 0,01$):

$$P = -3,14 + 1,08t_1 - 0,071t_1^2 \quad (R_k = 0,944; \text{St. err.} = 0,15). \quad (38)$$

На основании уравнения (38) было установлено *время, соответствующее максимуму обобщенного критерия оптимальности ведения процесса, равное $(7,6 \pm 0,4)$ ч.*

Для образцов ЗПк было получено уравнение, аппроксимирующее обобщенный критерий оптимальности в районе максимума ($P > 0,01$):

$$P = -2,82 + 0,608t_1 - 0,0252t_1^2 \quad (R_k = 0,9901; \text{St. err.} = 0,029). \quad (39)$$

На основании данного уравнения была определена длительность *процесса замачивания в гидромодуле образцов зерна пшеницы без применения УЗВ*, соответствующая максимуму обобщенного критерия оптимальности и составляющая $(12,06 \pm 0,64)$ ч, что в 1,5 раза больше значений образцов ЗПузв.

Следовательно, применяемые *режимы ведения процесса замачивания для образцов ЗПк $((12,06 \pm 0,64)$ ч) и ЗПузв $((7,6 \pm 0,4)$ ч)* позволяют достичь необходимого насыщения влагой зерновой массы и осуществлять следующий этап в технологии получения ЦСМПЗП – процесс проращивания.

Учитывая физический смысл величин и фактически возможное регулирование длительности процесса замачивания в промышленном производстве, в качестве рациональных режимов продолжительности процесса были определены:

- для образцов ЗПк – 12 ч;
- для образцов ЗПузв – 7 ч 30 мин.

4.1.2 Определение рациональных параметров ведения процесса проращивания зерна пшеницы

Процесс проращивания зерна является технологически весьма ответственным этапом, так как от активности его протекания зависит пищевая ценность конечного продукта (в нашем случае – ЦСМПЗП) и его безопасность.

Для контролируемого ведения процесса проращивания зерна пшеницы необходимо учитывать ряд факторов, определяющих:

- безопасность получаемого сырьевого ингредиента (минимизация рисков активации остаточного количества токсигенной микрофлоры, а также, в случае повторного обсеменения, ее интенсивного развития);

- скорость протекания процесса проращивания (изменение линейных размеров зерна пшеницы, контроль времени появления ростка и его размерных характеристик, контроль числа падения зерна пшеницы);

- накопление биологически активных веществ (γ -аминомасляной кислоты, флавоноидов, фенольных кислот, полифенольных соединений).

Процесс проращивания зерна пшеницы осуществлялся по технологии, сформированной с учетом анализа и систематизации данных, представленных в научных работах [4; 9; 30; 64; 74; 88; 133; 134; 334]. Согласно технологии подготовленное после процесса замачивания зерно пшеницы размещали в шкаф для проращивания семян (ШПЗ, страна производства – Россия) при температуре $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$, влажности воздуха $(95 \pm 5) \%$ (данные условия ведения процесса были применены как постоянные).

На основании параметров длительности процессов замачивания, полученных с применением математического моделирования и расчетов обобщенного критерия оптимальности, для исследования были определены следующие образцы и условия проведения эксперимента:

– контрольные образцы (ЗПк) – зерно пшеницы, подвергнутое ХПИ для обеззараживания, размещали в гидромодуль (соотношение зерна и воды – 1:1) и выдерживали там для набухания в течение 12 ч;

– опытные образцы (ЗПузв) – зерно пшеницы, подвергнутое ХПИ для обеззараживания, размещали в гидромодуль (соотношение зерна и воды – 1:1), обрабатывали УЗВ (мощность 378 Вт, экспозиция 3 мин) и выдерживали в гидромодуле для набухания в течение 7 ч 30 мин.

Процесс проращивания контрольных и опытных образцов проводился при следующей вариации параметров:

– длительность процесса, ч – от 12 до 24 (при контроле показателей каждые 2 ч);

– толщина насыпного слоя зерна пшеницы при проращивании, мм – 10; 20 и 30.

Состояние зерна пшеницы при проращивании оценивали по следующей номенклатуре показателей:

– линейные размеры зерна пшеницы, мм;

– время появления ростка, ч;

– число падения, усл. ед.;

– распределение форм связи воды в зерне пшеницы.

В процессе проращивания зерна пшеницы наиболее важно контролировать динамику изменения его линейных размеров, так как их увеличение косвенно свидетельствует о скорости проникновения влаги в зерно, набухании крахмальной и белковой фракций эндосперма и активации зародыша к росту (наклеивание), что согласуется с данными исследований ряда авторов [4; 9; 21; 22; 27; 28; 51; 52; 127; 133; 134; 141; 334]. Происходящие в зерне пшеницы процессы насыщения и перераспределения влаги по его анатомическим частям определяют изменение ряда показателей, которые были положены в основу проведения контролируемого замачивания и проращивания.

Таблица 21 – Разработанная шкала микрофенологических фаз (МФФ) контролируемого проращивания зерна пшеницы (КПЗП)

Номер фазы	Наименование (условное обозначение МФФ)	Этап технологии процесса КПЗП	Описание процесса КПЗП	Показатели для фиксирования изменений при КПЗП	Источники научной информации
1	Набухание (ФН)	Замачивание ЗП. Проращивание ЗП	Набухание: осмотическое поступление воды по микрокапиллярам зерна пшеницы и ее взаимодействие с гидрофильными биополимерами, находящимися в структуре	Повышение влажности, степени набухания и прирост массы	Н. Н. Алехина [4], С. Я. Корячкина [52], Г. Н. Панкратов [9], В. В. Верхотуров [21], Д. В. Шнейдер [177], Т. Б. Цыганова [167], С. Hoseneu [260]
2	Точка роста (ФТР)	Проращивание ЗП	Наклевывание органов ростка	Увеличение ширины ЗП	А. С. Казакова [47], И. А. Глотова [29], Т. V. Price [334], J. Ding [229]
3	Росток (ФР)	Проращивание ЗП	Проклевывание органов ростка и достижение его размеров ($1,2 \pm 0,2$) мм	Увеличение длины ЗП, визуализируемый проклюнувшийся росток, снижение величины числа падения	И. А. Глотова [29], В. В. Верхотуров [22], С. Hoseneu [260]
4	Формирование органов ростка (ФФОР)	Проращивание ЗП	Появление зародышевых корешков длиной 1–2 мм, формирование органов ростка длиной более 1,5 мм	Начальный рост корешков, их размер более длины зерна пшеницы	С. Я. Корячкина [52], В. Я. Черных [95], Д. В. Шнейдер [177], Т. Б. Цыганова [167], G. G. Houg [263]

Критериальными показателями, регламентирующими длительность процесса замачивания зерна пшеницы, были определены влажность, степень набухания и прирост массы. Для контролирования процесса проращивания в качестве критериев микрофенологических фаз прорастания (наклевывания и проклевывания) определены изменения линейных размеров (длина, ширина и площадь поверхности) и скорость появления ростка.

При достижении пороговых уровней влажности зерна пшеницы (более 35 %) происходят процессы последовательного запуска его метаболических систем. Переход зерна пшеницы в состояние активного метаболизма сопровождается запуском ряд физиологических процессов, что приводит к интенсивному росту осевых органов зародыша [21; 22; 127].

Анализ открытых источников научной информации, характеризующих критерии идентификации этапов проращивания зерна пшеницы, свидетельствуют, что в настоящее время нет высокообъективных и легко выявляемых визуально морфологических описаний отдельных фаз процесса проращивания, позволяющих установить точки роста, а также сопровождающие его изменения физиологических и биохимических показателей [4; 21; 22; 27; 51; 52; 65; 272].

Для осуществления процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы была разработана и апробирована шкала определения микрофенологических фаз контролируемого прорастания зерна пшеницы (далее – МФФ КПЗП), представленная в таблице 22, в основу которой положены результаты научных исследований российских и зарубежных ученых [4; 22; 23; 47; 63; 64; 232; 260; 334]. Процесс проращивания проводили до оптимальной длины ростка при производстве хлебобулочных изделий ($(1,2 \pm 0,2)$ мм, при наличии не менее чем у 90 % зерен), что рекомендовано научным коллективом ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» под руководством профессора С. Я. Корячкиной.

Разработанная шкала является определителем следующих микрофенологических фаз в технологии КПЗП:

– *фаза набухания (ФН)* – необходимый физический процесс, происходящий в процессе замачивания зерна пшеницы, запускающий процессы гидролиза высокомолекулярных соединений эндосперма и перевода их в растворимое состояние, доступное для транспортирования в развивающийся росток. Контроль и динамика данного процесса были подробно изучены в п. 4.1.1. Согласно современным научным представлениям [27; 47; 258], по мере достижения пороговых значений влажности (35 %) инициируются основные процессы метаболизма, происходит начало растяжения клеток, активация гликолиза, цикла Кребса, начало взаимопревращений аминокислот. Изменения в зерне не визуализируются, фиксируются по физико-химическим показателям [4; 27; 47; 48; 65; 167; 177; 234];

– *фаза точки роста (ФТР)* – наклевывание ростка, свидетельствующее о накоплении осмотически активных веществ в осевых органах зерна пшеницы и начальном этапе их растяжения. Изменения в зерне визуализируются, фиксируется увеличение ширины зерна пшеницы, появление ростка из-под плодовых и семенных оболочек [29; 47; 229; 334];

– *фаза роста (ФР)*, наиболее благоприятная для завершения процесса прорастивания. Изменения в зерне визуализируются, появляется проклюнувшийся росток размером $(1,2 \pm 0,2)$ мм, увеличивается длина зерна пшеницы, накапливаются биологически активные вещества, происходит умеренная активация амилолитических и протеолитических ферментов [4; 9; 21; 22; 29; 63; 127; 260];

– *фаза формирования органов роста (ФФОР)*. В зерне пшеницы происходит начало пролиферативной активности биопроцессов, сопровождающееся активным делением клеток. Нарастающие процессы прорастивания зерна пшеницы являются источником гормонального стимулирования, поступающего в эндосперм и индуцирующего там активность гидролитических ферментов [4; 21; 22; 27; 30; 47; 52; 127]. Изменения в зерне визуализируются, видима дифференциация зародышевых корешков длиной 1–2 мм, происходит формирование органов ростка длиной более 1,5 мм, экспериментально определяется активация амилолитических и протеолитических ферментов [4; 9; 65; 141; 344].

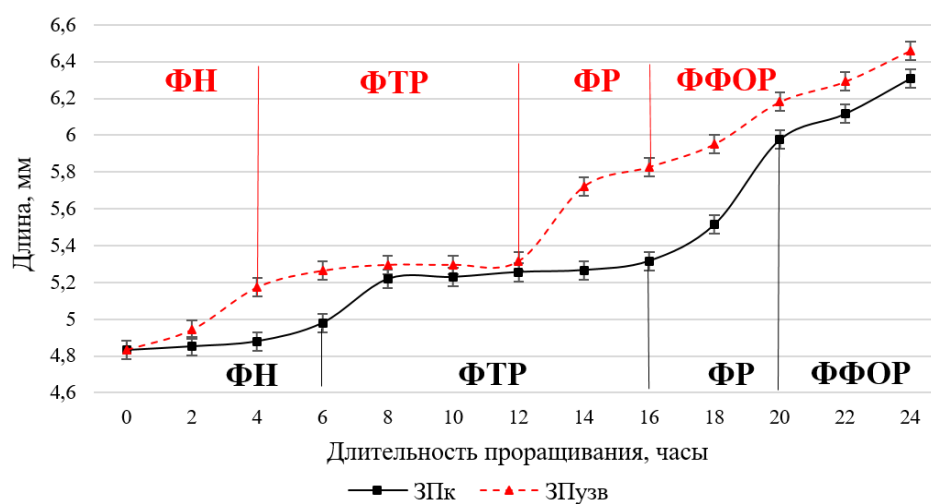
Для более точного фиксирования вышеописанных микрофенологических фаз контролируемого проращивания зерна пшеницы в рамках диссертационной работы был использован программный инструмент для фенотипирования зерна SeedCounter [276], с помощью которого возможно определить размерные характеристики каждого экземпляра зерна пшеницы из оцениваемой массы и получать массив данных для контроля процесса проращивания в полном объеме. Технология ведения исследования с использованием данного информационного продукта представлена в п. 2.2 работы.

Данная программа автоматической оценки фенотипических параметров зерна пшеницы (см. рисунок 5) использует библиотеку OpenCV для обработки изображений, позволяет оперативно и точно определить размерные характеристики исследуемых образцов, базируется на операционной платформе Android.

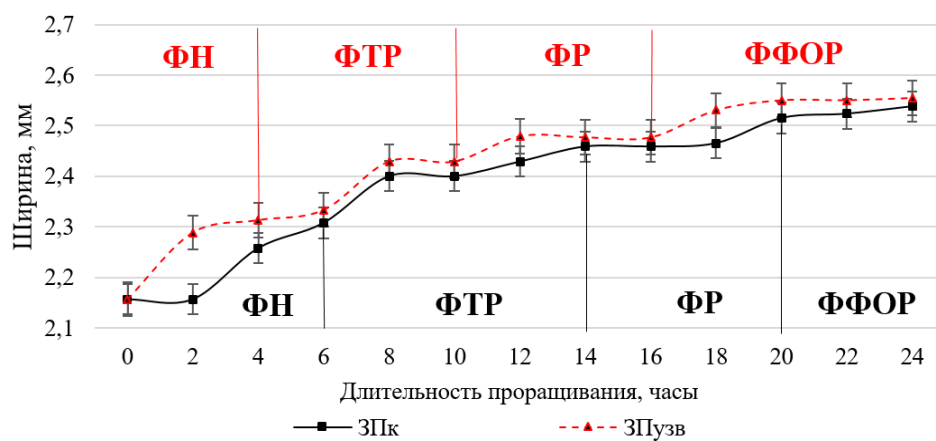
Все исследования проводили в пятикратной повторности. Коэффициенты корреляции между контрольными значениями показателя длины зерна пшеницы и ее оценкой программой SeedCounter во всех экспериментах были не ниже 0,79. Для показателя ширина зерна пшеницы этот параметр был меньше, но больше 0,76. Оба коэффициента корреляции были статистически значимыми при $p < 0,01$.

Результаты определения линейных размеров контрольных и опытных образцов зерна пшеницы при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм представлены на рисунке 41.

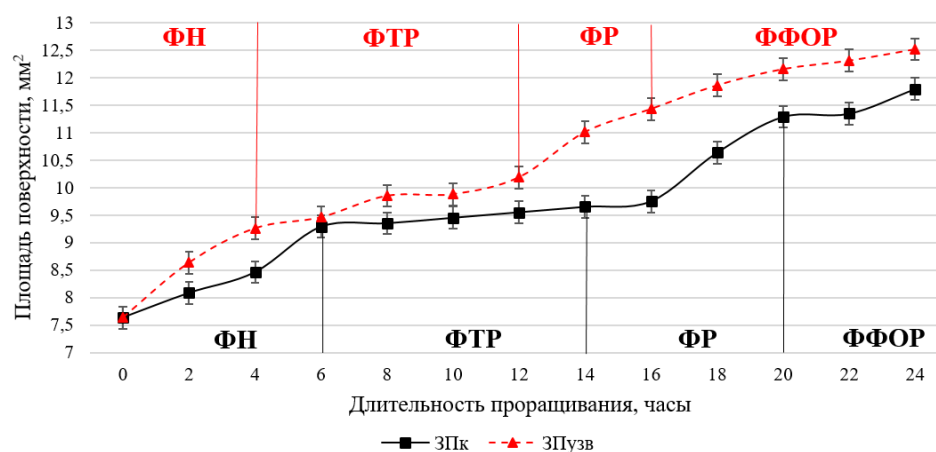
Результаты оценки размерных характеристик (длины, ширины и площади поверхности) при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм позволили оценить влияние УЗВ, используемого при замачивании зерна пшеницы, на интенсивность протекания процесса проращивания образцов. Так, для образцов ЗПуЗв через 4 ч проращивания за счет быстрой миграции влаги в центральные части зерна наблюдается увеличение длины и площади поверхности на $(8 \pm 0,9)$ и $(21 \pm 1,3)$ % соответственно, фиксируется ФН. Аналогичные изменения размерных характеристик в образцах ЗПк достигались только через 8 ч процесса проращивания.



a – длина зерна пшеницы, мм



b – ширина зерна пшеницы, мм



v – площадь поверхности, мм²

Рисунок 41 – Результаты изменения линейных размеров контрольных и опытных образцов зерна пшеницы при проращивании с учетом шкалы МФФ КПЗП для толщины слоя зерна пшеницы 10 мм

При дальнейшем проращивании в образцах ЗПузв (через 12 ч) и ЗПк (через 16 ч) значительных изменений длины и площади поверхности не наблюдается. На стадии ФТР происходит перераспределение влаги во внутренних частях зерна, активация ферментов, частичное осахаривание крахмала и гидролиз белка. Начинается процесс наклевывания ростка, что фиксируется приростом показателя ширины образцов ЗПузв и ЗПк.

По истечении 16 ч (начиная к (16 ± 1) ч) проращивания *образцы ЗПузв* значительно увеличивались в размерах, по длине зерна пшеницы достигли номинального значения прироста данного показателя $(20,6 \pm 0,3)$ %, наблюдались характеристики, фиксирующие ФР. Контрольные *образцы ЗПк* вступали в данную фазу менее интенсивно, и только к (20 ± 1) ч наблюдалось увеличение показателей длины (рисунок 41а) и площади поверхности (рисунок 41в) до заданной номинальной величины (прирост 20 %).

Контролирование изменений в состоянии зерна пшеницы в ФФОП показывало естественное увеличение показателей длины и площади поверхности зерна пшеницы, обусловленное развитием корневой системы и размеров ростка.

При формировании массива данных по показателю ширины зерна пшеницы (рисунок 41б) статистически значимых отличий на отдельных фазах для образцов ЗПк и ЗПузв обнаружено не было. Однако для образцов ЗПузв данный показатель имел выраженный прирост значений уже через 2 ч проращивания, и на протяжении всего процесса проращивания динамика сохранялась, тогда как для образцов ЗПк прирост показателя ширины зерна пшеницы наблюдался только через 6 ч.

Результаты экспериментальных исследований с учетом изменений показателя площади поверхности зерна, представленных на рисунке 42, позволяет сделать вывод, что увеличение толщины насыпного слоя зерна пшеницы при проращивании (20 и 30 мм) приводит к смещению во временном промежутке микрофенологических фаз для всех испытуемых образцов зерна пшеницы.

Анализ полученного массива экспериментальных данных позволил выявить наиболее выраженную динамику увеличения микрофенологических фаз для контрольных и опытных образцов зерна пшеницы (независимо от условий выдержки

гидро модуля) в среднем на $(2 \pm 0,5)$ ч, что нерентабельно с экономической точки зрения.

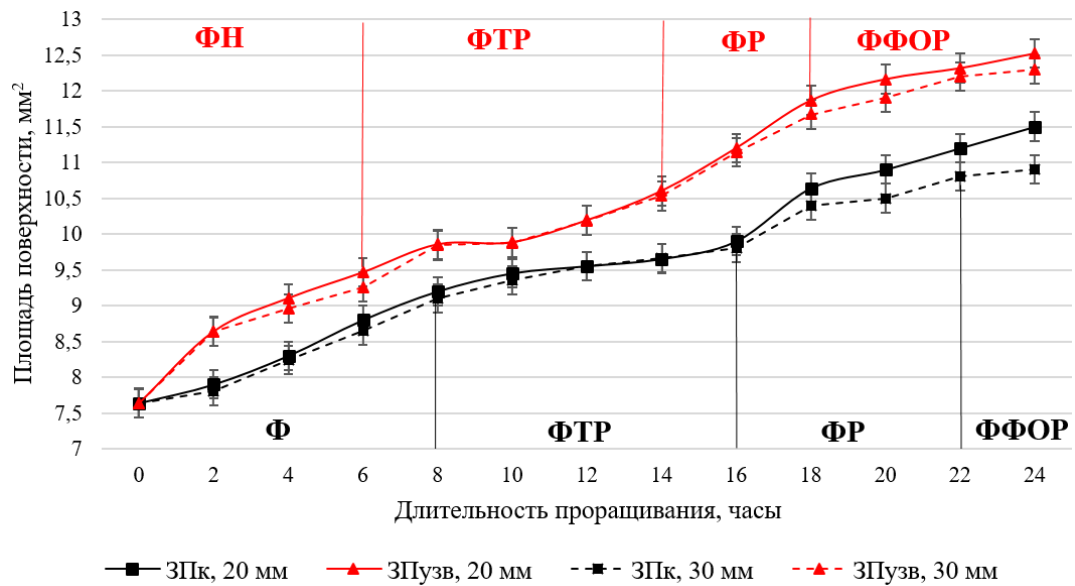


Рисунок 42 – Результаты изменения показателя площадь поверхности контрольных (ЗПк) и опытных (ЗПузв) образцов зерна пшеницы при проращивании с учетом шкалы МФФ КПЗП для толщины слоя зерна пшеницы 20 и 30 мм

Увеличение толщины насыпного слоя зерна пшеницы может обусловить возникновение дополнительных рисков активации остаточных количеств токсигенной микрофлоры, а также, в случае повторного обсеменения, ее интенсивного развития, тем самым создать условия для накопления в конечном продукте избыточного количества микотоксинов.

Описанная выше динамика сохранялась при определении показателя времени появления ростка зерна пшеницы (рисунок 43). У образцов ЗПузв при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм после 14 ч проращивания визуализировались ростки длиной около 1 мм более чем у (85 ± 4) % зерен, а через $(16 \pm 0,5)$ ч длина ростков составляла $(1,2 \pm 0,2)$ мм в среднем у $(95 \pm 2,5)$ % зерен, что свидетельствует о завершении процесса проращивания. Образцы ЗПузв готовы к высушиванию по влажности до уровня (12 ± 2) % для последующего размалывания с целью получения ЦСМПЗП.

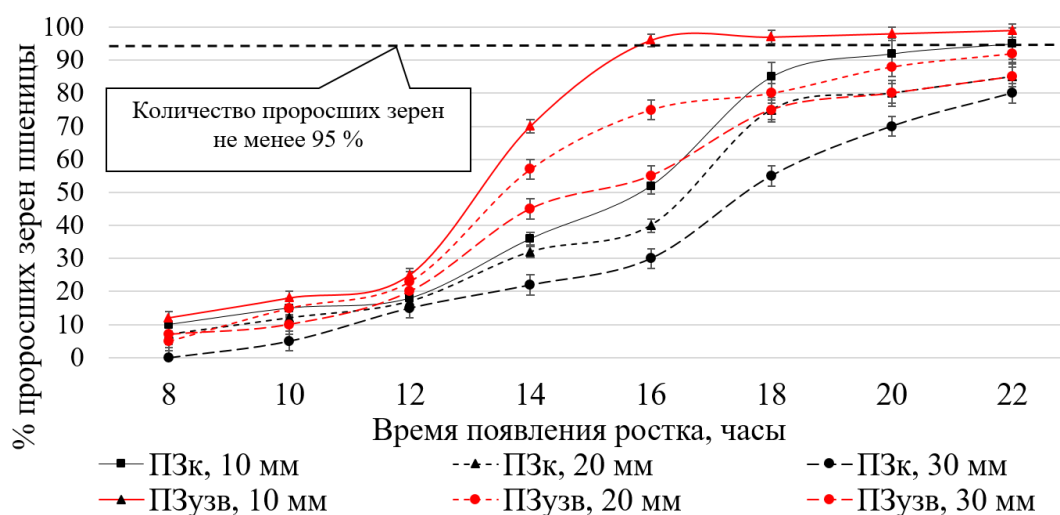


Рисунок 43 – Динамика изменения времени появления ростка при проращивании зерна пшеницы контрольных (ЗПк) и опытных образцов (ЗПуэв) в условиях варьирования толщины насыпного слоя зерна пшеницы (10; 20 и 30 мм)

На поверхности *образцов ЗПк* при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм визуализировались ростки у необходимого количества зерен ($95 \pm 1,8$) % через ($20 \pm 0,5$) ч, что свидетельствует о низкой скорости протекания процесса проращивания. При увеличении толщины насыпного слоя зерна пшеницы (20 и 30 мм) длительность процесса проращивания нарастает, и по истечении 22 ч как контрольные, так и опытные образцы не достигают номинальных значений процента проросших зерен (95 %). Поэтому наиболее приемлемым является ведение процесса проращивания при насыпной толщине 10 мм.

Обобщение экспериментальных данных об изменениях линейных размеров зерна пшеницы (длина, ширина и площадь поверхности) и скорости появления ростка позволяет сделать заключение о возможности их применения как объективных критериев в целях контроля процесса проращивания на основе программного продукта SeedCounter. Применение данных показателей может быть положено в основу установления начала ФТР и рекомендовано для использования в процессе контролируемого проращивания зерна пшеницы с целью обеспечения безопасности в случае активизации остаточного количества токсигенной микрофлоры и сохранения технологической пригодности получаемого сырьевого ингредиента.

Для установления технологической пригодности ПЗП для технологии ЦСМПЗП по завершении процесса проращивания была проведена комплексная оценка его качества по установленной номенклатуре показателей:

- число падения, усл. ед.;
- распределение форм связи воды в пророщенном зерне пшеницы.

По данным исследований С. Я. Корячкиной, В. Я. Черных, Н. Olaerts и ряда других ученых [17; 51; 64; 65; 108; 133; 134; 171; 334], процесс проращивания приводит к значительному снижению величины числа падения (далее – ЧП) зерна пшеницы, что связано с повышенной активностью фермента α -амилазы. Данный фермент считается одним из основных ограничивающих факторов для использования в производстве хлебобулочных изделий муки из пророщенного зерна пшеницы, α -амилаза способна гидролизовать молекулы крахмала, что приводит к резкому снижению вязкости теста, потере формоустойчивости изделий и получению липкого заминающегося мякиша [338]. При этом интенсивность снижения данного показателя косвенно свидетельствует о полноте протекания процесса проращивания и накоплении биологически активных веществ, что особо важно в рамках нашего исследования. Результаты определения динамики изменения ЧП контрольных и опытных образцов зерна пшеницы представлены на рисунке 44. Данные экспериментальных исследований были получены при толщине насыпного слоя зерна пшеницы 10 мм как наиболее эффективном параметре процесса.

Полученные результаты описывают снижение значений ЧП во время проращивания. Начальное значение данного показателя образцов ЗПк и ЗПуЗв составило (312 ± 14) ед., причем в процессе проращивания указанное значение многократно уменьшилось. УЗВ обеспечивает высокую скорость проращивания, значение ЧП для ЗПуЗв было минимальным $((65 \pm 3)$ ед.) по истечении 16 ч, тогда как для образцов ЗПк такая величина показателя ЧП наблюдалась только к 24 ч. Характер снижения значения ЧП для образцов ЗПуЗв демонстрирует обратную криволинейную зависимость между временем проращивания и значениями ЧП.

Изменения значений ЧП при проращивании могут быть описаны полиномиальным уравнением второго порядка с высокими коэффициентами определения,

особенно для образцов ЗПузв. Использование полиномиальных кривых позволит с высокой достоверностью определять ЧП зерна пшеницы и контролировать длительность проращивания в зависимости от целей дальнейшей переработки.

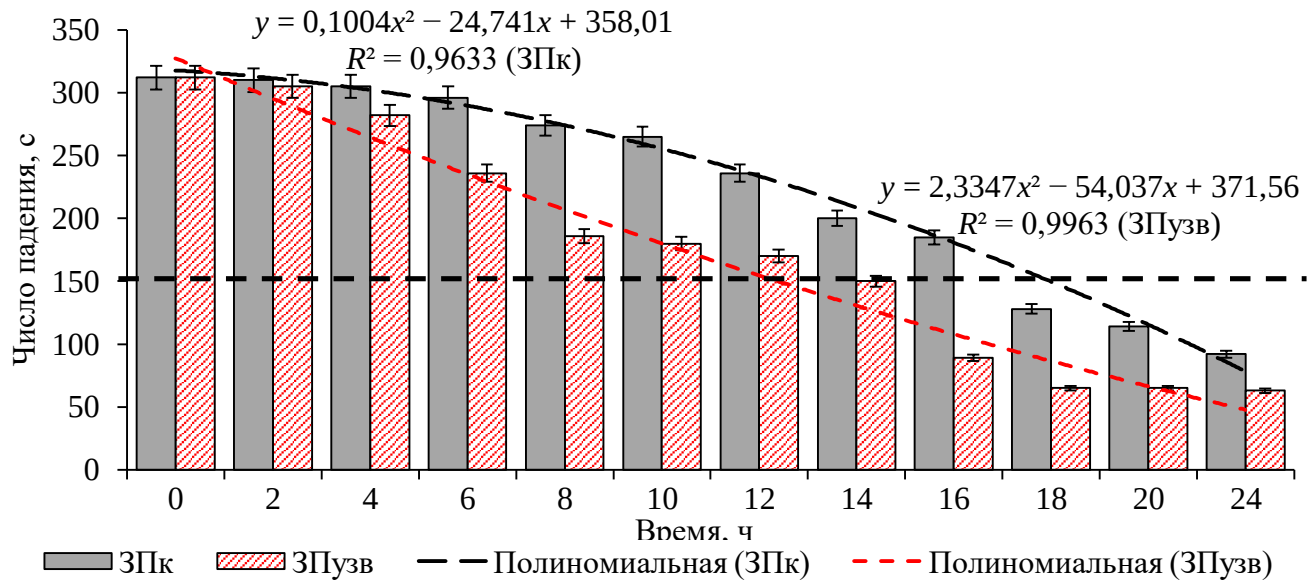
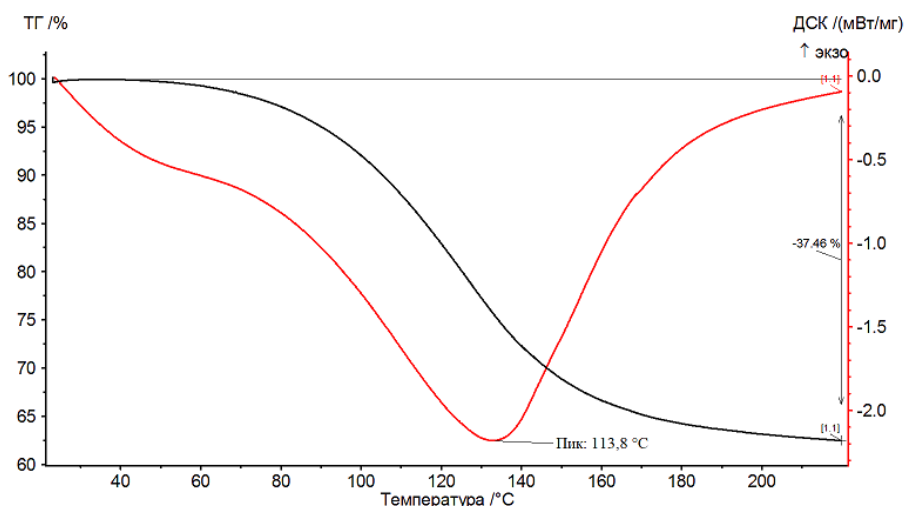


Рисунок 44 – Динамика изменения числа падения зерна пшеницы при проращивании контрольных (ЗПк) и опытных образцов (ЗПузв) (толщина насыпного слоя зерна пшеницы – 10 мм)

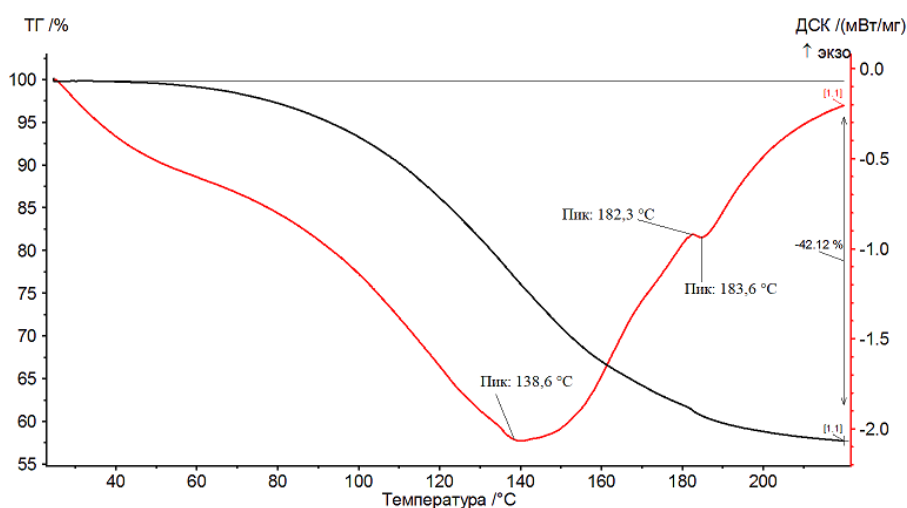
Исследование перераспределения форм связи воды в зерне пшеницы, происходящего в процессе его проращивания

Исследование распределения форм связи воды в контрольных и опытных образцах зерна пшеницы проводилось через 16 ч в протекания процесса проращивания. Данный временной период был выбран на основе обобщения массива усредненных значений достижения образцами ЗПузв номинальной величины показателей: линейные размеры зерна пшеницы и время появления ростка величиной $(1,2 \pm 0,2)$ мм.

Характерный вид кривых распределения ТГ/ДСК контрольных и опытных образцов, пророщенных в течение 16 ч при толщине насыпного слоя 10 мм, представлен на рисунке 45.



а – контрольные образцы



б – опытные образцы, полученные при использовании УЗВ

Рисунок 45 – Характерные виды кривых ТГ/ДСК исследуемых образцов зерна пшеницы после 16 ч проращивания

Для образцов ЗПк (рисунок 45*а*) характерно равномерное испарение влаги в течение всего периода высушивания, о чем свидетельствует характер кривой ДСК, которая имеет один эндотермический пик (при температуре $(113,8 \pm 1,6) ^\circ\text{C}$). Тогда как у образцов ЗПуЗВ (рисунок 45*б*) после 16 ч проращивания на кривой ДСК присутствуют два эндотермических (при температуре $(138,6 \pm 1,9)$ и $(183,6 \pm 1,6) ^\circ\text{C}$) и один экзотермический пик (при температуре $(182,3 \pm 1,2) ^\circ\text{C}$), что характерно для интенсивного фазового перехода в газообразное состояние моноадсорбционной влаги в образце [316].

Кривые ТГ контрольных и опытных образцов были тождественны, но различались величиной температурных зон, соответствующих испарению воды с различной энергией связи. Усредненные результаты определения изменения форм связи воды в исследуемых образцах ЗПк и ЗПузв при проращивании в течение 16 ч, обработанные с помощью математической модели кусочно-линейной функции, описанной в п. 2.2 работы, представлены на рисунке 46.

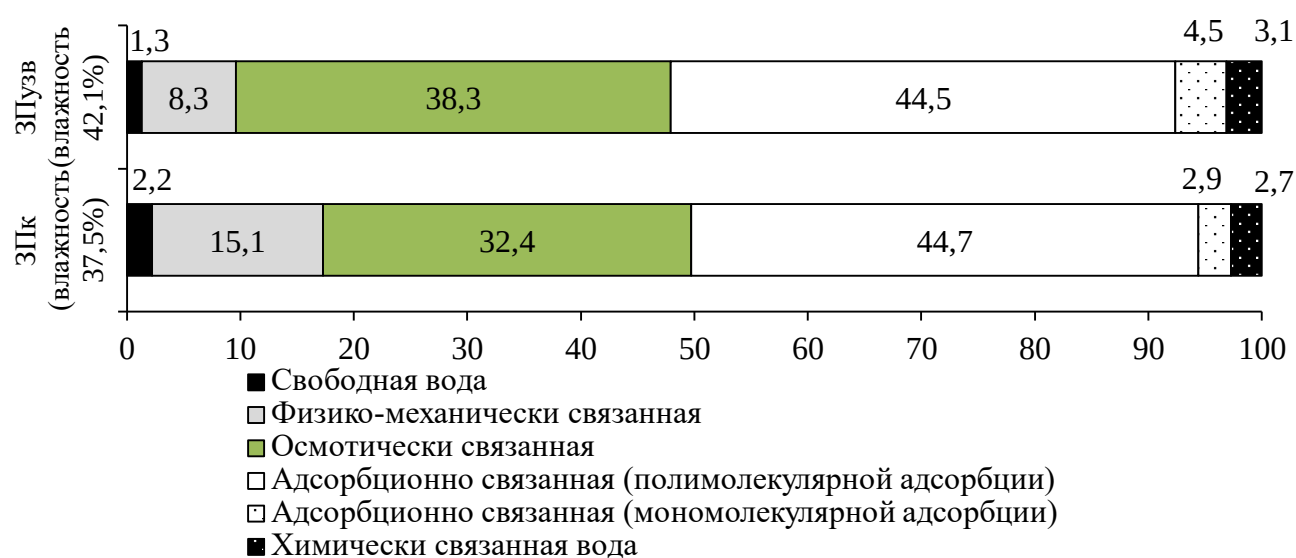


Рисунок 46 – Усредненные результаты определения изменения форм связи воды в контрольных (ЗПк) и опытных (ЗПузв) образцах зерна пшеницы после проращивания в течение 16 ч

Анализ полученных данных позволяет сделать заключение, что в образцах ЗПузв в процессе проращивания происходит перераспределение влаги между моно- и поли адсорбционным слоем, их величина составляет в среднем $(4,5 \pm 0,3)$ и $(44,5 \pm 0,6)$ % соответственно, увеличивается количество осмотической воды (в среднем $(38,3 \pm 0,4)$ %) за счет физико-механически связанной, что обусловлено набуханием белков и интенсивным процессом проращивания зерна [28; 162]. Процесс поглощения воды образцов ЗПузв при проращивании практически не происходит, прирост показателя влажности составил в среднем $(1,5 \pm 0,5)$ %.

Для контрольных образцов ЗПк характерно наличие большого количества физико-механически связанной воды (в среднем $(15,1 \pm 0,3)$ %), что свидетель-

ствует о ее удерживании плодовыми и семенными слоями оболочек зерна. Можно отметить присутствие большого количества осмотически и полиадсорбционно связанной влаги (в среднем $(32,4 \pm 0,5)$ и $(44,7 \pm 0,4)$ % соответственно), что свидетельствует о наличии набухшей белковой матрицы образцов ЗПк [28; 50; 162].

Установление рациональных параметров для ведения процесса проращивания позволит смоделировать технологические условия получения ЦСМПЗП в случае вариативности отдельных элементов системы. Для установления рациональных режимов, определяющих длительность процесса проращивания зерна пшеницы, использовали функции желательности, на основе которых рассчитывался обобщенный критерий оптимальности.

Моделирование процесса проращивания зерна пшеницы в условиях вариативности входных параметров

Описанные выше технологии проращивания зерна пшеницы после предварительного обеззараживания ХПИ, использования УЗВ и замачивания в соотношении гидромодуля 1:1 в течение $(7,6 \pm 0,4)$ ч не позволяют в полной мере гарантировать качество конечного продукта с установленными технологическими свойствами. Для этих целей была проведена математическая обработка массива полученных экспериментальных данных, характеризующих ведение процесса проращивания образцов ЗПк и ЗПузв, а в качестве контролируемых параметров определены следующие показатели:

- длина зерна l , мм;
- площадь поверхности зерна S , мм²;
- скорость появления ростка Pr , ч;
- число падения Np , с.

В качестве входных параметров для обработки данных применены:

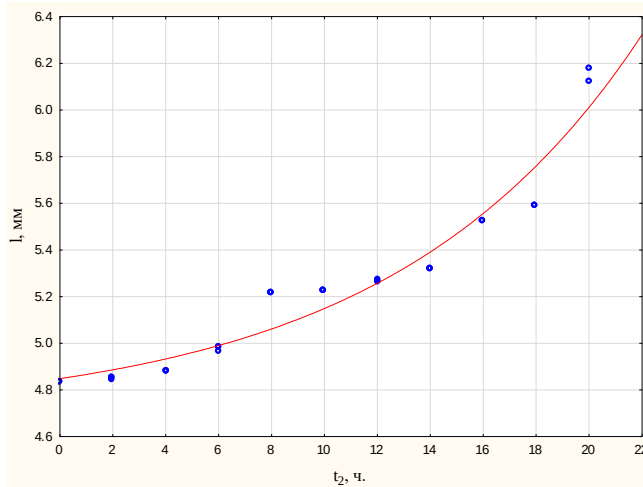
- длительность проращивания t_2 ;
- толщина слоя зерна пшеницы при проращивании.

В ходе математической обработки данных для образцов ЗПк была установлена корреляционная зависимость между показателями l , S , Pr и Np :

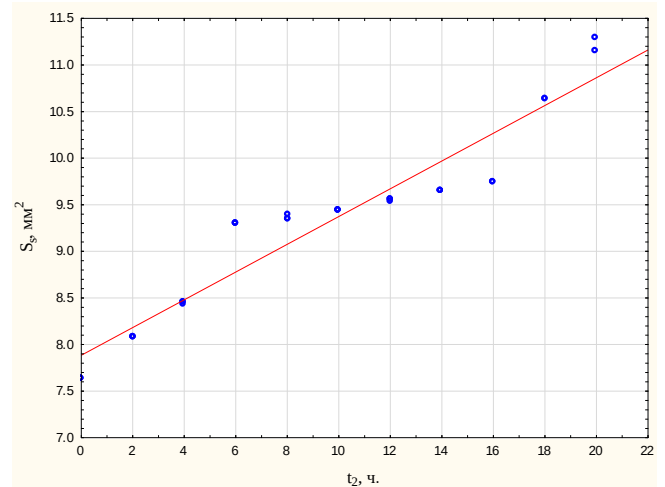
- между показателями l и S коэффициент корреляции составил 0,92;

- между показателями l и Pr коэффициент корреляции составил 0,87;
- между показателями l и Np коэффициент корреляции составил 0,91;
- между показателями S и Pr коэффициент корреляции составил 0,76;
- между показателями S и Np коэффициент корреляции составил 0,80;
- между показателями Pr и Np коэффициент корреляции составил 0,93.

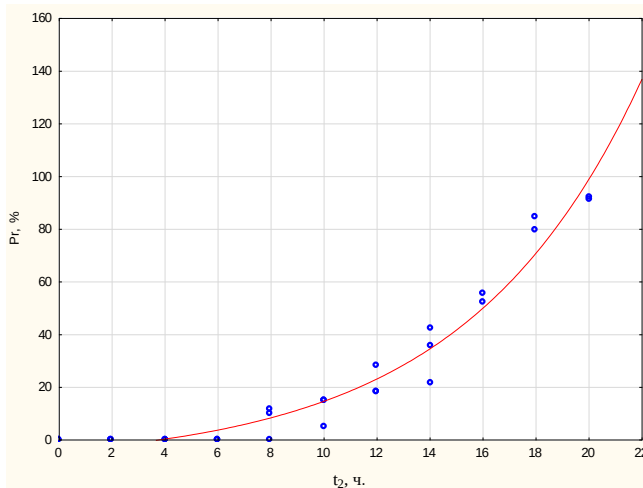
Установленные коэффициенты корреляции свидетельствуют о сильной положительной зависимости между указанными показателями.



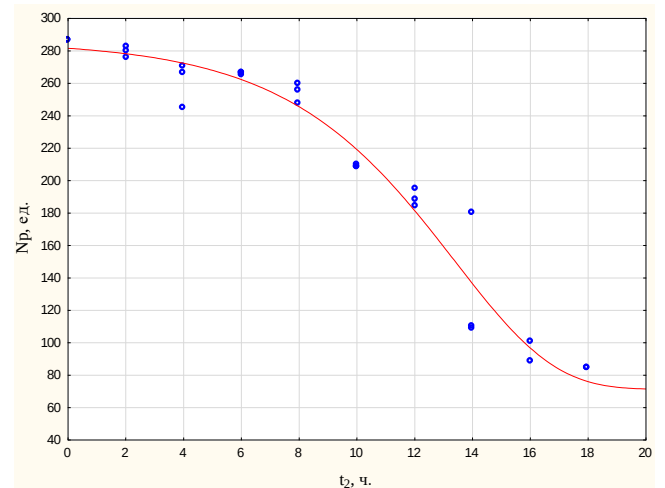
a – для показателя длины зерна, мм



b – для показателя площади поверхности зерна, мм



v – для показателя скорости появления ростка, ч



z – для показателя числа падения, с

Рисунок 47 – Зависимость показателей l , S , Pr и Np от длительности t_2 процесса проращивания контрольных образцов (ЗПк)

Длина зерна l экспоненциально связана с длительностью проращивания t_2 (рисунок 47а) и описывается уравнением

$$l = 4,687 + 0,1609 \exp(0,1054 t_2) \quad (R_k = 0,968; St. err. = 0,092). \quad (40)$$

Площадь поверхности зерна S (рисунок 47б) почти линейно зависит от длительности проращивания, уравнение зависимости имеет вид

$$S = 7,885 + 0,1489 t_2 \quad (R_k = 0,954; St. err. = 0,29). \quad (41)$$

Появление ростка Pr (рисунок 47в) экспоненциально зависит от длительности проращивания и описывается уравнением

$$Pr = -9,5 + 5,4 \exp(0,150 t_2) \quad (R_k = 0,981; St. err. = 6,1). \quad (42)$$

Уравнение зависимости числа падения Np (рисунок 47г) от длительности проращивания имеет вид

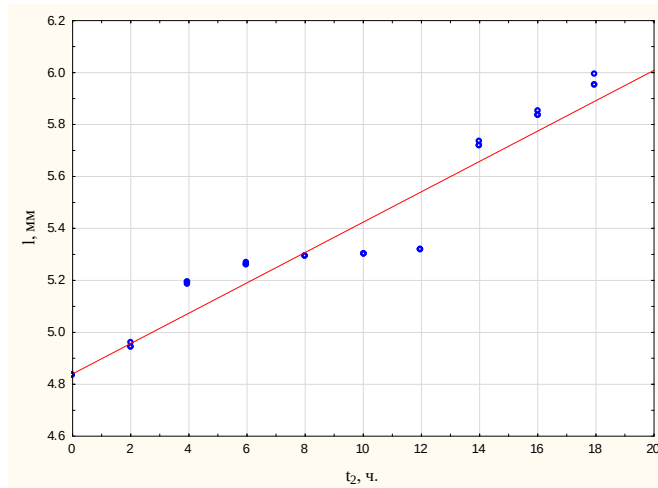
$$Np = 71,3 + 215 \exp(-\exp(-3,89 + 0,290 t_2)) \quad (R_k = 0,983; St. err. = 15). \quad (43)$$

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что увеличение толщины слоя замедляет интенсивность проращивания, поэтому целесообразно вести данный процесс при минимально возможном значении.

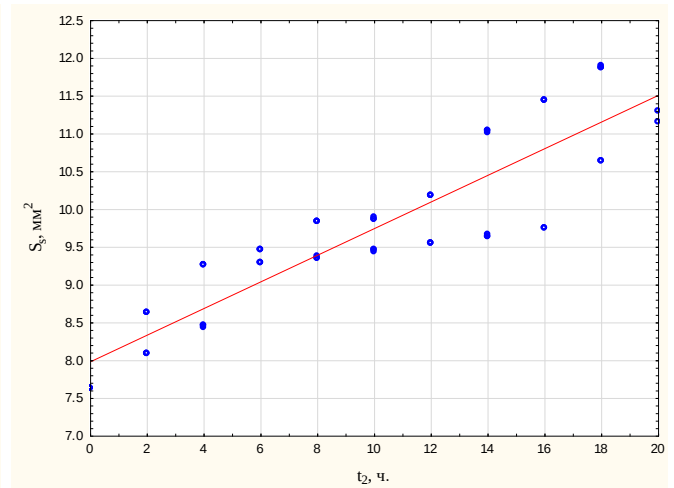
В ходе математической обработки данных для образцов 3Пузв была установлена корреляционная зависимость между показателями l , S , Pr и Np :

- между показателями l и S коэффициент корреляции составил 0,98;
- между показателями l и Pr коэффициент корреляции составил 0,92;
- между показателями l и Np коэффициент корреляции составил 0,93;
- между показателями S и Pr коэффициент корреляции составил 0,87;
- между показателями S и Np коэффициент корреляции составил 0,94;
- между показателями Pr и Np коэффициент корреляции составил 0,90.

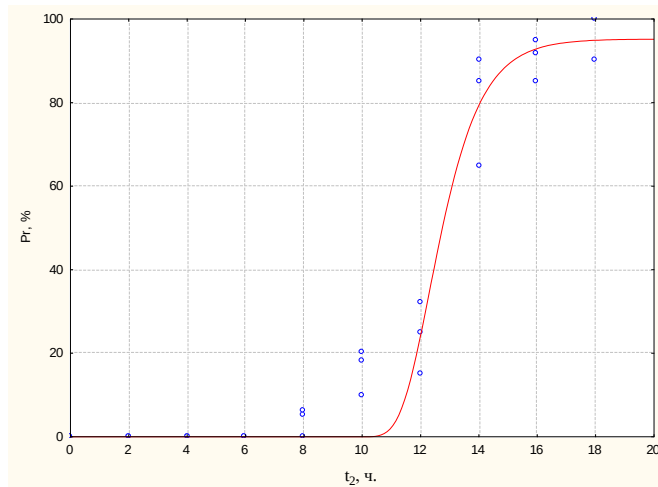
Установленные коэффициенты корреляции так же, как и для образцов ЗПк, свидетельствуют о сильной положительной зависимости между указанными показателями.



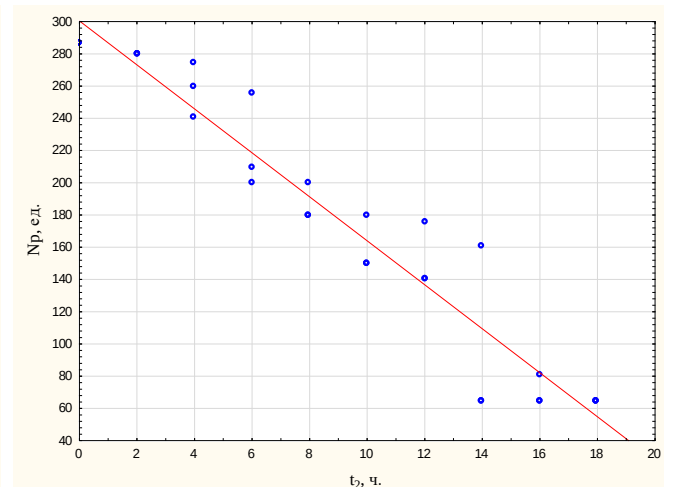
a – для показателя длины зерна, мм



б – для показателя площади поверхности зерна, мм м



в – для показателя скорости появления ростка, ч



г – для показателя числа падения, с

Рисунок 48 – Зависимость показателей l , S , Pr и Nr от длительности t_2 процесса проращивания опытных образцов (ЗПуэв)

В отличие от процесса проращивания образцов ЗПк, описываемого уравнением (40), длина зерна почти линейно зависит от длительности проращивания (рисунок 48а), при этом уравнение зависимости имеет вид

$$l = 4,840 + 0,0585t_2 \quad (R_k = 0,960; St. err. = 0,1). \quad (44)$$

Зависимость площади поверхности образцов ЗПузв от длительности проращивания (рисунок 48б) описывается линейным уравнением, которое имеет вид

$$S = 8,046 + 0,2089t_2 \quad (R_k = 0,980; St. err. = 0,25). \quad (45)$$

Сопоставление коэффициентов перед временем проращивания показывает, что скорость увеличения площади поверхности образцов ЗПузв возрастает в 1,4 раза по сравнению с образцами ЗПк.

Скорость появления ростка образцов ЗПузв (рисунок 48в) сокращается на (5 ± 1) ч. Также необходимо отметить, что снижение толщины насыпного слоя положительно сказывается на появлении ростка. Зависимость описывается уравнением функции желательности с дополнительным множителем:

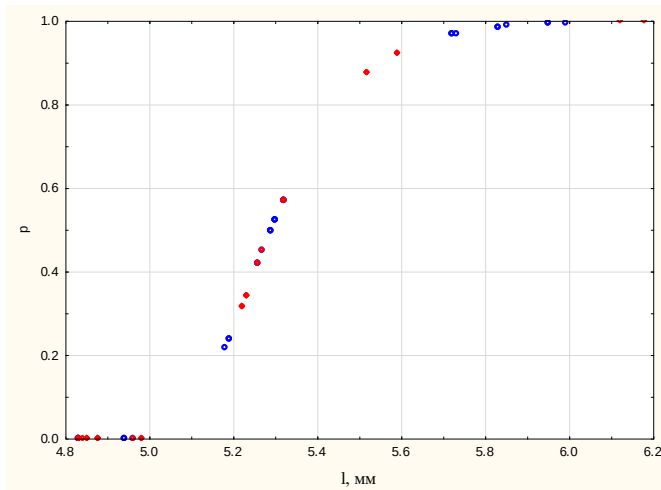
$$Pr = 95 \exp(-\exp(12,4 - 1,01t_2)) \quad (R_k = 0,983; St. err. = 7,5). \quad (46)$$

В отличие от образцов ЗПк, при проращивании образцов ЗПузв наблюдается практически линейная зависимость числа падения (рисунок 48г) от длительности процесса, описываемая уравнением

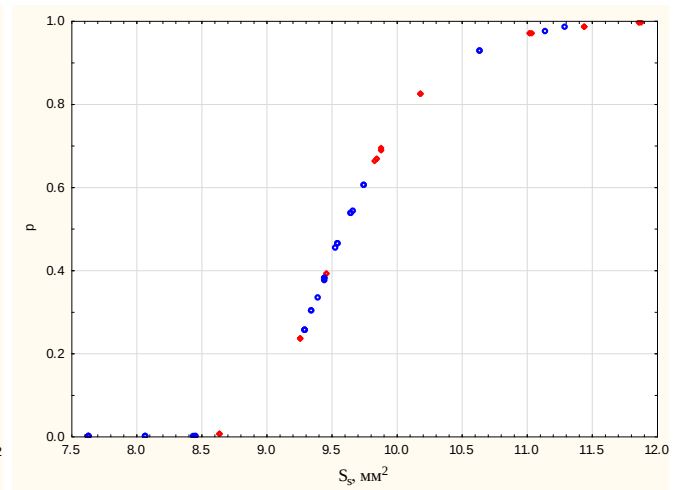
$$Np = 300,4 - 13,65t_2 \quad (R_k = 0,965; St. err. = 22). \quad (47)$$

Для определения оптимальной длительности проращивания исследуемых образцов зерна пшеницы с учетом совокупности оцениваемых показателей были построены функции желательности для каждого из показателей (рисунок 49).

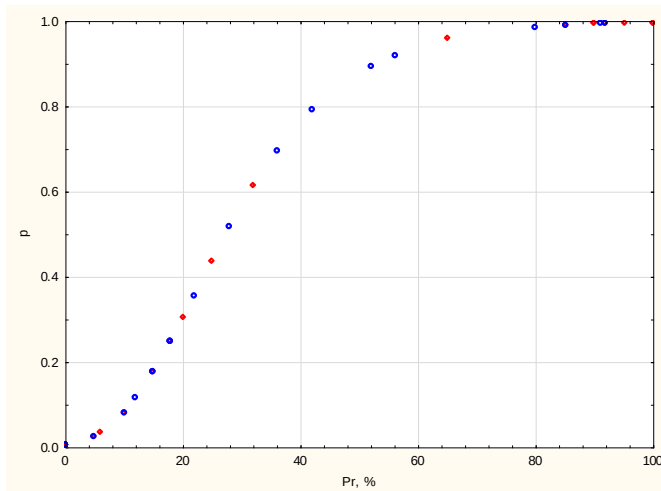
Коэффициенты функции желательности: длина зерна: $a = 37,8931$, $b = -7,2324$; площадь поверхности зерна пшеницы $a = 20,4629$, $b = -2,1697$; появление ростка у зерна пшеницы: $a = 1,6642$, $b = -0,07439$; число падения: $a = -5,4913$, $b = 0,03879$; длительность проращивания зерна пшеницы $a = 0,4339$, $b = -6,9191$.



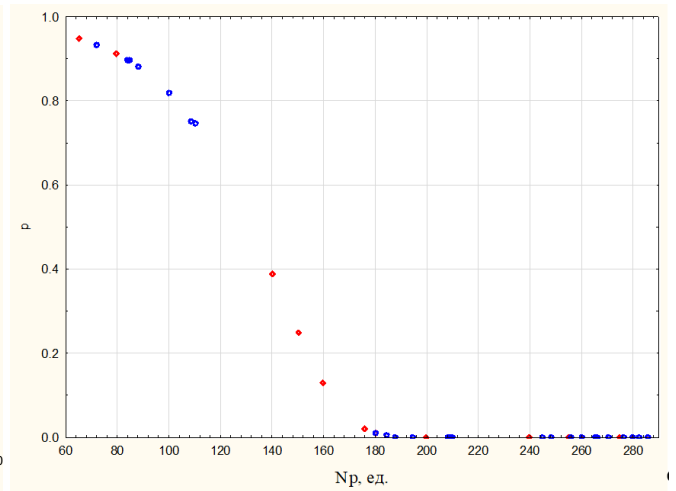
a – для показателя длины зерна, мм



б – для показателя площади поверхности зерна, мм



в – для показателя скорости появления ростка, ч



г – для показателя числа падения, с

Рисунок 49 – Функции желательности показателей l , S , Pr и Nr от длительности ведения процесса проращивания опытных образцов (ЗПузв), обозначенных красным цветом, и контрольных образцов (ЗПк), обозначенных синим цветом

Внешний вид зависимости обобщенного критерия оптимальности представлен на рисунке 50.

Обобщенный критерий оптимальности для образцов ЗПузв практически равен 0 до длительности проращивания 6 ч, что обусловлено низкими значениями l , S и Pr ; затем данный показатель резко возрастает, наибольшие значения 0,896 (для толщины слоя как 10 мм, так и 20 мм) наблюдаются в образцах с длительно-

стью проращивания 14 ч. Затем обобщенный критерий оптимальности понижается вследствие избыточной длительности проращивания. Образцы, проращиваемые при толщине слоя 30 мм, на участке 8–14 ч резко уступают всем прочим.

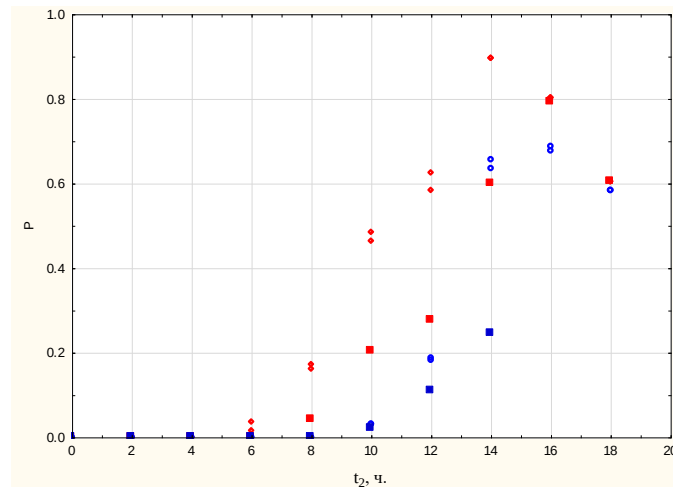


Рисунок 50 – Обобщенный критерий оптимальности в зависимости от длительности процесса замачивания опытных образцов (ЗПузв), обозначенных красным цветом, и контрольных образцов (ЗПк), обозначенных синим цветом (квадратами обозначены данные экспериментов с толщиной слоя 30 мм)

Для определения точки максимума была проведена аппроксимация значений функции квадратным уравнением в районе максимума ($P > 0,1$), за исключением экспериментов с толщиной слоя 30 мм. Полученное уравнение имеет вид

$$P = -2,46 + 0,447t_2 - 0,0153t_2^2 \quad (R_k = 0,968; St.err. = 0,068). \quad (48)$$

Максимум этой функции наблюдается *при* $(14,6 \pm 0,8)$ ч.

Для образцов ЗПк обобщенный критерий оптимальности принимает практически нулевое значение более 8 ч (из-за низких значений показателей l , S , Pr и Np), затем резко возрастает до значений 0,675 (толщина слоя 10 мм) и 0,689 (толщина слоя 20 мм) при длительности проращивания 16 ч. Такое время обусловлено слишком большой, с точки зрения функции желательности, длительностью проращивания, гораздо большей, чем необходимо для образцов ЗПузв, при этом даже через 16 ч не достигаются достаточные значения откликов всех показа-

телей. Для определения оптимального времени проращивания образцов ЗПк было построено квадратное уравнение, аппроксимирующее обобщенный критерий оптимальности в районе максимума ($P > 0,1$):

$$P = -8,10 + 1,11t_2 - 0,0350t_1^2 \quad (R_k = 0,987; St. err. = 0,041). \quad (49)$$

Максимум обобщенного критерия оптимальности для образцов ЗПк составил $(15,9 \pm 1,6)$ ч, что на 9 % больше значений образцов ЗПузв.

Следовательно, применяемые *режимы ведения процесса проращивания для образцов ЗПк* $((15,9 \pm 1,6)$ ч) и *образцов ЗПузв* $((14,6 \pm 0,8)$ ч) позволяют достичь прорастания зерновой массы и осуществлять следующий этап в технологии получения ЦСМПЗП – процесс высушивания ПЗП.

Учитывая физический смысл величин и фактически возможное регулирование длительности процесса проращивания в промышленном производстве, в качестве рациональных режимов продолжительности процесса были определены:

- для образцов ЗПк – 16 ч;
- для образцов ЗПузв – 14 ч 30 мин.

На основании проведенного анализа массива экспериментальных данных можно сделать заключение, что получение безопасного конечного продукта переработки зерна пшеницы со стабильными качественными и технологическими характеристиками возможно только при контролируемом процессе замачивания и проращивания. Процесс получения ПЗП является сложным и зависит от большого количества внешних и внутренних факторов (длительности процессов замачивания и проращивания, значения гидромодуля зерна и воды, толщины насыпного слоя зерна пшеницы), а также используемых технологических воздействий (ХПИ и УЗВ).

На основе систематизации полученных экспериментальных и расчетных данных была разработана технология процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы согласно заявленным ранее этапам (рисунок 51). Указанные параметры были получены в ходе математического моделирования с учетом входных параметров и изменчивости отдельных свойств сырья.



Рисунок 51 – Технология получения пророщенного зерна пшеницы для цельносмолотой муки

Указанные параметры были получены в ходе математического моделирования с учетом входных параметров и изменчивости отдельных свойств сырья.

4.2 Практические аспекты получения сырьевого ингредиента на основе цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы для хлебобулочных изделий

Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП) является сырьевым ингредиентом, популярность которого в производстве хлебобулочных изделий неуклонно растет. Получение данного сырьевого ингредиента позволяет в полной мере реализовать технологические приемы, направленные на снижение продовольственных потерь при производстве пищевых продуктов повышенной пищевой ценности.

Рассматривая пророщенное зерно пшеницы (ПЗП) как основное сырье для получения цельносмолотой муки (ЦСМ), важно учитывать, что все его анатомические части, включая плодовые и семенные оболочки, а также зародыш, в процессе помола переходят в состав сырьевого ингредиента, тем самым формируется продукт с высокой пищевой ценностью. С одной стороны, данные компоненты обеспечивают высокую полезность ПЗП за счет сбалансированности аминокислотного состава, присутствия легкоусвояемых углеводов, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ, а также биологически активных компонентов. С другой стороны, анатомические части зерна пшеницы (плодовые и семенные оболочки, алейроновый слой, зародыш и др.), имея разный состав и анатомическое строение, обладают разнородными характеристиками (твердость, плотность и др.), что следует учитывать при помоле. Различная структура и свойства частей зерна в процессе разового односортового помола могут привести к получению сырьевого ингредиента не выравненного по гранулометрическому составу, что в конечном счете повлияет на реологические свойства теста и потребительские характеристики хлебобулочных изделий [10; 18; 21; 24; 32; 317].

В связи с этим основной задачей данного этапа исследований являлась оценка ЦСМПЗП с точки зрения возможности встраивания сырьевого ингредиента в систему конечного продукта – хлебобулочных изделий с целью улучшения их потребительских свойств и обеспечения стабильно высокого качества.

Применение ЦСМПЗП для производства хлебобулочных изделий может привести к изменениям их структурных и сенсорных свойств, сделать неприемлемыми для потребителя, в основном за счет присутствия грубых частиц сырья, излишне липкого мякиша, неравномерной пористости и др. Поэтому важно получить сырьевой ингредиент, максимально приближенный по свойствам к сортовой муке, что в дальнейшем позволит ему полноценно встроиться в систему конечного продукта при сохранении высоких потребительских достоинств изделий.

Объектами исследования для реализации поставленной задачи были определены образцы:

– контрольные образцы – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (далее – МПХ), производитель – ООО «Объединение „Союзпищепром“», г. Челябинск.

– опытные образцы ЦСМПЗП – цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы, полученная согласно технологии, описанной в п. 4.1.1 и 4.1.2 и представленной на рисунке 52.

ЦСМПЗП получали односортным помолом без отбора отрубей согласно Правилами организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах.

Технология получения безопасного сырьевого ингредиента – ЦСМПЗП характеризуется последовательностью выполнения ряда обязательных технологических операций, графическое изображение которых представлено на рисунке 52.

Технология получения ЦСМПЗП учитывает сохранение всех структурных элементов ПЗП, поэтому были исключены следующие операции: гидротермическая обработка, драной, ситовеечный и шлифовочный процессы.

В целях установления совместимости ЦСМПЗП с основным сырьем (в нашем случае – мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта) в технологии хлебобулочных изделий исследуемые образцы муки (контрольные и опытные) оценивали по следующей номенклатуре показателей:

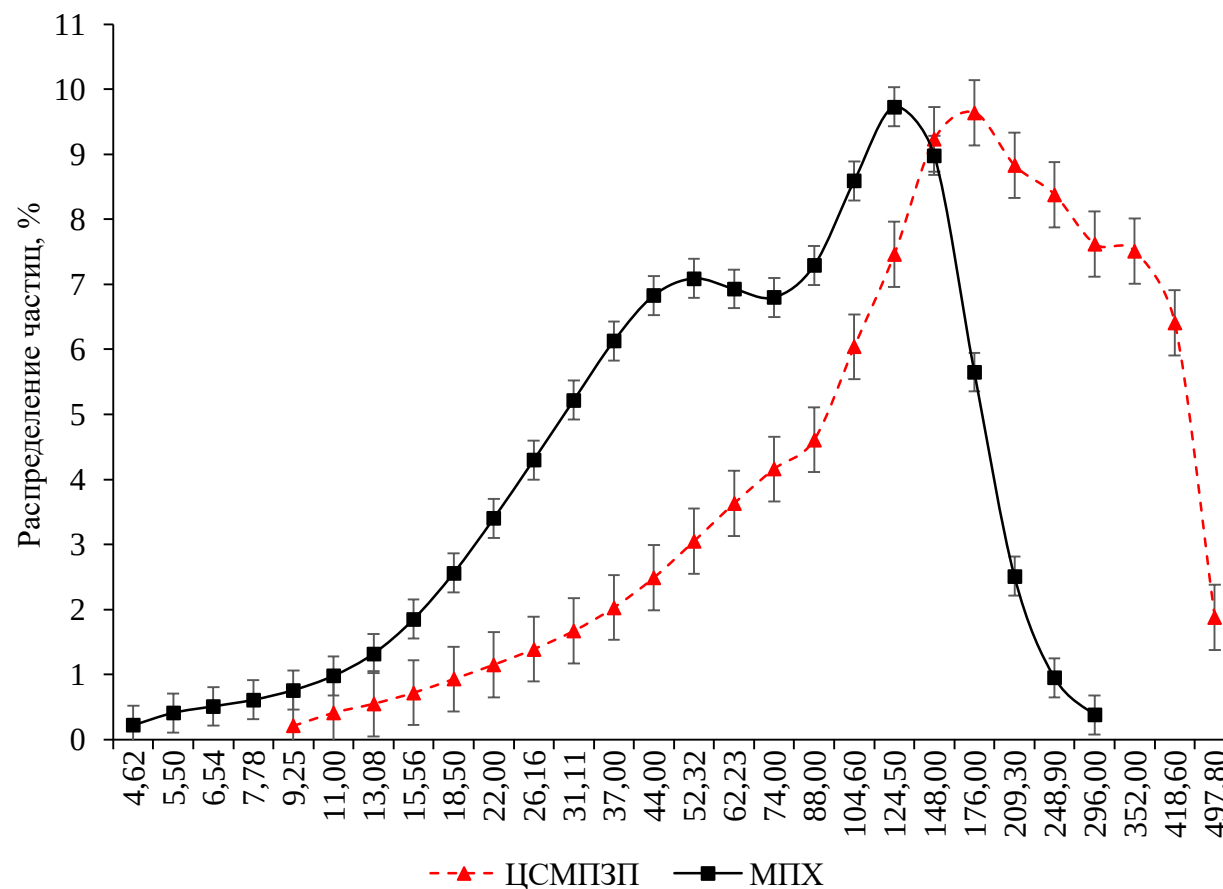
– гранулометрический состав по двум параметрам: размер частиц муки, мкм, и распределение частиц муки по размерному ряду, %;

– микроструктурная характеристика образцов муки с использованием СЭМ (Jeol JEM-2100) при трех вариантах увеличения: $\times 250$, $\times 2000$, $\times 1500$.

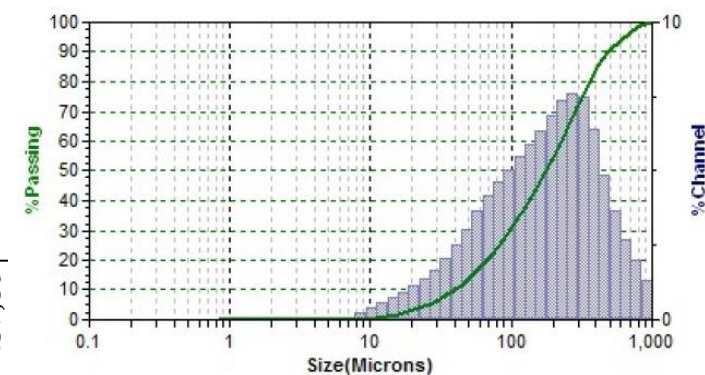
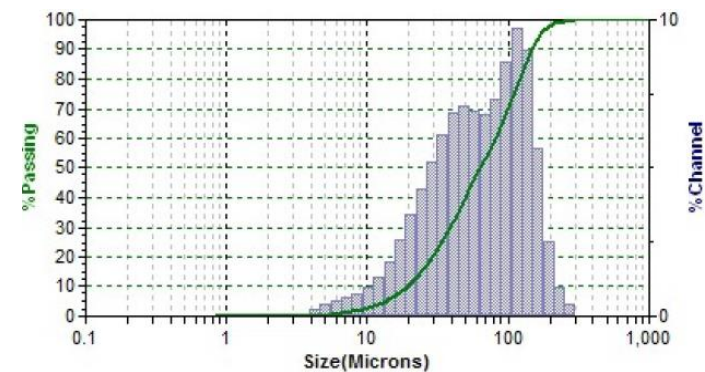
Для установления гранулометрических характеристик контрольных и опытных образцов муки применялся метод лазерного динамического светорассеяния (по методике ААСС 55-40.01), используемый в мировой практике при оценке продукции зерномучной индустрии, который в сочетании с методом СЭМ позволяет получить объективные характеристики состояния дисперсии системы продукта. Результаты исследований представлены ниже на рисунках 53, 54.



Рисунок 52 – Графическое изображение технологии получения ЦСМПЗП



a – данные, полученные при обработке результатов методом лазерного динамического светорассеяния (*Microtrac S3500*)



б – характерный вид результатов гранулометрического состава частиц муки по методу AACC 55-40.01

Рисунок 53 – Результаты распределения частиц в контрольных и опытных образцах муки

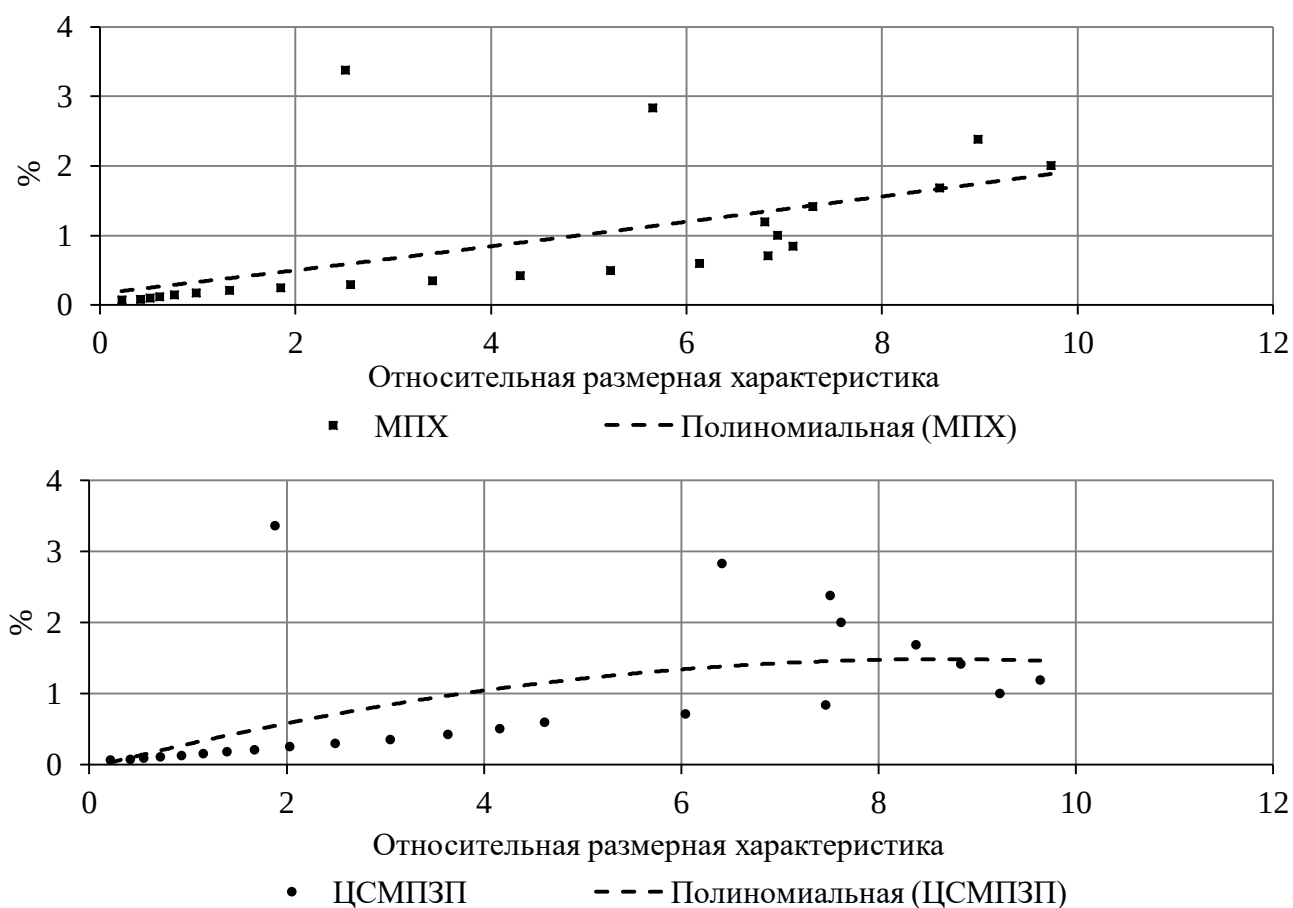


Рисунок 54 – Результаты расчета относительных размерных характеристик частиц опытных и контрольных образцов МПХ и ЦСМПЗП

Анализ полученных данных позволяет говорить о хорошей сходимости значений показателей гранулометрического состава образцов МПХ и ЦСМПЗП.

В ходе исследований установлено, что *образцы МПХ* характеризуются достаточно равномерной дисперсией, свойственной для муки пшеничной хлебопекарной первого сорта. Частицы имеют следующие размеры в количественном соотношении:

- менее 52 мкм – $(42 \pm 5) \%$;
- от 53 до 209 мкм – $(54 \pm 3) \%$;
- от 210 до 296 мкм – $(4 \pm 0,5) \%$.

Образцы ЦСМПЗП имеют более разнородный гранулометрический состав:

- менее 52 мкм – $(12 \pm 4) \%$;
- от 53 до 209 мкм – $(56 \pm 3) \%$;

– от 210 до 296 мкм – $(17 \pm 3) \%$;

– от 297 до 497 – $(15 \pm 3) \%$.

Представленный гранулометрический состав позволяет отметить наибольшую сходимость в трех размерных рядах частиц: менее 52 мкм (МПХ – $(42 \pm 5) \%$; ЦСМПЗП – $(12 \pm 4) \%$); от 53 до 209 мкм (МПХ – $(54 \pm 3) \%$; ЦСМПЗП – $56 \pm 3 \%$) и от 210 до 296 мкм (МПХ – $(4 \pm 0,5) \%$; ЦСМПЗП – $(17 \pm 3) \%$). Следовательно, установленные данные характеризуют ЦСМПЗП как сырьевой ингредиент, который будет обладать хорошими хлебопекарными свойствами [9; 169; 171], что подтверждает возможность его использования при производстве хлебобулочных изделий.

По нашему мнению, идентификация в образцах ЦСМПЗП частиц размером более 296 мкм (в количестве $(15 \pm 3) \%$) связана с фракцией плодовых и семенных оболочек, алейроновым слоем и другими структурными элементами ПЗП. Данные фрагменты структурных элементов зерна обогащают ЦСМПЗП пищевыми волокнами, витаминами и минеральными веществами и в дальнейшем обеспечивают формирование вкусоароматических характеристик готового продукта. При проведении последующих экспериментальных исследований, направленных на изучение реологических свойств теста и потребительских характеристик готовых изделий, негативного влияния данных фракций в массе ЦСМПЗП установлено не было.

Массив данных, полученных в ходе определения гранулометрического состава ЦСМПЗП, малоприменим для практического использования. В связи с этим для оперативного обоснования возможности использования ЦСМПЗП в технологии хлебобулочных изделий был применен метод оценки дисперсии ингредиента, основанный на определении медианы средневзвешенного размера частиц муки. Полученные в ходе определения значения медианы объективно характеризуют гранулометрический состав: для образцов МПХ значение медианы составляет (86 ± 15) мкм, а для образцов ЦСМПЗП – (170 ± 15) мкм.

В целях установления оптимальности полученных значений медианы для применения ЦСМПЗП в технологии хлебобулочных изделий были проведены рекогносцировочные исследования для других значений медианы при изменении

условий помола. Полученные в ходе исследований данные доказали, что увеличение значения медианы до 200–250 мкм (при более грубом помоле ПЗП) сопровождается резким повышением разнородности размера частиц, выделением отдельных крупных элементов ПЗП, которые определяют снижение водопоглощающей способностью сырьевого ингредиента, что затрудняет процесс тестоведения. При этом снижение значений средневзвешенного размера частиц образцов ЦСМПЗП до 80–100 мкм (при тонком помоле ПЗП), вследствие повреждения зерен крахмала, приводит к повышению водопоглотительной способности ЦСМПЗП; тесто, полученное с использованием такой муки, приобретало липкую консистенцию, в готовых изделиях наблюдался дефект заминающегося мякиша.

Дополнительно для подтверждения оптимальности установленных ранее значений медиан был использован расчет относительной размерной характеристики [9], выраженной через отношение истинного размера частиц к медиане данного распределения (рисунок 54) для МПХ и ЦСМПЗП.

Анализ полученных результатов позволил установить характер распределения частиц муки (y) и описать их нелинейными уравнениями, характеризующими соотношение частиц (x) при помоле:

– для образцов МПХ:

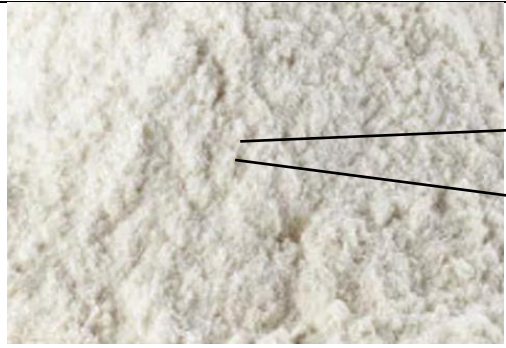
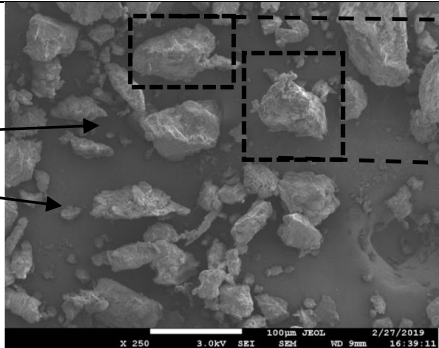
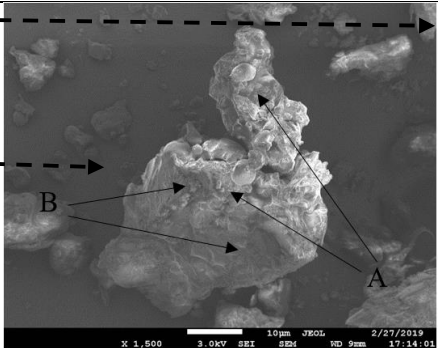
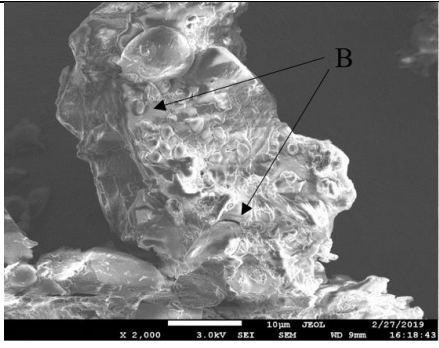
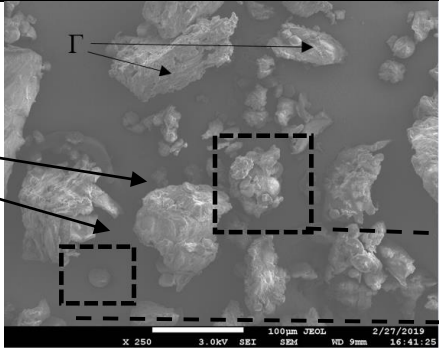
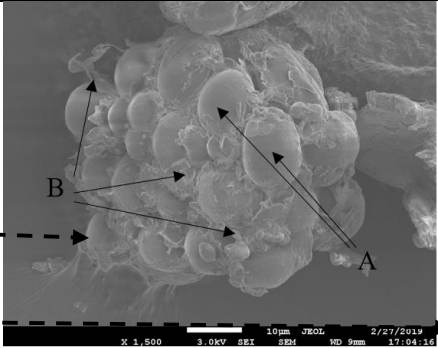
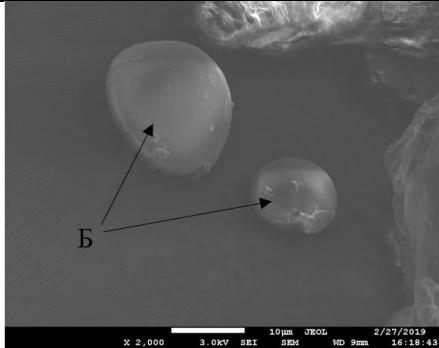
$$y = -0,0012x^2 + 0,1648x + 0,1649; \quad (50)$$

– для образцов ЦСМПЗП:

$$y = -0,0205x^2 + 0,353x - 0,0462. \quad (51)$$

Для образцов МПХ и ЦСМПЗП присуща достаточная однородность и выравниваемость частиц по размерам, что позволяет сделать вывод, что используемая технология помола для получения ЦСМПЗП может быть использована без дополнительных операций для выравнивания гранулометрического состава. Полученная по такой технологии ЦСМПЗП будет хорошо встраиваться в систему готового продукта без ухудшения его свойств.

Таблица 22 – Результаты исследования микроструктуры образцов МПХ и ЦСМПЗП, СЭМ Jeol JEM-2100

Внешний вид образца муки	Образец муки при увеличении		
	×250	×1500	×2000
МПХ			
			
ЦСМПЗП			
			
Примечание – А – агрегаты белковой матрицы с включенными в нее неповрежденными зернами крахмала; Б – не поврежденные отдельные зерна крахмала; В – матрица белка; Г – крупные частицы семенных и плодовых оболочек ПЗП с единичными включениями крахмальных зерен.			

Исследования микроструктурных характеристик контрольных и опытных образцов муки (таблица 22) подтверждают возможность встраивания ЦСМПЗП в систему основного сырья без повреждения матрицы готовых изделий. Визуальная оценка свидетельствует об идентичности основной массы частиц контрольных и опытных образцы муки. Оба образца представляют собой порошок без следов слеживания, образец МПХ – равномерного светло-кремового оттенка, ЦСМПЗП – выраженного кремового цвета, с присутствием частиц плодовых и семенных оболочек коричневого цвета.

Так, на микрофотографиях СЭМ при увеличении $\times 250$ частицы контрольных и опытных образцов муки имеют схожее строение, визуализируются отдельные агломераты, малозначительная разнородность по размеру частиц.

Микрофотографии СЭМ образцов ЦСМПЗП, полученные при увеличении $\times 1500$ и $\times 2000$, обеспечивают детальное представление, в поле зрения визуализируются крупные компактно упакованные частицы (агрегаты белковой матрицы) с включенными в нее неповрежденными зернами крахмала (А в таблице 22) [162], в большом объеме наблюдаются единичные не поврежденные зерна крахмала (Б) и матрица белка (В). Кроме того, фиксируются отдельные крупные частицы плодовых и семенных оболочек ЦСМПЗП (Г) с единичными включениями крахмальных зерен [243]. Важно при этом отметить отсутствие поврежденных зерен крахмала, что, возможно, связано с размягчением эндосперма ПЗП в процессе проращивания.

Микрофотографии СЭМ образцов МПХ, при увеличении $\times 1500$ и $\times 2000$ позволяют фиксировать наличие в образцах большого количества агломератов крахмальных зерен в белковой матрице (А), имеющих плотное сцепление [162], при этом визуализируется незначительное количество зерен крахмала, не встроенных в матрицу белка.

Следовательно, полученные в ходе исследования результаты первично доказывают, что ЦСМПЗП может быть использована как сырьевой ингредиент в технологии хлебобулочных изделий.

На основании анализа представленных в главе результатов исследований сформирована доказательная база, достаточная для верификации разработанной методологии получения пророщенного зерна пшеницы для создания сырьевого ингредиента – ЦСМПЗП.

С помощью методов математического моделирования выявлены рациональные режимы интенсификации процесса замачивания зерна пшеницы – УЗВ (378 Вт, 3 мин) в гидромодуле 1:1 в процессе замачивания зерна пшеницы. Проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение механизмов влияния воздействующих факторов на процессы замачивания и проращивания зерна пшеницы.

Определены критерии контроля процессов на всех этапах получения цельносомлотой муки из пророщенного зерна пшеницы. Для процесса замачивания определены критерии: влажность зерна не менее 35 %; степень набухания не менее 42 %; прирост массы зерна не менее 50 %. Для процесса проращивания – увеличение длины зерна пшеницы не менее чем на 20 %; появление ростка величиной $(1,2 \pm 0,2)$ мм не менее чем у 95 % зерен; число падения не более 150 с.

С учетом совокупности оцениваемых показателей и проведенного математического моделирования были установлены оптимальные показатели длительности процессов замачивания и проращивания контрольных (ЗПк) и опытных (ЗПузв) образцов пшеницы, которые с учетом физического смысла величин и фактически возможного регулирования длительности процессов в промышленном производстве составили:

- для образцов ЗПк – 12 ч замачивания и 16 ч проращивания;
- для образцов ЗПузв – 7 ч 30 мин замачивания и 14 ч 30 мин проращивания.

Анализ гранулометрического состава контрольных (МПХ) и опытных (ЦСМПЗП) образцов муки выявил их достаточную однородность и выравнивание частиц по размерам, что позволит обеспечить встраивание разработанного

сырьевого ингредиента в систему матрицы хлебобулочных изделий и предполагать его положительное влияние на процессы тестоведения и качество готового продукта.

Вместе с тем для расширения доказательной базы в соответствии с поставленными задачами необходимо оценить безопасность ЦСМПЗП в хранении, влияние используемых технологий производства ингредиента на повышение его пищевой ценности, процессы тестоведения и эффективность встраивания в систему хлебобулочных изделий.

ГЛАВА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, КАЧЕСТВА И ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ СЫРЬЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

5.1 Проектирование и разработка системы менеджмента безопасности пищевых производств (СМБПП)

Продовольственная безопасность страны является одной из стратегических целей в направлении повышения качества жизни российских граждан, что в соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683, должно быть обеспечено путем доступности высококачественных и безопасных пищевых продуктов. В ряде правительственных программ по обеспечению безопасности пищевых продуктов, в том числе в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120, отмечается, что производители должны концентрироваться на направлениях создания современных технологий комплексной переработки продовольственного сырья и принятия организационно-управленческих решений, направленных на повышение безопасности, качества и конкурентоспособности производимых товаров.

Согласно требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» изготовитель должен разработать, внедрить и поддерживать процедуры, основанные на принципах НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points; в русской терминологии принята аббревиатура ХАССП) [33; 35; 77; 165; 166; 167]. В настоящее время для внедрения элементов системы менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) необходимо руководствоваться ГОСТ Р 51705.1 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования» либо ГОСТ Р ИСО 22000-2007 «Системы ме-

менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции».

С 1 января 2020 г. вступил в силу новый ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции», в котором (как и в ГОСТ Р ИСО 9001-2015) прослеживается концепция процессного подхода, наряду с применением цикла PDCA и риск-ориентированного мышления для предотвращения или снижения вероятности появления на рынке опасной продукции. Данный нормативный документ предполагает использование системного подхода, подразумевает производство безопасной продукции на постоянной основе и обеспечивает более высокий уровень доверия отечественных и зарубежных потребителей [77; 165; 166; 167]. Особенно важно придерживаться принципов, отраженных в данных нормативных документах, при разработке новых видов сырья и пищевой продукции, по которым еще не разработана нормативная документация, обеспечивающая качество и безопасность.

Разработка *модели системы менеджмента безопасности* при производстве ЦСМПЗП положена в *основу методологии получения безопасных сырьевых ингредиентов* и их использования при производстве хлебобулочных изделий.

Проектирование и разработка СМБПП для реального перерабатывающего предприятия базировались на соблюдении принципов ХАССП. В качестве основы для разработки и внедрения СМБПП применялись следующие международные и национальные стандарты РФ, технические регламенты и методические рекомендации:

- ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»;
- ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»;
- ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования»;
- ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции»;

– ГОСТ Р ИСО 22004-2017 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Руководство по применению ИСО 22000»;

– ГОСТ Р 54762-2011/ISO/TS 22002-1:2009 «Программы предварительных требований по безопасности пищевой продукции. Часть 1. Производство пищевой продукции»;

– ГОСТ Р ИСО 22005-2009 «Прослеживаемость в цепочке производства кормов и пищевых продуктов. Общие принципы и основные требования к проектированию и внедрению системы»;

– ГОСТ Р 51705.1-2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования»;

– МР 5.1.0098-14 «Методические подходы к организации оценки процессов производства (изготовления) пищевой продукции на основе принципов ХАССП».

Подготовка материала для планирования производства безопасной ЦСМПЗП (рассматриваются только вопросы, связанные с производственной линией переработки зерна пшеницы в цельносмолотую муку) в условиях реального производства базировалась на обобщении обязательных элементов системы менеджмента безопасности в соответствии с требованиями ISO 22000 (российский эквивалент – ГОСТ Р ИСО 22000-2019), так как передовые мировые производители выстраивают деятельность своих предприятий, ориентируясь не только на принципы ХАССП, но и на практические рекомендации Комиссии «Кодекс Алиментариус». ГОСТ Р ИСО 22000-2019 включает требования ГОСТ Р 51705.1-2001, являясь более востребованным стандартом высокого уровня, объединяющим разработки и требования ведущих стран в области безопасности пищевой продукции [8; 126; 146; 189].

В алгоритме деятельности были выделены обобщенные этапы (рисунок 55), которые в дальнейшем определяли всю процедуру подготовки предприятия к процессу внедрения СМБПП.

Для разработки и внедрения СМБПП при производстве ЦСМПЗП была создана рабочая группа, сформированная из специалистов, обладающих необходимыми компетенциями; назначены координатор, секретарь, инженер по качеству и другие специалисты; сформирован график работы.

Наименование этапа	Действия	Документация	Принцип ХАССП
Создание рабочей группы	Подготовка документов	Приказ руководителя	
Описание сырья, используемого для производства ЦСМПЗП, и упаковочных материалов	Сбор данных о сырье и упаковочных материалах	Протоколы исследования качества и безопасности, сопроводительные документы	
Описание и определение области применения ЦСМПЗП	Определение возможных потребителей, выявление группы риска	Законодательные акты, НД, методические рекомендации, инструкции	
Определение технологических процессов производства и блок-схемы	Выбор технологических процессов и контролируемых параметров	Блок-схема	
Подтверждение блок-схемы на производстве	Выявление соответствия блок-схемы процессам на производстве	Документирование выявленных отклонений	
Анализ опасных факторов, влияющих на безопасность ЦСМПЗП	Сбор исходной информации, выявление типа опасного фактора (биологические (Б), физические (Ф), химические (Х))	Документирование выявленных отклонений	1
Определение ККТ, влияющих на безопасность ЦСМПЗП	Выявление ККТ для устранения риска / возможности его появления	Документирование выявленных отклонений	2
Установление критических пределов для каждой ККТ	Выявление критических пределов изменения ККТ	Документирование выявленных отклонений	3
Установление системы мониторинга	Разработка корректирующих действий и применение их в случае отрицательных результатов мониторинга	Документирование контроля ККТ	4
Установление корректирующих действий		Документирование корректирующих мер	5
Установление процедур проверки (верификация)	Проведение внутреннего аудита по разработанным процедурам проверки	Документирование проведения внутреннего аудита	6
Создание документации и ведение учета	Документирование и учет всех процедур системы, форм и способов регистрации данных		7

Рисунок 55 – Карта последовательности этапов действий при разработке и внедрении СМБПП

Проведено комплексное описание сырья, используемого для производства ЦСМПЗП, и упаковочных материалов. Составлена карта описания производимого продукта (таблица 23), блок-схема процесса получения (рисунок 56), проведен анализ опасных факторов (таблица 24) и выявлены критические контрольные точки в производстве ЦСМПЗП (таблица 25).

Одним из важных требований ГОСТ Р ИСО 22000-2019 является разработка программы обязательных предварительных мероприятий (PRP), которые применяются для предотвращения рисков и снижения влияния опасных факторов производственного этапа.

Таблица 23 – Карта описания продукта

Наименование продукта	Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП)	
НД, в соответствии с которым изготовлена продукция	ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»; ТУ 10.61.21-005-75420719-2018	
Используемое сырье	Зерно пшеницы, соответствующее ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна», ГОСТ 9353-2016; вода питьевая, соответствующая СанПиН 2.1.4.1074-01	
Показатели качества	Вкус	Приятный, выраженный зерновой, слегка сладковатый без посторонних привкусов
	Запах	Приятный зерновой, слабовыраженный сладковатый, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый
	Цвет	Выраженный кремовый, неоднородный, с присутствием оболочечных частиц коричневого цвета
	Наличие минеральной примеси	При разжевывании хруст отсутствует
	Количество клейковины, %, не менее	20
	Качество клейковины, ед. ИДК	45–95
	Влажность, %, не более	15
Показатели безопасности	Токсичные элементы, мг/кг, не более	
	Массовая доля свинца	0,5
	Массовая доля мышьяка	0,2
	Массовая доля кадмия	0,1
	Массовая доля ртути	0,03
	Микотоксины, мг/кг, не более	
	Афлатоксин В1	0,005
	Дезоксиниваленол	0,7
	Т-2 токсин	0,1
	Зеараленон	0,2
	Охратоксин А	0,005
	Пестициды, мг/кг, не более	
	ГХЦГ (α -, β -, γ -изомеры)	0,5
	2,4-Д кислота, ее соли и эфиры	Не допускается
	ДДТ и его метаболиты	0,02
	Гексахлорбензол	0,01
	Ртутьорганические пестициды, мкг/кг	Не допускается
	Радионуклиды, Бк/кг, не более	
	Цезий-137	60
	Стронций-90	11
	Прочие показатели, не более	
	Массовая доля бенз(а)пирена	0,001 мг/кг
	Зараженность вредителями	Не допускается
	Загрязненность мертвыми насекомыми-вредителями	15 экз/кг
Срок хранения	Не более 9 мес.	

Продолжение таблицы 23

Наименование продукта	Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы (ЦСМПЗП)
Упаковка	Согласно ТР ТС 005/2011, ГОСТ 26791-2018. Вакуумная упаковка по 1 кг в пакеты из термосвариваемого материала, изготовленного по ГОСТ 10354-82
Маркировка	Согласно ТР ТС 022/201, ГОСТ 26791-2018
Условия хранения	Согласно ГОСТ 26791-2018

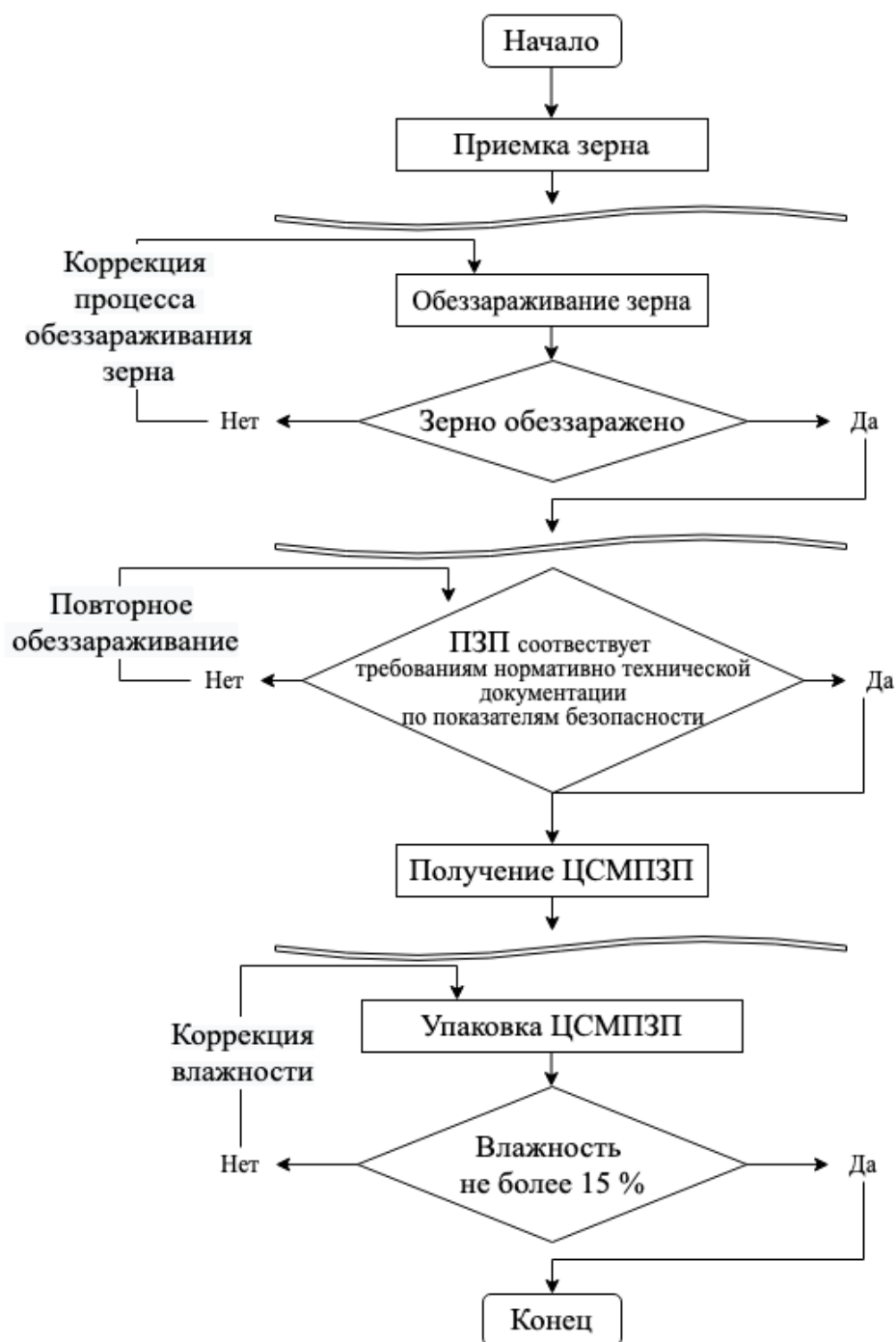


Рисунок 56 – Блок-схема технологического процесса ЦСМПЗП (выдержка)

Таблица 24 – Анализ опасных факторов, влияющих на безопасность ЦСМПЗП (фрагмент карты)

Этап процесса	Идентификация потенциальной опасности	Риск	Источник загрязнения	Мера контроля	Суммарный анализ рисков
1. Приемка зерна	...	...	...	...	...
2. Очистка зерна от примесей	...	...	...	...	...
3. Обеззараживание зерна	Б	Высокие значения микробиологических показателей зерна	Персонал (сотрудник, контактирующий с сырьем, является носителем данной микрофлоры)	Соблюдение правил личной гигиены при работе с продуктами	15
			Инвентарь (ненадлежащее санитарное состояние)	Контроль своевременной санитарной обработки инвентаря	15
			Среда (контакт сырья с воздухом)	Контроль качества среды, отбор образцов для анализа согласно графику	15
	Б	Высокое значение количества микотоксинов в зерне	Микробиологическое заражение в ходе технологического процесса на предприятии, загрязненность зерна-сырья	Контроль параметров процесса обеззараживания зерна	20
	Ф	Загрязнение продукта механическими включениями	Инвентарь	Контроль и своевременная замена инвентаря	8
			Персонал (загрязнение продуктами жизнедеятельности)	Соблюдение правил личной гигиены при работе с продуктами; ежедневный контроль внешнего вида персонала	8

Продолжение таблицы 24

Этап процесса	Идентификация потенциальной опасности	Риск	Источник загрязнения	Мера контроля	Суммарный анализ рисков
4. Замачивание зерна 5. Проращивание зерна 6. Сушка пророщенного зерна	Б	Интенсификация развития патогенной микрофлоры во время замачивания и проращивания зерна	Персонал (сотрудник, контактирующий с сырьем, является носителем данной микрофлоры)	Соблюдение правил личной гигиены при работе с продуктами	15
			Инвентарь (ненадлежащее санитарное состояние)	Контроль над качеством и своевременной санитарной обработкой инвентаря	15
			Среда (контакт сырья с воздухом)	Контроль качества среды, отбор образцов для анализа согласно графику	15
	Б	Высокое значение количества микотоксинов в зерне	Микробиологическое заражение в ходе технологического процесса на предприятии в результате контакта с оборудованием и воздухом, не достаточное проведение процесса обеззараживания зерна	Контроль параметров процесса обеззараживания, интенсификации, замачивания и проращивания зерна	20
	Ф	Посторонние предметы	Непреднамеренное внесение посторонних включений в ходе технологического процесса	Соблюдение правил личной гигиены при работе с продуктами; ежедневный контроль внешнего вида персонала	8
	...	...	...	...	...
7. Разовый помол пророщенного зерна пшеницы	...	...	...	...	...
8. Просеивание ЦСЗПЗП	...	...	...	...	...
9. Вакуумная упаковка	...	...	...	...	...

Данные мероприятия были разработаны для каждого технологического этапа получения ЦСМПЗП, они предусматривают процедуры мониторинга и проведение предупреждающих действий. Разработанные программы PRP (инструкция по предупреждению попадания посторонних включений, санитарно-гигиенические правила для сотрудников предприятия, обучение персонала санитарно-гигиеническим правилам, программа санитарной обработки оборудования, инвентаря и помещений, инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства и ряд других PRP) должны поддерживаться в рабочем состоянии, актуализироваться рабочей группой и утверждаться генеральным директором. С целью обеспечения безопасности выпускаемой продукции разработан комплект документов, позволяющий исключить перекрестное загрязнение зерна во время проведения технологических этапов производства ЦСМПЗП.

Все, что попало в зону неприемлемого риска, классифицировано как критическая контрольная точка (на данном процессе их выявлено две), по которым разработан детальный план ХАССП.

В соответствии с результатами анализа опасных факторов были выявлены две критические контрольные точки: на этапе обеззараживания зерна (ККТ1) и на этапе завершения сушки пророщенного зерна пшеницы (ККТ2). Для каждой критической контрольной точки установлены критические пределы. По данным критическим контрольным критическим точкам был разработан план ХАССП, представленный в таблице 26. Мониторинг и регистрация результатов осуществляется по каждой ККТ, что обеспечивает успешное функционирование системы ХАССП. Данный процесс позволяет не допустить выход на рынок опасной продукции и своевременно провести корректирующие действия по каждой отдельной ККТ. Для отслеживания эффективности функционирования разработанного плана ХАССП внедрены процедуры верификации.

В соответствии с циклом PDCA осуществлено планирование, разработка и внедрение СМБПП на базе предприятия ООО «Боровое», а также выполнены процедуры мониторинга, актуализации и улучшения системы.

Таблица 25 – Определение критических контрольных точек, влияющих на безопасность ЦСМПЗП (фрагмент карты)

Этап процесса	Идентификация потенциальной опасности	Логический подход к оценке мер контроля						Программа PRP/ККТ	Меры предупреждения или ККТ
		1	2	3	4а	4б	5		
Приемка зерна	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Очистка зерна от примеси	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Обеззараживание зерна	Биологические	Да	Да	Нет	–	Да	–	PRP	Соблюдение: – санитарно-гигиенических правил для сотрудников предприятия; – инструкции по санитарно-микробиологическому контролю производства; – программы санитарной обработки оборудования, инвентаря и помещений. Обучение персонала санитарно-гигиеническим правилам
	Биологические	Да	Да	Да	Да	–	Да	ККТ	ККТ1
	Физические	Да	Да	Нет	–	Да	–	PRP	Соблюдение инструкции по предупреждению попадания посторонних включений
Замачивание зерна Проращивание зерна Сушка пророщенного зерна	Биологические	Да	Да	Нет	–	Да	–	PRP	Соблюдение: – санитарно-гигиенических правил для сотрудников предприятия, – инструкции по санитарно-микробиологическому контролю производства; – программы санитарной обработки оборудования, инвентаря и помещений. Обучение персонала санитарно-гигиеническим правилам
	Биологические	Да	Да	Да	Да	–	Да	ККТ	ККТ2
	Физические	Да	Да	Нет	–	Да	–	PRP	Контроль производственной среды и санитарно-гигиенических правил
Разовый помол пророщенного зерна пшеницы	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Просеивание ЦСЗПЗП	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Вакуумная упаковка	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Таблица 26 – План ХАССП при производстве ЦСМПЗП (фрагмент)

№ ККТ	Процесс/ этап процесса	Опасный фактор	Контролируемый параметр		Мониторинг			
			Параметр	Критические пределы, не более, мг/кг	Что?	Как?	Как часто?	Кто?
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Обеззараживание зерна	Высокие значения количества микотоксинов в зерне-сырье	Афлатоксин В1	0,005	Афлатоксин В1	Лабораторный анализ	Каждая партия	Сотрудник лаборатории
			Дезоксиниваленол	0,7	Дезоксиниваленол			
			Т-2 токсин	0,1	Т-2 токсин			
			Зеараленон	1,0	Зеараленон			
			Охратоксин А	0,005	Охратоксин А			
2	Сушка пророщенного зерна (по завершению этапа)	Высокие значения количества микотоксинов в зерне-сырье	Афлатоксин В1	0,005	Афлатоксин В1	Лабораторный анализ	Каждая партия	Сотрудник лаборатории
			Дезоксиниваленол	0,7	Дезоксиниваленол			
			Т-2 токсин	0,1	Т-2 токсин			
			Зеараленон	1,0	Зеараленон			
			Охратоксин А	0,005	Охратоксин А			

№ ККТ	Меры коррекции и корректирующие действия	Записи	Верификация
1	10	11	12
1	1. Сообщить начальнику смены. 2. Партию задержать для дальнейшего определения статуса. 3. Установить причину проблемы (сырье, проблемы с оборудованием). 4. Провести повторный процесс обеззараживания при базовых параметрах воздействия. 5. Действия по итогам анализа причин возникновения отклонений. 6. Калибровка, настройка обеззараживающей установки в соответствии с инструкцией	Журнал контроля технологических параметров при обеззараживании зерна, журнал регистрации работы и контроля обеззараживающей установки, журнал контроля безопасности сырья	Результаты проведения внутреннего аудита

Продолжение таблицы 26

№ ККТ	Меры коррекции и корректирующие действия	Записи	Верификация
1	10	11	12
2	1. Сообщить начальнику смены. 2. Партию задержать для дальнейшего определения статуса. 3. Установить причину проблемы (сырье, проблемы с оборудованием). 4. Проверить полное исключение перекрестного загрязнения зерна-сырья и пророщенного зерна пшеницы. 5. Провести повторный процесс обеззараживания при скорректированных параметрах воздействия. 6. Действия по итогам анализа причин возникновения отклонений. 7. Калибровка, настройка обеззараживающей установки в соответствии с инструкцией	Журнал контроля технологических параметров при обеззараживании зерна, журнал регистрации работы и контроля обеззараживающей установки, журнал контроля безопасности сырья	Результаты проведения внутреннего аудита

На основании проделанной работы становится очевидным, что разработанная система управления безопасностью на основе принципов ХАССП при производстве ЦСМПЗП позволит получать безопасный сырьевой ингредиент, который будет использоваться в производстве продуктов для здорового питания.

5.2. Изменение показателей качества, безопасности и пищевой ценности цельносмолотой муки при проращивании зерна пшеницы

5.2.1 Компонентный состав и безопасность цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы

В цельносмолотой пшеничной муке из пророщенного зерна все анатомические компоненты зерна, такие как эндосперм, зародыш и оболочечные слои, присутствуют в тех же пропорциях, что и в зерне. Такая мука содержит значительно больше пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ по сравнению с сортовыми видами муки. Это позволяет считать ее источником пищевых ингредиентов, оказывающих положительное влияние на здоровье человека, способствующих снижению риска возникновения таких заболеваний, как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, онкология и т. д. [291].

Известно, что процесс проращивания активизирует действие ферментов, помогая тем самым повысить усвояемость зерна. Систематизация опубликованных данных [230; 269; 373] показывает, что во время проращивания зерна повышается доступность сахаров, свободных аминокислот, включая лизин [373], накапливаются γ -аминомасляная кислота [231; 351; 375; 388] и фенольные соединения, повышается антиоксидантная способность [237; 389; 396].

В связи с этим основной задачей данного этапа исследований являлась оценка особенностей компонентного состава и безопасности ЦСМПЗП с точки зрения проведения процесса контролируемого проращивания.

Объектами исследования для реализации поставленной задачи были определены следующие образцы:

- контрольные образцы – пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Любава» (далее – ЗПк);

- опытные образцы – цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы, полученного согласно технологии, описанной в п. 4.1.1 и 4.1.2 (далее – ЦСМПЗП).

В целях установления вариативности компонентного состава и пищевой ценности ЦСМПЗП в процессе проращивания и возможности ее использования в технологии хлебобулочных изделий контрольные (ЗПк) и опытные (ЦСМПЗП) образцы оценивали по следующей номенклатуре показателей:

- массовая доля белка, %;
- массовая доля жира, %;
- массовая доля моно- и дисахаридов, %;
- массовая доля крахмала, %;
- влажность, %;
- массовая доля пищевых волокон, г;
- зольность, %;
- количество клейковины, %;
- качество клейковины, ед. ИДК;
- содержание незаменимых и заменимых аминокислот, мг на 1 г белка;
- критерий усвояемости, усл. ед., и прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, %;
- содержание витаминов (В₁ (тиамин), В₂ (рибофлавин), В₆ (пиридоксин)), мг/100 г;
- содержание минеральных веществ (кальций, калий, магний, натрий, железо, цинк), мг/100 г;

- показатели безопасности, согласно ТР ТС 015/2011 и ТР ТС 021/2011;
- общая антиоксидантная емкость, мг ТЕАС/г;
- содержание флавоноидов, мг QE/г;
- содержание фенольных кислот, мг САЕ/г;
- содержание полифенольных соединений, мг GAE/г;
- антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие на культуре простейших инфузорий вида *Paramecium Caudatum*, мин;
- содержание и биодоступность ГАМК, %.

Результаты определения химического состава контрольных и опытных образцов представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Результаты определения химического состава контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов

Показатель	ЗПк	ЦСМПЗП
Массовая доля, %:		
– белка	$11,6 \pm 0,4$	$11,9 \pm 0,3$
– жира	$2,4 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,4$
– моно- и дисахаридов	$1,2 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,3$
– крахмала	$62,3 \pm 0,2$	$42,9 \pm 0,6$
Влажность, %	$12,9 \pm 0,8$	$12,9 \pm 0,4$
Массовая доля сырой клетчатки, %	$7,2 \pm 0,4$	–
Массовая доля пищевых волокон, г	–	$10,8 \pm 0,4$
Зольность, %	$1,4 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$

Из представленных данных видно, что значительных изменений массовой доли белка не наблюдается. Наиболее выражена динамика снижения массовой доли крахмала, что обусловлено его ферментативным гидролизом и подтверждается увеличением общего количества моно- и дисахаридов. Также можно отметить увеличение содержания пищевых волокон в процессе проращивания, что, вероятнее всего, происходит за счет перераспределения соотношения сахаров в процессе дыхания [48; 177].

По данным Е. Д. Казакова и Г. П. Карпиленко [46], в отдельных тканях зерна пшеницы белковые вещества распределяются неравномерно. Наиболее богаты

белковыми веществами алейроновый слой и зародыш. Количество белка в эндосперме меньше, чем в цельном зерне. В пределах эндосперма белок распределен также неравномерно: его периферический слой имеет высокую концентрацию белков, а центральная часть наиболее бедна по сравнению со всеми остальными частями зерна. Известно, что основными представителями белковой фракции зерна являются глиадин и глютенин, составляющие клейковинный комплекс, количество которого в значительной степени определяет технологические свойства большинства продуктов переработки зерна. Результаты определения количества и качества клейковины в контрольных и опытных образцах представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Результаты определения количества и качества клейковины контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов

Показатель	ЗПк	ЦСМПЗП
Количество клейковины, %	$22,4 \pm 0,3$	$20,6 \pm 0,3$
Качество клейковины, ед. ИДК	$65,3 \pm 0,2$	$73,8 \pm 1,2$

Процесс проращивания зерна пшеницы практически не сказывается на количестве клейковины, при этом также отмечается незначительное снижение ее количества. Происходящие процессы можно объяснить тем, что процесс проращивания зерна пшеницы сопровождается увеличением содержания свободного восстановленного глутатиона в зародыше, что способствует повышению активности протеолитических ферментов зерна, причем наибольшую активность приобретает протеиндисульфидредуктаза, катализирующая восстановление дисульфидных связей в белках с образованием сульфгидрильных групп. Исследователями [4; 48; 177] установлено, что в течение первых суток проращивания общее содержание дисульфидных связей в неклеяковинных белках уменьшается почти в два раза, причем расщепляются преимущественно «скрытые» дисульфидные связи неклеяковинных белков (альбуминов и глобулинов). Дисульфидные связи клейковинного белка расщепляются за первые сутки максимум на 19 %, причем «скрытые» дисульфидные связи остаются незатронутыми, что приводит к незначительным из-

менениям качества клейковины в этот период. Так как длительность разработанного способа контролируемого прорщивания в среднем составляет 22 ч, то вышеуказанные процессы находятся только в начальной стадии и не приводят к значительному расслаблению клейковины.

Полученные данные также подтверждаются результатами исследований доктора технических наук Д. В. Шнейдер [177; 120], свидетельствующими о том, что при проращивании зернового сырья происходит увеличение солерастворимой фракции белка и снижение спирторастворимой фракции, при этом количество водо- и щелочерастворимых фракций остается неизменным.

Для оценки пищевого достоинства зерна пшеницы большое значение имеет аминокислотный состав белков. По мнению Е. Д. Казакова и его коллег [3; 46], необходимо исследовать аминокислотный состав не отдельных белков, а всего их комплекса, содержащегося в зерне пшеницы. Только при таком подходе могут быть получены достоверные данные об аминокислотном составе. Необходимо отметить, что белки злаковых культур неполноценны по ряду незаменимых аминокислот, поэтому при их изучении большое значение имеет сбалансированность их аминокислотного состава [46]. При этом даже незначительное действие протеолитических ферментов способствует гидролизу белков с образованием пептидов и аминокислот [46; 47], что приводит к изменению аминокислотного состава получаемых сырьевых ингредиентов (рисунки 57 и 58).

Процесс проращивания зерна пшеницы позволяет получить наиболее сбалансированный по аминокислотному составу сырьевой ингредиент. Наиболее выраженный прирост можно отметить у таких незаменимых аминокислот, как лизин ($15 \pm 0,3$ %), изолейцин ($11 \pm 0,4$ %) и треонин ($7 \pm 0,6$ %). Биологическая ценность ЦСМПЗП составила ($68,7 \pm 0,6$ %), что в среднем на ($6 \pm 0,3$ %) больше, чем для контрольных образцов зерна пшеницы. Данный факт дает возможность рекомендовать ЦСМПЗП в качестве сырьевого ингредиента повышенной пищевой ценности при производстве хлебобулочных изделий.

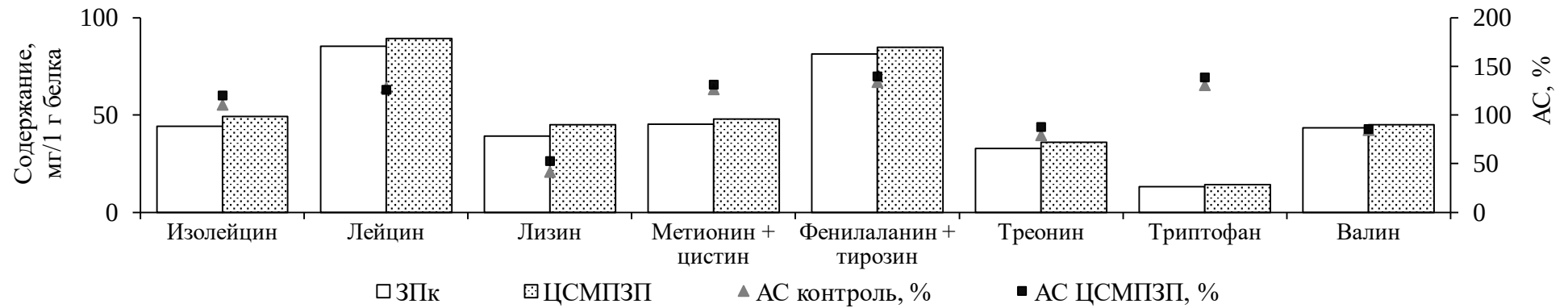


Рисунок 57 – Результаты определения незаменимых аминокислот и расчета аминокислотного сора для контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов (усредненные значения)

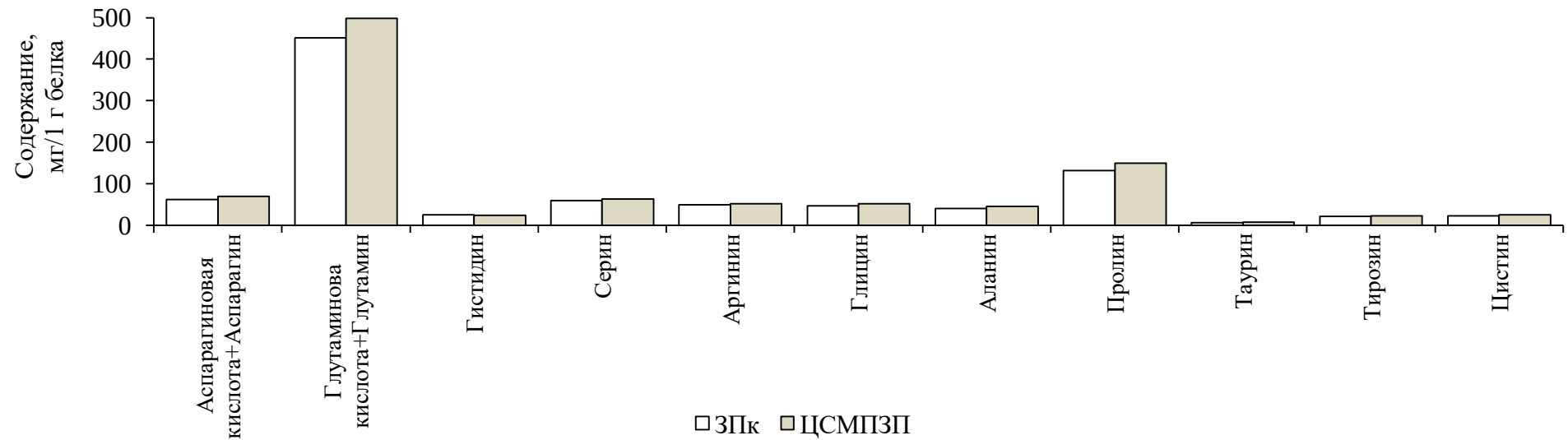


Рисунок 58 – Результаты определения заменимых аминокислот для контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов (усредненные значения)

Среди заменимых аминокислот наибольший прирост можно отметить у аланина и пролина – в среднем $(13 \pm 0,6) \%$, глутаминовой кислоты и глутамина – $(10 \pm 0,2) \%$, пролина – $(18 \pm 0,3) \%$, глицина, таурина (в среднем $9 \pm 0,5 \%$).

В. А. Долговым, С. А. Лавиной, Д. В. Шнейдер, Е. Г. Черемных [34; 45; 48; 148; 168; 177; 185] разработаны методы биологической оценки пищевого сырья с помощью тест-организмов инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, которые основаны на водной экстракции пищевых веществ, с дальнейшим посевом инфузорий *Tetrahymena pyriformis* и последующей регистрацией прироста культуры в течение заданного времени. Прирост инфузорий, в свою очередь, зависит от количества пищевых веществ и их соотношения в экстрактах анализируемых продуктов.

В отличие от метода аминокислотного скоры, в котором основным критерием является количество и качество белка, биологическое тестирование позволяет наблюдать реакцию тест-объекта на большинство пищевых веществ, находящихся в исследуемом продукте. В качестве тест-объектов используются преимущественно высшие животные – мыши и крысы и др., но проведение на них анализов достаточно трудоемко, требует существенных материальных затрат и занимает много времени. Всех этих недостатков лишен метод биологической оценки с помощью реснитчатых инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, во многом сходных по основным этапам обменных процессов с высшими организмами. Подсчет инфузорий *Tetrahymena pyriformis* осуществляли на приборе «БиоЛаТ-3.2» в краткосрочном режиме до начала опыта и через 24 ч (рисунок 59).

Результаты критерия усвояемости контрольных и опытных образцов представлены на рисунке 60.

Процесс проращивания пшеницы приводит к повышению его усвояемости. Так, ЦСМПЗП увеличивает прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis* за 24 ч в 1,5 раза, что, в свою очередь, повышает значение критерия усвояемости в среднем на $(53 \pm 0,3) \%$. Вероятно, это связано с тем, что выбранные нами режимы интенсификации процесса проращивания стимулируют расщепление белка и крахмала протеолитическими и амилолитическими ферментами.

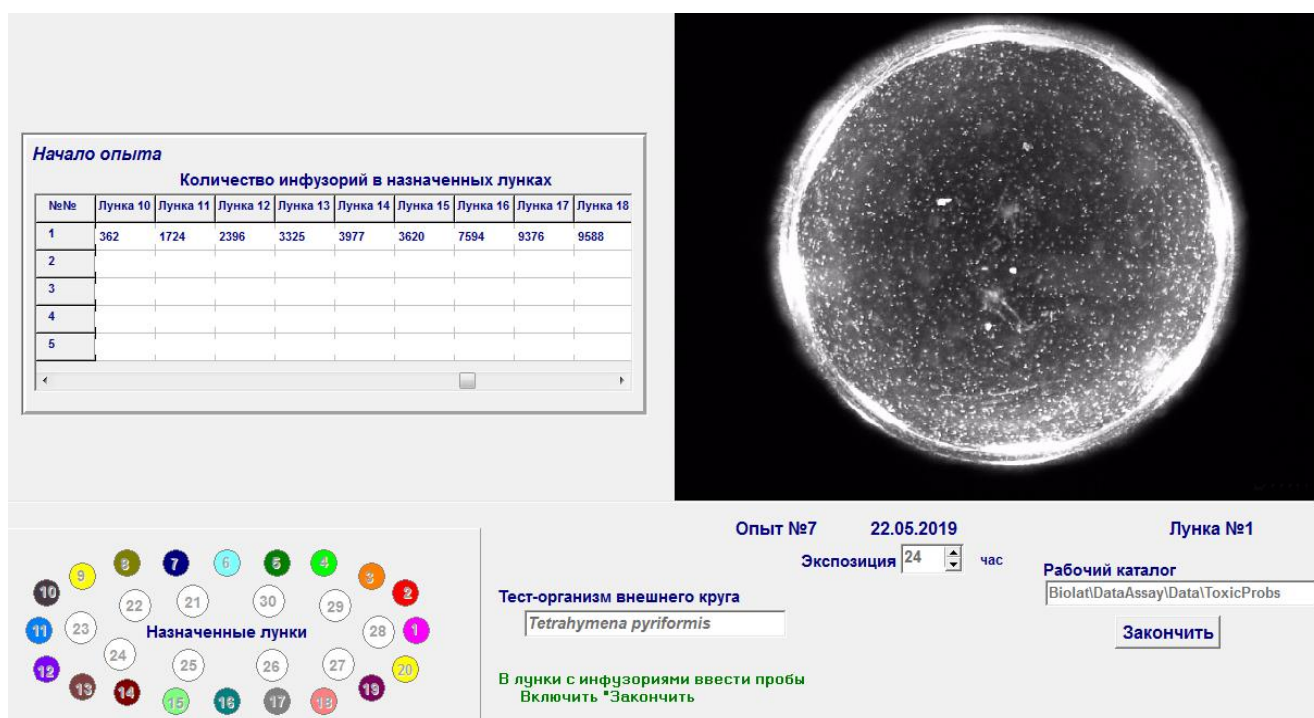


Рисунок 59 – Характерный вид процесса подсчета инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, полученный с использованием прибора БиоЛат-3.2

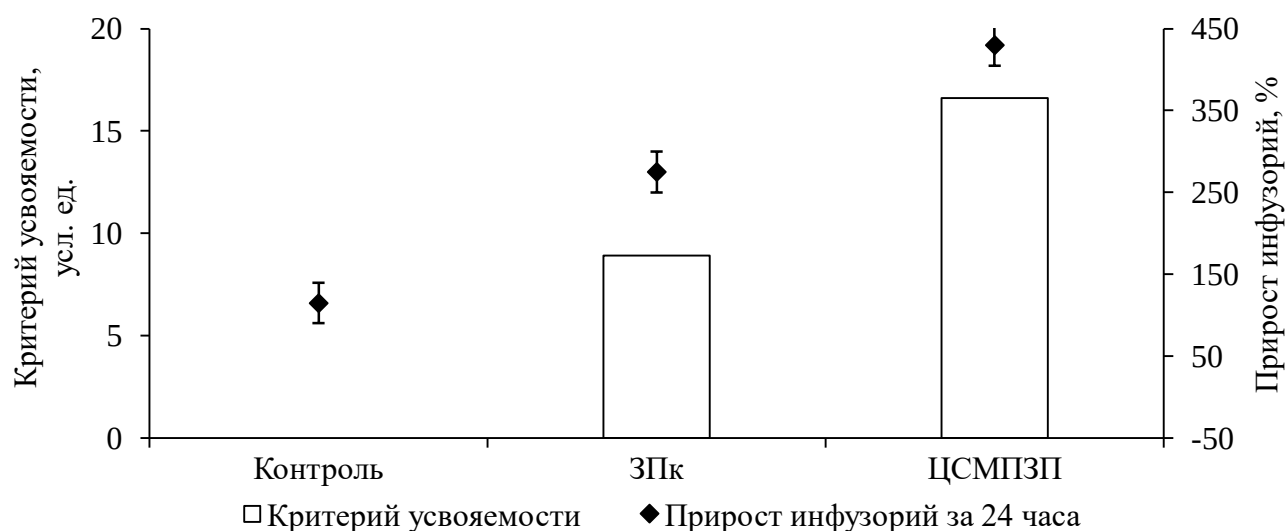


Рисунок 60 – Результаты определения критерия усвояемости и прироста инфузорий в питательной среде с использованием контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов

Процесс проращивания вызывает значительные изменения витаминного и минерального состава, результаты определения которых контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Результаты определения содержания минеральных веществ и витаминов в контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцах, мг/100 г

Показатель	ЗПк	ЦСМПЗП
Минеральные вещества		
Кальций	$48,0 \pm 0,5$	$66,0 \pm 0,5$
Калий	$388,0 \pm 0,5$	$591,0 \pm 0,5$
Магний	$158,0 \pm 0,6$	$210,0 \pm 0,8$
Натрий	$70,0 \pm 0,5$	$80,0 \pm 0,5$
Железо	$15,2 \pm 0,3$	$20,3 \pm 0,2$
Цинк	$15,4 \pm 0,6$	$17,3 \pm 0,8$
Витамины		
В ₁ (тиамин)	$0,29 \pm 0,03$	$0,47 \pm 0,03$
В ₂ (рибофлавин)	$0,34 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,03$
В ₆ (пиридоксин)	$0,36 \pm 0,05$	$0,52 \pm 0,05$

Анализ результатов определения минерального и витаминного состава контрольных и опытных образцов позволил установить, что процесс проращивания приводит к увеличению количества таких элементов, как кальций – в среднем на $(37 \pm 0,3) \%$, калий – $(52 \pm 0,2) \%$, магний и железо – $(33 \pm 0,3) \%$, натрий и цинк $(12 \pm 0,2 \%)$. Также отмечается изменение витаминного состава: прирост значений для витаминов В₁ и В₂ (в среднем на 62 %) и В₆ (44 %).

Контроль микробиологических показателей после проращивания зерна пшеницы и получения ЦСМПЗП является неотъемлемой характеристикой его безопасности. Результаты определения показателей безопасности контрольных и опытных образцов представлены в таблице 30.

Анализ результатов показателей безопасности позволяет сделать вывод, что ЦСМПЗП соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции по всем показателям».

При проведении испытаний на выявление картофельной болезни в образцах ЦСМПЗП люминесцентным методом очаги свечения колоний наблюдались только через 10 ч термостатирования, что свидетельствует о слабой (минимальной) степени зараженности образцов муки и позволяет оценить ее как безопасный сырьевой ингредиент для использования в пищевой промышленности.

Таблица 30 – Результаты определения показателей безопасности контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцов

Показатель	Регламентируемое значение согласно ТР ТС 021/2011, ТР ТС 015/2011	Образец	
		ЗПк	ЦСМПЗП
Микробиологические показатели			
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не допускается в 1 г	Не обнаружены в 0,1 г	
Дрожжи, КОЕ/г	Не более 100	Менее 10	
Плесени, КОЕ/г	Не более 50	Менее 10	20
Токсичные элементы, мг/кг, не более			
Массовая доля свинца	0,5	$(0,012 \pm 0,009) \text{ млн}^{-1}$	$(0,015 \pm 0,008) \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля мышьяка	0,2	$(0,053 \pm 0,006) \text{ млн}^{-1}$	$(0,051 \pm 0,006) \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля кадмия	0,1	Менее $0,01 \text{ млн}^{-1}$	Менее $0,01 \text{ млн}^{-1}$
Массовая доля ртути	0,03	Менее 0,0025	Менее 0,0025
Микотоксины, мг/кг, не более			
Афлатоксин В1	0,005	Менее 0,001	Менее 0,001
Дезоксиниваленол	0,7	Менее 0,2	Менее 0,05
Т-2 токсин	0,1	Менее 0,02	Менее 0,005
Зеараленон	0,2	$0,065 \pm 0,027$	Менее 0,005
Охратоксин А	0,005	Менее 0,0025	Менее 0,0003

5.2.2 Повышение пищевой ценности цельносмолотой муки

из пророщенного зерна пшеницы при использовании разработанных технологий

Процесс проращивания зерна пшеницы вызывает сложные биохимические превращения, что приводит к значительному изменению содержания антиоксидантов в проросшем зерне. Наибольший антиоксидантный эффект достигается за счет присутствия в проросшем зерне таких фенольных соединений, как фенольные кислоты, флавоноиды и полифенольные соединения. Общее количество полифенолов и свободных фенольных кислот увеличивается при проращивании пшеницы [19; 20; 22; 91; 263].

Исследования зарубежных авторов Adom, Liu, Liyana-Pathirana и Shahidi [189; 237; 291] показали, что фенольные вещества в зерне пшеницы находятся

в основном в плодовой и семенной оболочках в связанном виде и входят в состав клеточных мембран.

Основными фенольными кислотами, находящимися в зерне пшеницы как в свободном, так и в связанном состоянии, являются кумаровая и феруловая кислоты [328], которые могут образовывать эфиры с лигнином и формировать сложноэфирные связи со структурными белками и углеводами [237; 291; 293; 328]. Исследования авторов Acosta-Estrada, Gutiérrez-Urbe, Serna-Saldívar [189; 293] показали, что связанные фенольные соединения могут высвобождаться и всасываться в организме человека, что способствует снижению риска рака толстой кишки и других видов возникновения рака пищеварительного тракта. Результаты определения содержания флавоноидов, фенольных кислот и полифенольных соединений в контрольных и опытных образцах представлены на рисунке 61.

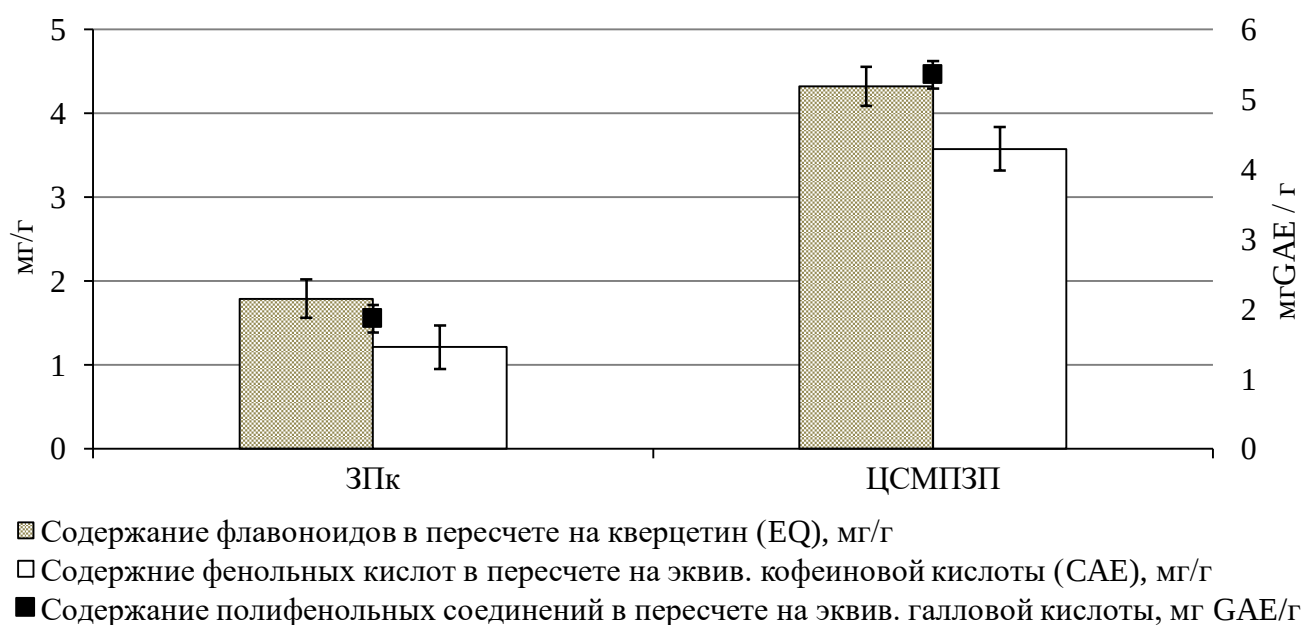


Рисунок 61 – Результаты определения содержания флавоноидов, фенольных кислот и полифенольных соединений в контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцах

Анализ представленных данных позволяет сделать вывод, что процесс проращивания пшеницы позволяет повысить содержание флавоноидов в среднем в 2,4 раза, фенольных кислот – в 2,9 раза, а полифенольных соединений – в 2,8 ра-

за. Увеличение фенольных кислот можно объяснить их высвобождением из связанной формы благодаря повышенной ферментативной активности в процессе проращивания [189]. Данная динамика также объяснима синтезом фенольных соединений в процессе замачивания и проращивания зерна пшеницы, причем на этап поглощения воды зерном пшеницы приходится наиболее активный синтез антиоксидантов фенольного ряда [191; 327].

Результаты исследований Andreassen, Kroon, Williamson и Garcia-Conesa [392] подтверждают, что количество фенольных соединений характерно для пророщенных образцов зерна пшеницы. Фенольные вещества присутствуют в основном в оболочечных частях (76 %) [88; 91; 144; 189], а не в эндосперме зерна пшеницы. Отмечается, что связанные фенольные вещества могут быть более полезны для здоровья, поскольку они не подвергаются деградации в условиях желудочно-кишечного тракта, а вместе с материалами клеточной стенки переходят в кишечник и всасываются в плазму крови. Следовательно, использование ЦСМПЗП в производстве хлебобулочных изделий целесообразно с точки зрения повышения их антиоксидантных свойств.

Также необходимо отметить, что начальное содержание фенольных соединений достаточно сильно различается ввиду вариабельности сырья, однако использование УЗВ для интенсификации проращивания позволило оптимизировать данный процесс, в результате у образцов с низким содержанием фенольных соединений их биосинтез происходил быстрее. Так, к концу проращивания усредненное значение флавоноидов составило $(1,79 \pm 0,21)$ мг QE/г; фенольных кислот – $(3,57 \pm 0,35)$ мг САЕ/г и полифенольных соединений – $(5,35 \pm 0,23)$ мг GAE/г.

Увеличение содержания флавоноидов, полифенольных соединений и фенольных кислот обуславливает повышение антиоксидантной емкости ЦСМПЗП в целом (рисунок 62). Общая антиоксидантная емкость определялась с использованием реактива DPPH. В качестве стандарта использовали Trolox (1–10 мг/л; $R^2 = 0,988$), результаты были выражены в мг ТЕАС/г (эквивалентная антиоксидантная емкость).

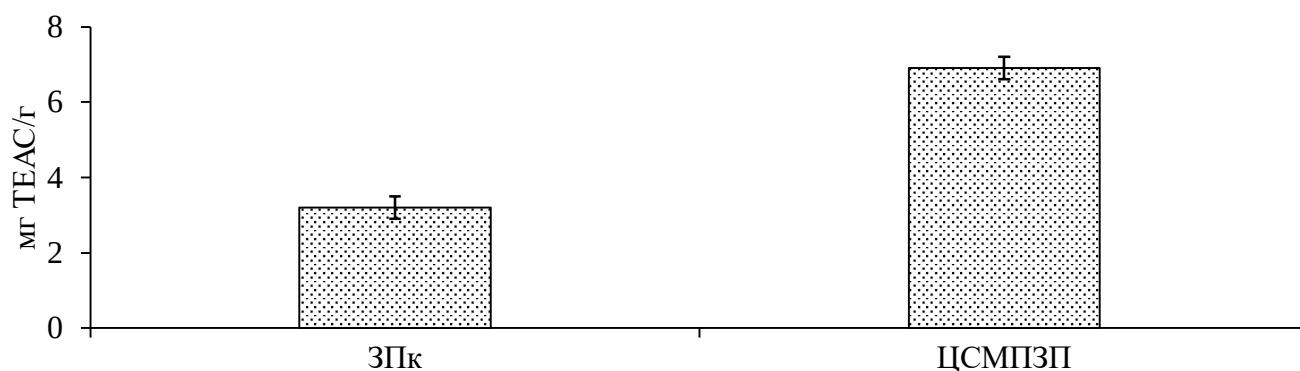


Рисунок 62 – Результаты определения общей антиоксидантной емкости в контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцах, мг TEAC/г

Антиоксидантная емкость ЦСМПЗП тесно взаимосвязана с комплексом митохондриальных окислительно-восстановительных реакций [183; 189]. В клетках зерна при прорастании наблюдается образование активных форм кислорода, защита от которых осуществляется за счет использования высокоактивной антиоксидантной системы в составе низко- и высокомолекулярных соединений [292; 328].

Использование УЗВ может выступать в качестве фактора абиотического стресса для растений, как отмечают исследователи процесса проращивания салата Ромэн [291], красного риса [227; 234] и других зерновых культур [228]. Описывается, что УЗВ запускает систему защитной ответной реакции организма растений и стимулирует выработку вторичных метаболитов, таких как фенольные соединения, что усиливает антиоксидантную активность при проращивании.

Анализ полученных данных позволяет сказать, что значение антиоксидантной емкости образцов ЦСМПЗП увеличивается в среднем в 2,2 раза, что вызвано активизацией биохимических процессов и накоплением фенольных соединений, так как оболочки зерна и зародыш, где накапливаются вещества, обуславливающие данное свойство, полностью сохраняются.

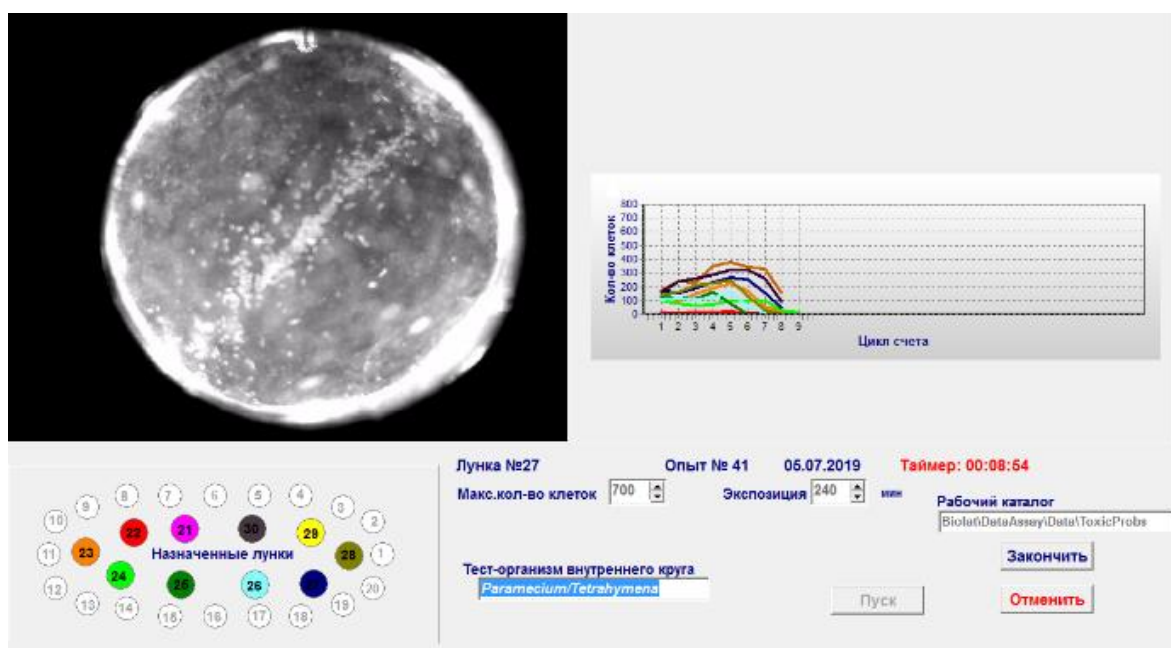
Исследованиями P. V. Hung, D. W. Hatcher, W. Barker и др. [189; 234; 237; 263; 269; 334; 353] подтверждается, что повышение антиоксидантной емкости пророщенного зерна пшеницы обусловлено увеличением количества кофейной и ванильной кислот, которые активно образуются во время проращивания.

F. Yang, T. K. Basu, B. Ooraikul [229; 231; 389; 390] установили, что антиоксидантные соединения, такие как витамин С и токоферолы, также активно синтезируются в процессе проращивания, что, в свою очередь, может увеличивать антиоксидантную емкость проросшего зерна.

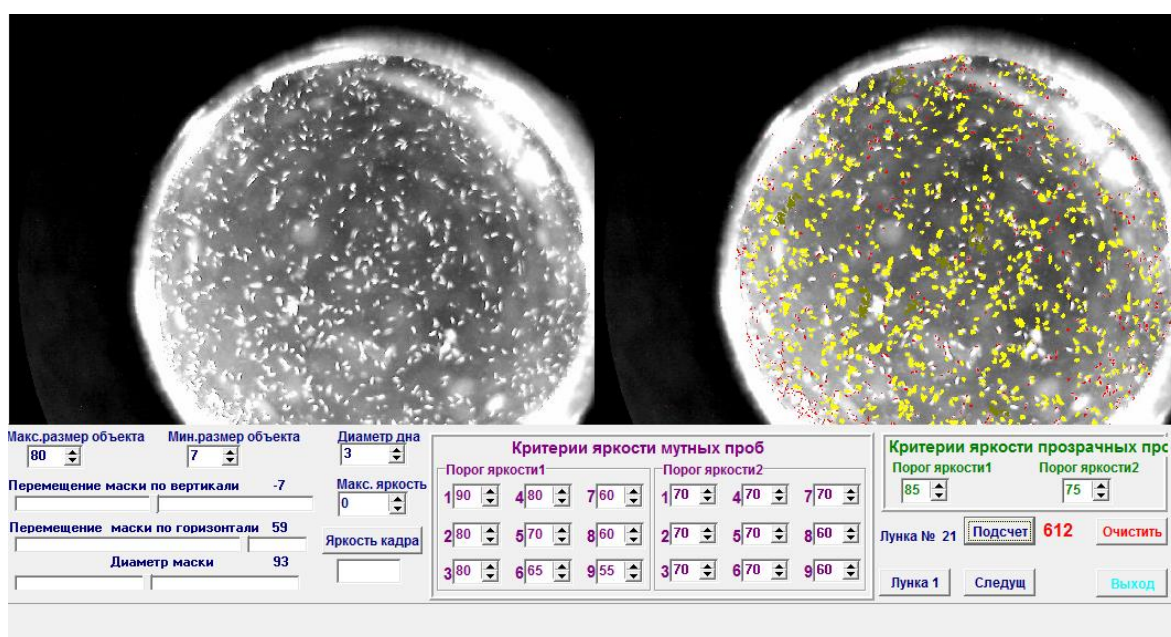
Также для косвенного определения антиоксидантной активности был использован экспресс-метод Э. Ф. Степановой и соавторов [43; 148] с использованием инфузорий *Paramecium caudatum*. Данный вид простейших рекомендован рядом исследователей [148; 269; 291; 392] для определения антиоксидантного, мембраностабилизирующего, адаптогенного действия как комплексных растительных препаратов, так и пищевых продуктов растительного происхождения.

Paramecium caudatum имеют на всей своей поверхности реснички, выполняющие роль хеморецепторов, реагирующих на растворенные химические вещества. По способности повышать толерантность парамеций к клеточным ядам под воздействием исследуемых веществ можно косвенно судить об их адаптогенной активности. Они находятся в постоянном движении, поэтому легко наблюдать малейшие изменения в движении под воздействием яда. Кроме того, разрушение структурных связей мембраны химическими веществами приводит к лизису клеток, что также можно фиксировать [148].

В качестве ядов при изучении мембраностабилизирующей активности использовали этанол различной концентрации, при изучении антиоксидантной активности – раствор перекиси водорода. К культуре парамеций добавляли водную вытяжку из зерна пшеницы и ЦСМПЗП вносили в культуру инфузорий *Paramecium caudatum* и выдерживали в чашках Петри в хроническом опыте 24–72 ч (период, когда формируются защитные механизмы), затем создали патологическую модель повреждения мембран парамеций 14 %-м раствором этанола и 3 %-м раствором перекиси водорода, засекая время полной их остановки. Повышая далее процентное содержание ядов, фиксировали концентрацию, вызывающую лизис парамеций. Контролем служили интактные клетки парамеций. Подсчет инфузорий *Paramecium caudatum* осуществляли на приборе «БиоЛаТ-3.2» как в краткосрочном режиме, так и в режиме реального времени (рисунок 63).



а – режим реального времени



б – краткосрочный режим подсчета

Рисунок 63 – Характерный вид процесса подсчета инфузорий *Paramecium caudatum*

Результаты определения антиоксидантного и мембраностабилизирующего действия контрольных и опытных образцов с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* представлены на рисунке 64, а также в таблице 31.

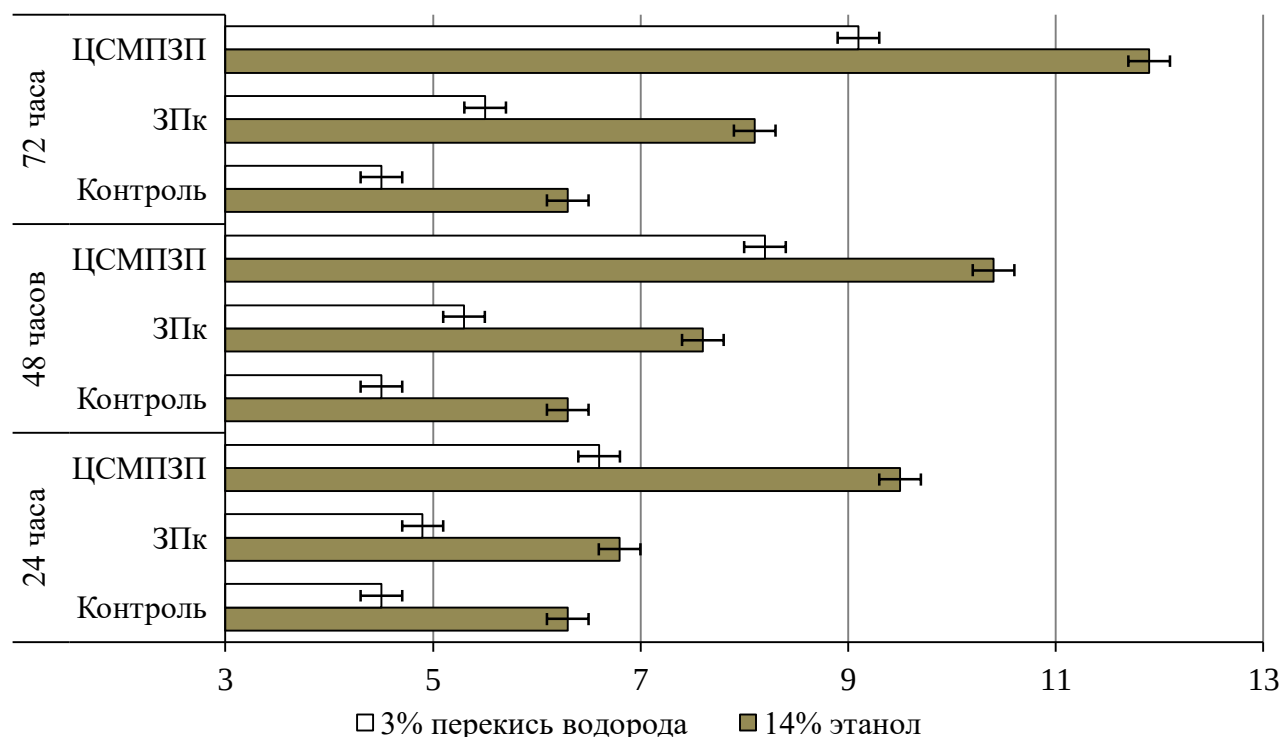


Рисунок 64– Результаты определения времени остановки инфузорий *Paramecium caudatum* в условиях создания патологической модели контрольных (ЗПК) и опытных (ЦСМПЗП) образцов

Таблица 31 – Результаты определения лизирующей концентрации клеточных ядов в контрольных (ЗПК) и опытных (ЦСМПЗП) образцах

Используемое вещество	Контроль	ЗПК	ЦСМПЗП
C ₂ H ₅ ОН	18 ± 0,5	19 ± 0,5	23 ± 0,5
H ₂ O ₂	5 ± 0,5	6 ± 0,5	10 ± 0,5

На основании полученных данных и в соответствии с критериями оценки антиоксидантной и мембраностабилизирующей активности, разработанными С. Р. Хасановой и соавторами [34; 45; 132; 148; 213], образцы зерна пшеницы до проращивания можно отнести к умеренно активным веществам (по времени остановки инфузории) либо к среднеактивным (по лизирующей концентрации ядов). Тогда как образцы ЦСМПЗП имеют высокую активность по двум вышеперечисленным характеристикам, что может косвенно свидетельствовать об антиоксидантной и мембраностабилизирующей активности.

Исследование содержания γ -аминомасляной кислоты в цельносмолотой муке из пророщенного зерна пшеницы

В совокупности химических компонентов, синтезируемых при проращивании зерна, γ -аминомасляная кислота (ГАМК) занимает особое место как вещество, рекомендованное для предотвращения неврологических расстройств [193; 197; 323]. ГАМК привлекла большое внимание ученых благодаря своей биологической активности в отношении снижения артериального давления [187; 188; 197; 371], стимулирования повышения иммунитета [211; 214; 269], улучшения работы мозга и повышения интеллекта [189]. Доказано, что потребление продуктов питания, обогащенных ГАМК, способствует уменьшению чувства тревожности, часто возникающих на фоне симптомов неинфекционных заболеваний [377]. ГАМК представляет собой непротеиновую аминокислоту, преимущественно образующуюся в результате γ -декарбоксилирования 1-глутаминовой кислоты, которая катализируется ферментом глутаматдекарбоксилазой [237].

ГАМК функционирует в организме человека и животных как основной ингибиторный нейротрансмиттер в центральной нервной системе и оказывает оздоровительный эффект [259]. Клинические исследования ряда ученых [291] связывают увеличение потребления ГАМК с несколькими эффектами, положительно сказывающимися на здоровье человека (например, снижение артериального давления у животных и людей с умеренной гипертонией).

Кроме того, ГАМК способна оказывать ингибирующее действие на пролиферацию раковых клеток, стимулировать апоптоз раковых клеток [189; 216] и давать положительный эффект в комплексной терапии при лечении алкоголизма и шизофрении [239; 269; 321]. Исследования Kuriyama, Sze, Van Gelder, Elliott и Nayaakawa [225; 281; 292; 328] свидетельствуют, что ГАМК слабо преодолевает гематоэнцефалический барьер при нормальных дозах приема, поэтому оказывает лишь периферическое воздействие на центральную нервную систему. Помимо этого, она вызывает положительную физиологическую реакцию в гладких мышцах, эндокринной и других системах, включая дыхательную и симпатическую деятельность [323; 336; 372]. Исследования авторов Nakagawa, Onoto и др. [269; 314;

332; 372] свидетельствуют о том, что растительные экстракты, содержащие высокие уровни ГАМК, эффективны в регуляции артериального давления, являются сильным секреторным агентом инсулина из поджелудочной железы и эффективно предотвращают диабет [237; 320; 322; 325; 376].

Большинство витаминов в растениях синтезируются из аминокислот в качестве предшественников, поэтому они связаны с метаболизмом азота в растениях. Рибофлавин, полученный из гуанозин-5'-трифосфата, как установлено Miret и его коллегами [328], способствуют повышению кофермента пиридоксальфосфата и витамина В₆. У растений данный кофермент играет ключевую роль при образовании многих веществ, включая ГАМК-шунт. У человека этот кофермент участвует в процессах снижения уровня сахара в крови и липидов, тогда как витамин В₆ обладает потенциалом снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний и участвует в синтезе ряда нейротрансмиттеров, включая ГАМК [189; 256; 349].

Основные направления обогащения пищевых продуктов ГАМК на сегодняшний день связаны с использованием процессов проращивания зерновых и бобовых культур или их микробиологической ферментацией на фоне стрессовых факторов (предварительное замораживание, гипоксия и другие приемы, позволяющие запустить процесс активного синтеза данной непротеиновой аминокислоты). Такие подходы позволяют получить пищевые продукты с биологически активным компонентом растительного происхождения.

В настоящее время большое внимание уделяется условиям обработки зерновых культур при замачивании, проращивании и сохранении после проращивания, поскольку они играют важную роль в улучшении пищевой ценности продовольственного сырья. Такие факторы, как гипоксия, гидратация, отсутствие света, температура, рН и т. д., играют решающую роль в накоплении ГАМК в зерновых культурах, что было отмечено в многочисленных исследованиях при производстве обогащенных ГАМК зерновых продуктов и продуктов на их основе [189; 237; 291; 350].

Характерный вид хроматограмм, полученных на автоматизированной системе жидкостной хроматографии Shimadzu Prominence LC-20, представлен на рисунке 65. Решающим фактором, по которому возможно судить о полезном эф-

фекте потребления ГАМК потребителями, является его остаточное количество после процесса переваривания.



ЗПк



ЦСМПЗП

Рисунок 65– Характерный вид полученных хроматограмм при определении содержания ГАМК в контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцах

Результаты определения содержания ГАМК и оценка индекса биодоступности после процедуры моделирования процесса переваривания представлены на рисунке 66.

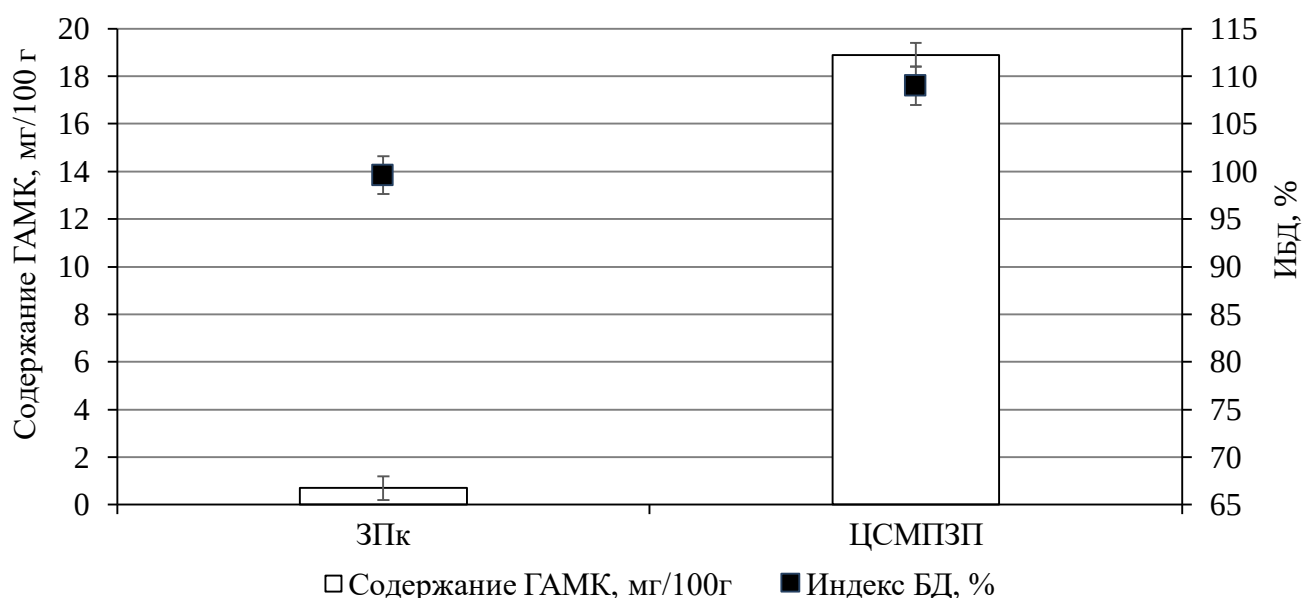


Рисунок 66 – Результаты определения содержания ГАМК (мг/100 г) и ее потенциальной биодоступности (И_{БД}, %) в контрольных (ЗПк) и опытных (ЦСМПЗП) образцах

Анализ полученных данных позволяет говорить о том, что процесс проращивания увеличивает содержание ГАМК в среднем в 3,2 раза, что при производстве хлебобулочных изделий с использованием ЦСМПЗП будет способствовать значительному увеличению содержания данного компонента в готовых изделиях. После проведения процедуры переваривания в модели *in vitro* количество ГАМК как в образцах ЗПк, так и в образцах ЦСМПЗП имеет достаточно высокие значения, о чем свидетельствуют высокие значения индекса биодоступности.

Увеличение ГАМК во время проращивания зерна пшеницы объясняется, по мнению J. Baranzelli, D. H. Kringel, R. Colussi и их коллег, увеличением активности L-глутамата, который под действием фермента глутаматдекарбоксилазы декарбоксилирует и высвобождает ГАМК (рисунок 67) [197; 313; 319; 328; 357].

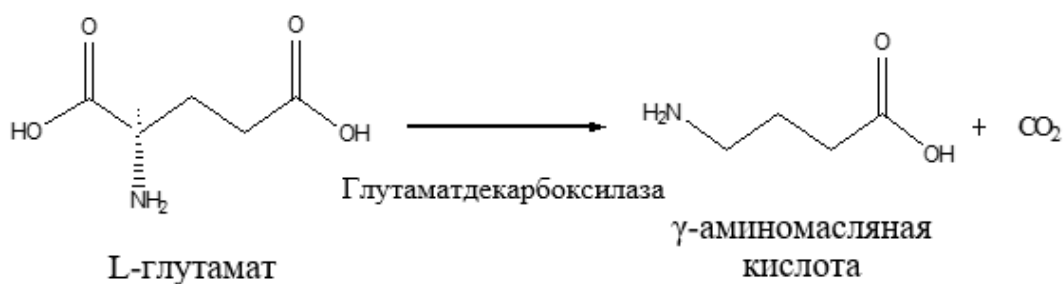


Рисунок 67 – Механизм образования ГАМК при проращивании зерна пшеницы [197; 225]

В исследованиях J. Ding, G. G. Hou, B. V. Nemzer и др. [229; 230; 231; 232] отмечается, что именно использование ультразвукового воздействия позволяет активизировать процесс образования ГАМК при проращивании зерновых культур, так как спровоцированный УЗВ стресс вызывает активацию эндогенных ферментов (в частности, глутаматдекарбоксилазы), что и приводит к резкому увеличению ГАМК в ЦСМПЗП [197; 237; 310]. Так, J. Ding, A. V. Ulanov, M. Dong и их коллеги [229; 230; 231; 232] предлагают следующее обоснование процесса накопления ГАМК в зерновых культурах при обработке их УЗВ, в котором H^+ также играет важную роль в метаболизме ГАМК (рисунок 68).

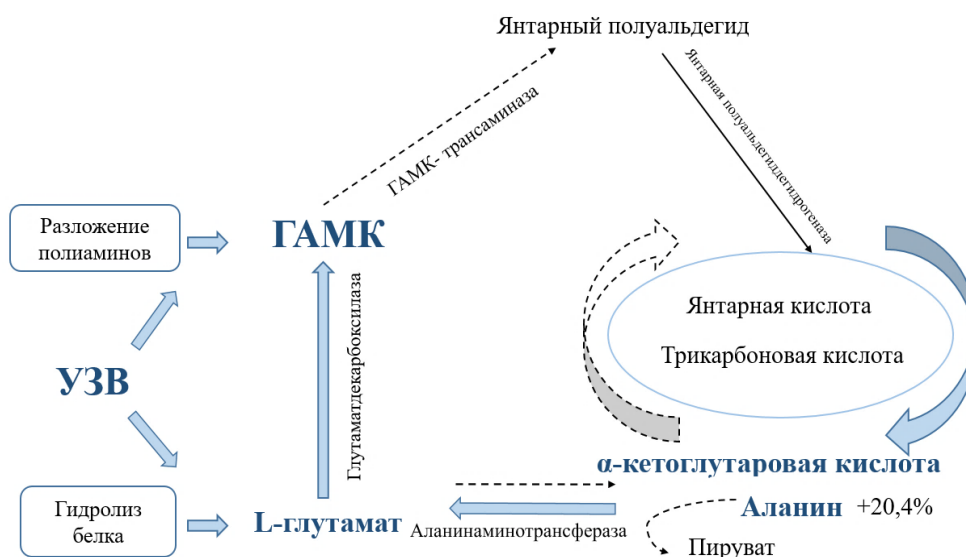


Рисунок 68 – Предполагаемый механизм накопления ГАМК после УЗВ при проращивании (синим цветом отмечен усиленный путь образования ГАМК при УЗВ) [229]

В процессе проращивания зерна пшеницы ГАМК в первую очередь метаболизируется по короткому пути, называемому «ГАМК-шунт», где ГАМК синтезируется из L-глутамата, катализируемого глутаматдекарбоксилазой (ключевым ферментом для синтеза ГАМК). Также L-глутамат продуцирует пируват с помощью аланинаминотрансферазы и синтезирует аланин и α -кетоглутаровую кислоту. При этом ГАМК также может быть синтезирована в обратном направлении в янтарный полуальдегид с помощью ГАМК-трансаминазы [228; 264; 277; 349].

По результатам своих исследований J. Ding, G. G. Houb, S. Xiong и их коллеги [229; 230; 231; 232; 240; 349] отмечают, что ультразвуковая обработка увеличивает содержание янтарной кислоты, также наблюдается одновременное увеличение метаболитов, связанных с шунтированием ГАМК, таких как глутаминовая кислота, аланин и трикарбоновая кислота, в зерне после ультразвуковой обработки. Это говорит о том, что усиление разложения полиаминов и ингибирование глутамата переаминирования может способствовать накоплению ГАМК в зерне при его ультразвуковой обработке. Таким образом, ультразвуковое воздействие (воспринимаемое зерном как стресс) может повысить энергетический метаболизм прорастания зерна пшеницы, что приводит к интенсификации накопления ГАМК за счет усиления активности глутаматдекарбоксилазы и обеспечения большего количества L-глутамата [281; 285; 349].

5.3 Изменение качества, безопасности и потребительских свойств цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы при хранении

С целью определения сроков годности разработанного сырьевого ингредиента – ЦСМПЗП была поведена товароведная оценка качества ЦСМПЗП в динамике хранения. Образцы ЦСМПЗП хранили в вакуумных пакетах из термосвариваемого материала по 1 кг при температуре 22–25 °С, относительной влажности воздуха не более 70 %, без резких перепадов температур и прямого воздействия

солнечных лучей в соответствии с ГОСТ 26791-2018 и ТР ТС 005/2011 [85]. Результаты органолептической и физико-химической оценки представлены образцов ЦСМПЗП в динамике хранения представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Результаты определения органолептических и физико-химических показателей образцов ЦСМПЗП в динамике хранения

Наименование показателей качества	Длительность хранения образцов, мес.						
	0	3	6	9	10	11	12
Вкус	Приятный, выраженный зерновой, слегка сладковатый без посторонних привкусов						Слабоощутимая горечь
Запах	Приятный зерновой, слабовыраженный сладковатый, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый						
Цвет	Выраженный кремовый, неоднородный, с присутствием частиц плодовых и семенных оболочек коричневого цвета						
Наличие минеральной примеси	При разжевывании хруст отсутствует						
Количество клейковины, %	21,5 ± 0,3	21,6 ± 0,3	21,5 ± 0,3	21,6 ± 0,3	21,4 ± 0,3	21,5 ± 0,3	21,7 ± 0,3
Качество клейковины, ед. ИДК	70,8 ± 1,2	68,0 ± 1,3	67,4 ± 1,2	66,0 ± 1,2	65,0 ± 1,3	65,0 ± 1,3	62,0 ± 1,3
Число падения, с	65 ± 15	68 ± 15	69 ± 15	66 ± 15	69 ± 15	67 ± 15	66 ± 15
Влажность, %	11,8 ± 0,3	11,9 ± 0,3	11,9 ± 0,3	11,9 ± 0,3	11,9 ± 0,3	11,9 ± 0,3	11,8 ± 0,3
Кислотность, град.	4,1 ± 0,3	4,4 ± 0,4	4,4 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,6 ± 0,3	5,2 ± 0,3

Анализ полученных данных позволяет говорить о том, что как органолептические, так и большинство физико-химических показателей качества за 11 мес. хранения образцов ЦСМПЗП не претерпевают значительных изменений. Только спустя 12 мес. хранения образцов ЦСМПЗП происходит наиболее заметное нарастание кислотности и укрепление клейковины, определяется слабоощутимая горечь, обусловленная началом процессов прогорания жиров. Расщепление жиров происходит под действием фермента липоксигеназы. Наиболее интенсивно эти изменения протекают в присутствии кислорода воздуха, поэтому вакуумирование позволяет значительно замедлить данный процесс до 11 мес. В результате окисления ненасыщенных жирных кислот образуются пероксиды, способные оказывать укрепляющее действие на клейковину муки.

Повышение кислотности муки может быть обусловлено ферментативным расщеплением фитина под действием фитазы. Данный процесс наиболее важен с точки зрения пищевой ценности ЦСМПЗП, так как фитиновая кислота связывает кальций, магний, железо, образуя водонерастворимые комплексы и препятствуя их усвоению организмом человека, в то время как процесс расщепления с образованием мио(мезо)-инозита и свободной ортофосфорной кислоты (как в процессе хранения, так и в процессе брожения теста) способствует лучшему усвоению вышеперечисленных веществ. Также возможно образование молочной и уксусной кислот в процессе расщепления углеводов.

Вышеперечисленные процессы обуславливают повышение кислотности образцов ЦСМПЗП с $(4,1 \pm 0,3)$ до $(5,2 \pm 0,3)$ град кислотности в течение 12 мес., причем наиболее интенсивные изменения были отмечены после 11 мес. хранения. Сырьевой ингредиент – ЦСМПЗП содержит все количество жировых компонентов зерна и может прогоркнуть быстрее сортовой муки, но при этом в цельнозерновой также находятся все токоферолы, защищающие ее от прогоркания на начальном этапе хранения; кроме того, данный вид муки обладает достаточно высокой антиоксидантной активностью в целом, поэтому в вакууме сохраняется лучше, чем сортовая мука.

Укрепление клейковины в процессе хранения образцов ЦСМПЗП с $(70,8 \pm 1,2)$ до $(62 \pm 1,3)$ ед. ИДК может происходить за счет двух основных факторов: 1) наличие непредельных жирных кислот, образующихся в результате гидролиза жира; 2) окислительных процессов, протекающих в процессе хранения, при этом происходит окисление части сульфгидрильных групп с образованием дисульфидных связей между молекулами белка, образующими клейковину [153; 154; 275; 309; 324]. Число падения в процессе хранения образцов ЦСМПЗП не претерпевает статистически значимых изменений.

Закономерное увеличение титруемой кислотности образцов ЦСМПЗП при хранении позволяет использовать этот показатель для первичной характеристики степени ее свежести (т. е. возможной продолжительности хранения). Данный показатель не изменяется в течение 11 мес. хранения (что, возможно, обусловлено

отсутствием кислорода воздуха в результате вакуумирования), тогда как к 12 мес. хранения происходит интенсивное изменение данного показателя, что, возможно, вызвано началом процессов гидролиза жиров и накоплением свободных жирных кислот в образцах ЦСМПЗП.

Наиболее полно охарактеризовать свежесть муки и изменения, происходящие при хранении, можно по величине показателя кислотного числа жира, который дает возможность судить о степени гидролиза жира и перспективах изменения данного сырьевого ингредиента при дальнейшем хранении. Этот показатель является определяющим для сроков хранения и годности пшеничной муки. Согласно приказу ФАО/ВОЗ № 152 в пшеничной муке содержание свободных жирных кислот (для определения срока хранения) не должно превышать 50 мг КОН на 100 г продукта. Результаты определения кислотного числа жира образцов ЦСМПЗП представлены на рисунке 69.

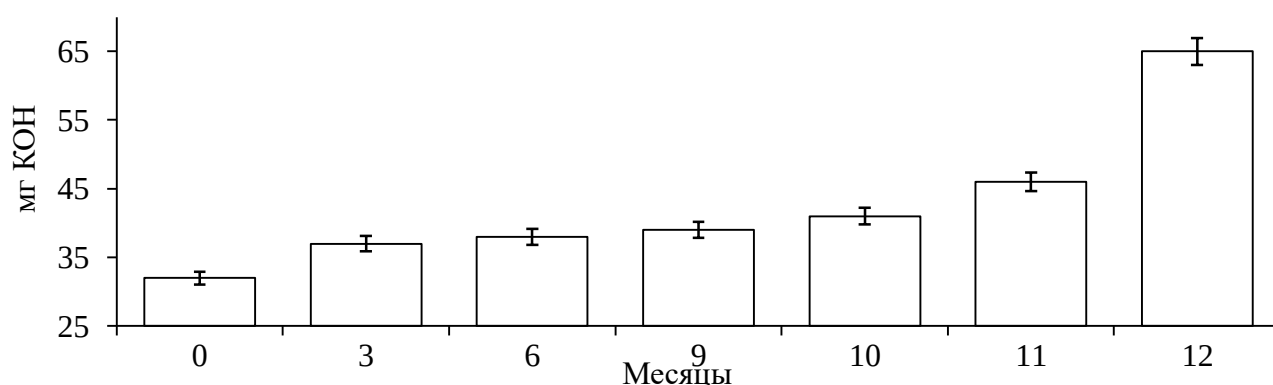


Рисунок 69 – Результаты определения кислотного числа жира образцов ЦСМПЗП в процессе хранения

Анализ полученных результатов показал, что начальная величина кислотного числа жира была несколько ниже стандартных значений для образцов ЦСМПЗП. По-видимому, условия были такими, что образовавшиеся свободные жирные кислоты немедленно использовались ростком зерна. При дальнейшем хранении образцов ЦСМПЗП в течение 11 мес. величина данного показателя менялась незначительно и не превышала критического значения; свободные жирные кислоты не

накапливались в таких количествах, чтобы оказать влияние на показатели кислотности муки и качествах клейковины. В то же время к 12 мес. было отмечено резкое увеличение значений данного показателя, что, вероятно, вызвано снижением количества связанных липидов и накоплением продуктов окисления. На основании методических принципов обоснования сроков годности пищевых продуктов, изложенных в МУК 4.2.1847-04, коэффициент резерва для нескоропортящихся продуктов равен 1,15, в соответствии с чем был определен срок хранения сырьевого ингредиента ЦСМПЗП, который составил не более 9 мес.

Сохранение полезных свойств полученных образцов ЦСМПЗП является первостепенной задачей в процессе хранения. Результаты определения антиоксидантной емкости и содержания ГАМК при хранении представлены на рисунке 70.

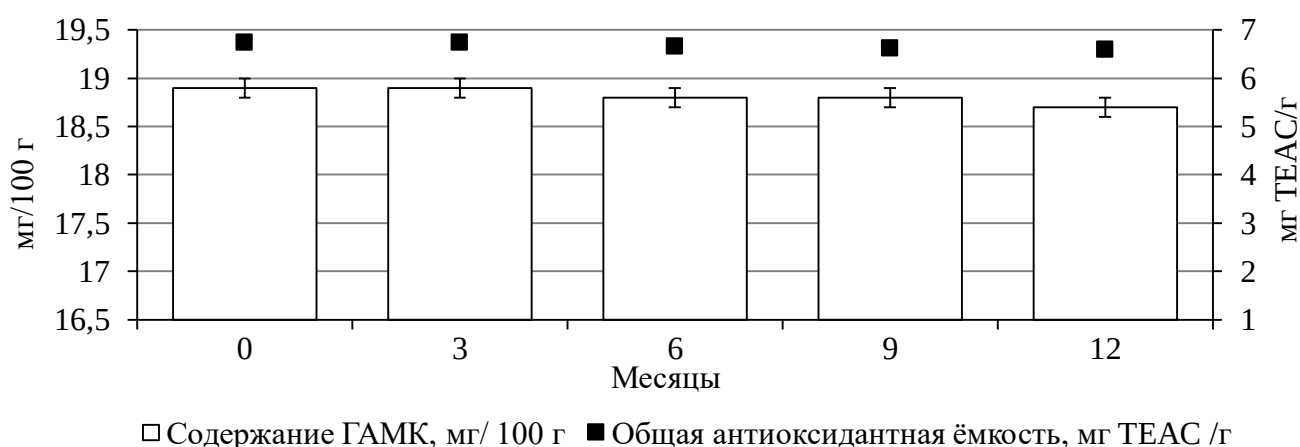


Рисунок 70 – Результаты определения общей антиоксидантной емкости и содержания ГАМК в образцах ЦСМПЗП в процессе хранения

Анализ статистической значимости различий показал, что по величине показателей общей антиоксидантной емкости и количества ГАМК были получены незначимые различия, не превышающие величин наименьшей существенной разности при уровне значимости, равном 0,05. На основании этого можно сказать, что в процессе хранения в течение 12 мес. данные показатели изменений не терпевают.

При оценке безопасности сырьевого ингредиента необходим контроль микробиологических показателей, позволяющий оценить возможность использования данного сырья при производстве хлебобулочных изделий. Результаты определения микробиологических показателей безопасности образцов ЦСМПЗП в процессе хранения представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Результаты определения микробиологических показателей безопасности образцов ЦСМПЗП в процессе хранения (усредненные значения)

Показатель	Длительность хранения образцов, мес.		
	0	6	12
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,8 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 1,0 г		
Дрожжи, КОЕ/г	Менее 10		
Плесени, КОЕ/г	10 ± 2	13 ± 3	18 ± 2

Анализ полученных результатов позволяет сказать, что в процессе хранения значительных изменений не наблюдается, что может быть обусловлено выбором оптимального режима обеззараживания сырья, снижением влажности готового полуфабриката до величины не выше 14 % и исключением доступа кислорода путем вакуумирования упаковки.

На основании оценки качества по расширенной номенклатуре показателей было установлено, что *в течение 9 мес. хранения сырьевой ингредиент ЦСМПЗП*, полученный по разработанной технологии, не изменяет своих свойств и является безопасным для дальнейшего использования.

После процесса вакуумирования и хранения в данном состоянии возможно слеживание муки, что может негативно сказаться на технологии перемешивания компонентов и тестоприготовлении. Для определения адгезионных свойств образцов ЦСМПЗП на конец хранения (9 мес.) был использован реометр Physica MCR 102 (рисунок 71). Для сравнения были также исследованы образцы муки пшеничной первого сорта (МПХ), предварительно хранившиеся в течение 9 мес. в условиях вакуума с соблюдением всех режимов хранения образцов ЦСМПЗП.

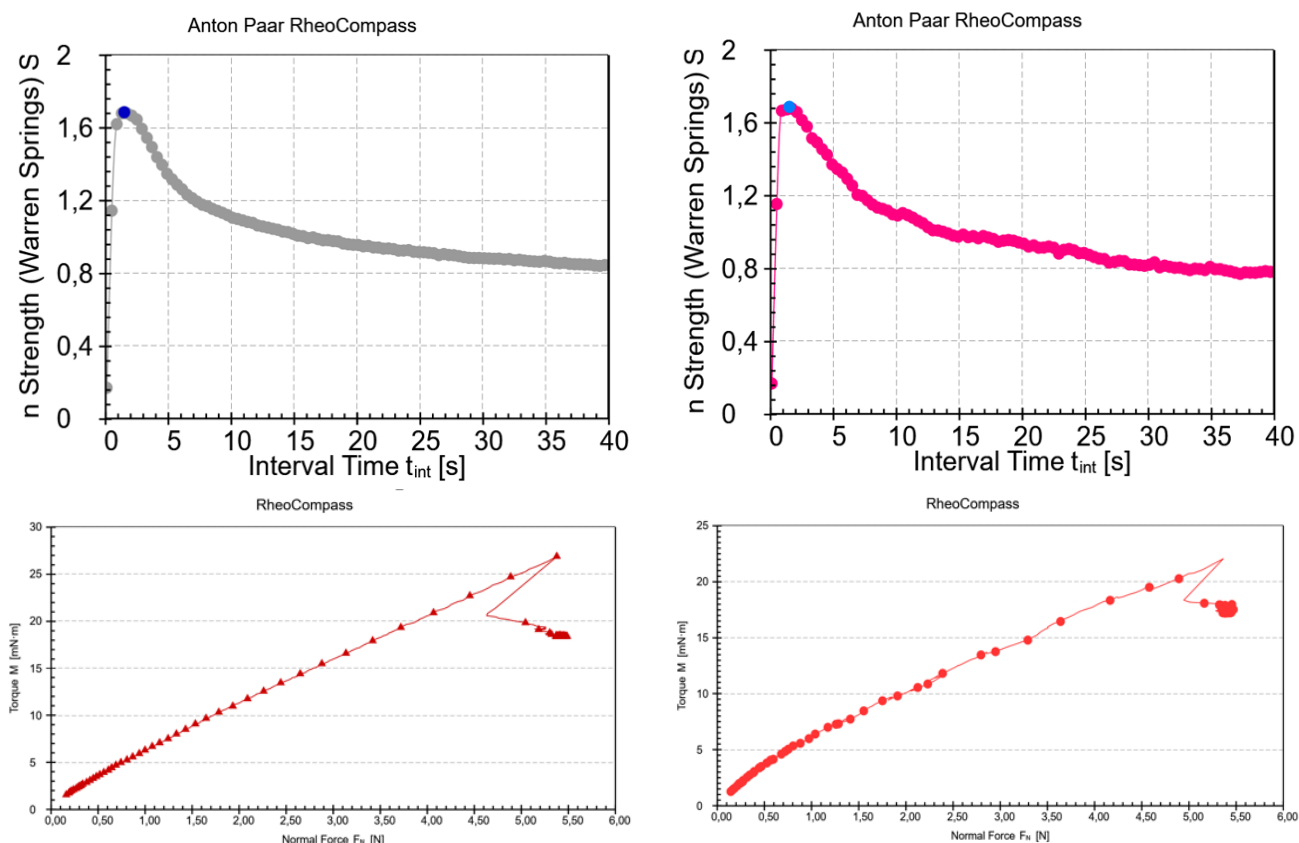
*a* – МПХ*б* – ЦСМПЗП (после хранения в вакууме 9 мес.)

Рисунок 71 – Характерный вид кривых адгезионных свойств и крутящего момента (реометр Physica MCR 102)

Анализ полученных данных позволяет говорить о хорошей сходимости значений показателей динамической вязкости контрольных (МПХ) и опытных (ЦСМПЗП) образцов. Максимальная динамическая вязкость у сухих образцов МПХ и образцов ЦСМПЗП составила 1,68 кПа и была достигнута к 1,5 с. Характер распределения крутящего момента от приложенного усилия носит аналогичный характер, что подтверждает идентичность свойств полученных образцов и позволит легко смешивать компоненты при производстве хлебобулочных изделий. Сырьевой ингредиент ЦСМПЗП не теряет своих свойств в процессе хранения и может быть использован для производства хлебобулочных изделий в течение 9 мес.

На основе анализа массива данных результатов исследований дана характеристика особенностей компонентного состава, потребительских свойств, безопасности и сохраняемости цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.

Установлено, что процесс контролируемого проращивания позволяет получить наиболее сбалансированный по аминокислотному составу сырьевой ингредиент, повысить его усвояемость, а также содержание витаминов в нем группы В и минеральных веществ (кальция, калия, магния, натрия и цинка).

Теоретически и экспериментально обосновано, что использование процесса проращивания при получении ЦСМПЗП вызывает сложные биохимические превращения, которые способствуют значительному накоплению антиоксидантов в сырьевом ингредиенте. Наибольший эффект достигается за счет присутствия таких соединений, как фенольные кислоты, флавоноиды и полифенольные соединения, что обуславливает высокую антиоксидантную емкость ЦСМПЗП. Также повышается антиоксидантная и мембраностабилизирующая активность данного сырьевого ингредиента, что подтверждено экспериментально путем определения лизирующей концентрации ядов для инфузорий *Paramecium caudatum*.

Результаты проведенных исследований позволили доказать, что использование УЗВ в процессе проращивания зерна пшеницы способствует синтезу и накоплению такой непотеиновой аминокислоты, как γ -аминомасляная кислота, количество которой увеличивается в среднем в 3,2 раза и имеет высокие значения индекса биодоступности после проведения процедуры переваривания в модели *in vitro*.

В ходе собственных исследований доказана сохраняемость ЦСМПЗП в условиях вакуума в течение 9 мес., что позволяет рекомендовать ее в качестве сырьевого ингредиента при создании продуктов для здорового питания.

ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Увеличение в сегменте хлебопекарного производства количества небольших пекарен, а также крупных индустриальных производств, работающих в дискретном режиме, диктует необходимость развития технологий, позволяющих обеспечить высокое качество, инновационный ассортимент и микробиологическую безопасность выпускаемой продукции [30; 57; 79; 80].

Использование технологии проращивания зерна пшеницы способствует повышению его пищевой ценности и обеспечению добавленной стоимости конечных продуктов. Данное направление является динамично развивающимся в России. Хлебобулочные изделия из цельного пророщенного зерна пшеницы или с добавлением его в каких-либо пропорциях выступают в качестве источника биологически активных веществ (лимитирующих аминокислот, витаминов, минеральных веществ) и пищевых волокон (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина), что является необходимой составляющей рационального питания населения.

Важной научно-практической задачей в рамках данного раздела работы являлось изучение процессов встраивания сырьевого ингредиента ЦСМПЗП в систему продукта, что будет способствовать улучшению свойств готового изделия.

6.1 Экспериментальное обоснование количества цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы для обеспечения качества хлебобулочных изделий

Хотя ЦСМПЗП является источником полезных для здоровья человека веществ, ее включение в рецептуру хлебобулочных изделий может вызвать нега-

тивные изменения их структурных и сенсорных свойств, что в целом приведет к ухудшению восприятия потребителями таких изделий.

Использование ЦСМПЗП приводит к изменению свойств теста и параметров процесса тестоведения. В результате этого может усложниться процесс производства хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП, которые сочетали бы требуемый уровень функциональности (полезных свойств) и качество, эквивалентное продуктам из сортовой муки.

Все стадии производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки включают определенное количество технологических операций, обусловленное видом изготавливаемой продукции. В силу качественного изменения свойств полуфабриката, происходящего на поточной линии, и различий в характере обрабатывающих воздействий не всегда возможно найти общую систему характеристик, адекватно описывающих эти стороны производства в любой точке технологической цепи и, следовательно, построить четкую модель производства в целом [7; 11; 69; 70; 106; 108; 111]. Так, технологическая цепочка производства изделий из пшеничной муки представляет собой множество взаимодействующих систем, каждая из которых целостна в определенной технологической операции по некоторому объективному набору управляющих параметров [169].

Для изучения влияния ЦСМПЗП на процесс производства и качество хлебобулочных изделий было исследовано изменение хлебопекарных свойств модельных смесей муки.

Объектами исследования для моделирования процесса тестоведения были определены:

- контрольные образцы муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (далее – МПХ) производства ООО «Объединение „Союзпищепром“», г. Челябинск;
- опытные образцы – модельные смеси муки (далее – СМ-1), полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в процентном соотношении 90:10 соответственно;

– опытные образцы – модельные смеси муки (далее – СМ-2), полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в процентном соотношении 80:20 соответственно;

– опытные образцы – модельные смеси муки (далее – СМ-3), полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в процентном соотношении 70:30 соответственно;

– опытные образцы – модельные смеси муки (далее – СМ-4), полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в процентном соотношении 60:40 соответственно;

Номенклатура изменения показателей при внесении ЦСМПЗП включала:

- число падения муки ЧП (с) и число разжижения (усл. ед.);
- массовую долю сырой клейковины (%) и ее качество (ед.);
- силу муки по расплываемости шарика теста (мм);
- газообразующую (мл CO_2) и сахарообразующую (мг мальтозы) способность муки;
- реологические характеристики теста: эффективная вязкость (кПа), касательное напряжение (кПа·с), предельное напряжение сдвига ($\text{Па} \cdot 10^{-2}$);
- органолептические показатели хлебобулочных изделий, полученных в результате пробной лабораторной выпечки (внешний вид, цвет корки, состояние мякиша, вкус, хруст, комкуемость при разжевывании, крошковатость);
- физико-химические показатели хлебобулочных изделий, полученных в результате пробной лабораторной выпечки (влажность (%), пористость (%), кислотность (град. кислотности)).

Для определения влияния ЦСМПЗП на реологические характеристики теста производился опытный замес с использованием рецептуры, представленной в таблице 34.

Для определения влияния ЦСМПЗП на качество хлебобулочных изделий первоначально была осуществлена пробная лабораторная выпечка согласно ГОСТ 27669. Рецептура полученных образцов представлена в таблице 34.

Таблица 34 – Рецептуры опытных образцов хлеба (пробная лабораторная выпечка, согласно ГОСТ 27669)

Наименование сырья	Расход сырья (в натуре), г				
	МПХ	СМ-1	СМ-2	СМ-3	СМ-4
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (влажность 14 %)	1 116	1 004	893	781	670
ЦСМПЗП (влажность 14%)	–	112	223	335	446
Дрожжи прессованные хлебопекарные	30	30	30	30	30
Соль пищевая	15	15	15	15	15
Вода	609	609	609	609	609

Все исследуемые образцы готовились безопасным способом без изменения технологии [34; 137]. Качество образцов оценивали через 4 ч после выпечки.

Ферментативная активность муки в процессе проращивания значительно увеличивается, что влияет на число падения муки и удельный объем готовых изделий. Также это обуславливает длительность процесса тестоприготовления и сохраняемость хлебобулочных изделий. При этом амилалитические ферменты, образующиеся в процессе проращивания, расщепляют крахмал и сахарозу на моно- и дисахариды [133; 171; 189]. В дрожжевом тесте данный факт может повысить активность дрожжей и ускорить брожение теста. Иногда возможно сокращение времени брожения или снижение температуры процесса тестоприготовления при достижении того же удельного объема хлебобулочных изделий, что и из сортовой муки без добавления продуктов из пророщенного зерна пшеницы. Исследователи отмечают, что из-за увеличения содержания простых сахаров во время проращивания зерна пшеницы, возможно снижение рецептурного количества вносимого сахара-песка. Также отмечается наиболее выраженное потемнение мякиша и корки изделий в результате более интенсивного протекания реакции Майяра [172].

Основополагающим интегральным реологическим показателем состояния углеводно-амилазного комплекса муки пшеничной хлебопекарной и ее биотехнологических свойств является показатель ЧП, который, с одной стороны, является прямым показателем активности собственных амилаз муки и атакуемости крахмала, а с другой – косвенным показателем сахарообразующей способности полуфабриката, который обуславливает жизнедеятельность дрожжевых клеток и мо-

лочнокислых бактерий при протекании таких технологических операций, как созревание теста и окончательная расстойка тестовых заготовок [108; 171].

Для практического использования метода определения ЧП при регулировании качества смеси муки пшеничной хлебопекарной и ЦСМПЗП необходимо решить еще один вопрос. Важно располагать данными о том, при каком уровне ЧП модельной смеси муки могут быть получены хлебобулочные изделия оптимального качества, и можно ли, ориентируясь на данный показатель, составлять партии, обеспечивающие выработку качественной продукции. Согласно данным исследований В. Я. Черных с коллегами [17; 171] критической точкой показателя ЧП является значение (135 ± 15) с, которое обеспечивают 6 % сахаров в рецептурной смеси, необходимых для протекания процесса брожения полуфабрикатов (3 %) и для образования меланоидинов при выпечке (3 %), обуславливающих цвет корки изделия.

При проведении эксперимента также была рассчитана величина числа разжижения, которая подчиняется закону аддитивности [171]. Зная ее, можно построить прямую, которая покажет, каким образом возможно получить смесь муки с заданными характеристиками, обеспечивающими выработку качественных хлебобулочных изделий. Результаты определения ЧП и числа разжижения контрольных и опытных образцов смеси муки представлены на рисунке 72.

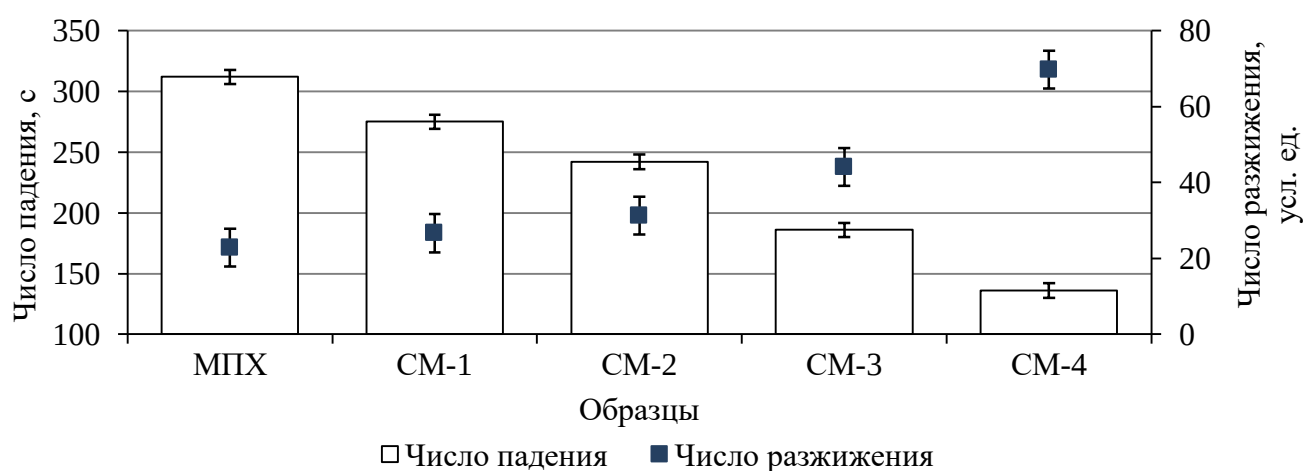


Рисунок 72 – Результаты определения влияния ЦСМПЗП на изменение показателей числа падения и числа разжижения опытных образцов смеси муки

Полученные результаты свидетельствуют, что наилучшие для процесса тестоведения значения ЧП можно отметить у образцов СМ-2, замена же большей части сортовой муки на ЦСМПЗП приводит к увеличению активности α -амилазы и излишнему разжижению клейстера крахмала смеси муки. Это объясняется тем, что α -амилаза способна отщеплять ответвления гликозидных цепочек амилопектина, превращая его в низкомолекулярные декстрины, что приводит к значительному разжижению субстрата.

На практике недостаточно проводить измерения только ЧП для регулирования качества хлебобулочных изделий из пшеничной муки; необходимо отслеживать качество и количество клейковины, изменения реологических характеристик теста и качество готовых изделий.

В пшеничном тесте набухшие нерастворимые в воде белки образуют его непрерывную губчато-сетчатую структурную основу, в значительной мере обуславливающую реологические свойства теста и хлебобулочных изделий. Поэтому содержание в муке клейковины и ее характеристики, в первую очередь реологические, можно рассматривать как один из основных показателей силы муки [8]. Результаты определения массовой доли сырой клейковины и качества клейковины смесей муки представлены на рисунке 73.

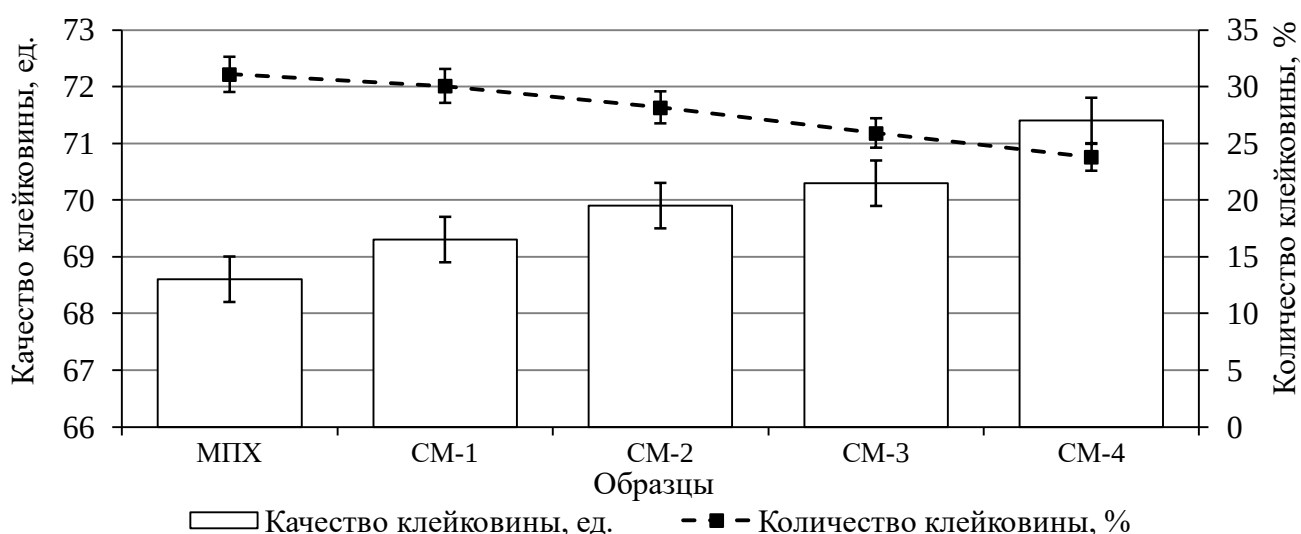


Рисунок 73 – Результаты определения влияния ЦСМПЗП на изменение показателей количества и качества клейковины опытных образцов смеси муки

Анализ полученных результатов указывает на способность ЦСМПЗП оказывать незначительное расслабляющее действие на клейковину пшеничной муки. Среднее увеличение значений ИДК по отношению к контролю составляет 1,2 и 1,8 % у образцов СМ-1 и СМ-2 соответственно. Данная динамика сохраняется и при замене большей части пшеничной муки на ЦСМПЗП. Количество клейковины при этом снижается, что обусловлено невысоким содержанием клейковины в ЦСМПЗП, а минимальных регламентируемых пределов значение данного показателя достигает при замене 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП.

Таким образом, можно отметить, что наиболее целесообразно использовать ЦСМПЗП для производства продуктов из пшеничной муки с высоким выходом клейковины, излишне крепкой по своим упругим свойствам.

Специфические структурно-механические свойства клейковины – эластичность, упругость и др. – имеют большое значение для хлебопечения, так как белки образуют в структуре пшеничного теста пространственную упруго-эластичную сетку. Качество клейковины оказывает сильное влияние на газодерживающую, формоудерживающую и водопоглотительную способность теста, от которых, в свою очередь, зависят такие показатели качества хлебобулочных изделий, как их объем, форма, внешний вид, структура мякиша и др., а также важнейший экономический показатель – выход изделий [117].

Результаты исследования влияния ЦСМПЗП на изменение качества клейковины в процессе расстойки теста из контрольных и опытных образцов смеси муки представлены в таблице 35.

Образец клейковины, полученный отмыванием из теста, замешенного на МПХ, на протяжении всего эксперимента характеризовался постепенным расслаблением клейковины. Расслабление клейковины происходит под действием протеиназ, которые дезагрегируют белок, нарушая его четвертичную и третичную структуру. Присутствие в тесте веществ, таких как глутатион, который является активатором протеолиза, резко усиливает данный процесс и вызванное им разжижение теста. Поэтому в процессе расстойки шарик клейковины постепенно расслабляется [8; 58].

Таблица 35 – Результаты определения влияния ЦСМПЗП на изменение показателя ИДК_{деф} клейковины во время расстойки теста, полученного из контрольных и опытных образцов смесей муки

Образец	Продолжительность расстойки теста, мин						
	20	50	80	110	140	170	200
	Показатель ИДК _{деф} , ед. ИДК						
МПХ	48 ± 0,4	58 ± 0,7	59 ± 0,6	60 ± 0,5	66 ± 0,3	71 ± 0,5	73 ± 0,9
СМ-1	49 ± 0,3	51 ± 0,2	53 ± 0,4	58 ± 0,3	68 ± 0,6	73 ± 0,2	76 ± 0,4
СМ-2	57 ± 0,3	59 ± 0,4	62 ± 0,4	64 ± 0,2	73 ± 0,5	75 ± 0,3	78 ± 0,4
СМ-3	61 ± 0,3	65 ± 0,3	72 ± 0,2	75 ± 0,3	79 ± 0,6	82 ± 0,5	85 ± 0,6
СМ-4	67 ± 0,5	71 ± 0,4	76 ± 0,3	79 ± 0,2	82 ± 0,5	84 ± 0,3	86 ± 0,4

Результаты исследований показали, что замена 30 и 40 % сортовой муки на ЦСМПЗП способна влиять на структурно-механические свойства клейковины уже на начальном этапе. После 20 мин расстойки теста ИДК клейковины имеют достаточно высокие значения, но при этом ее еще можно охарактеризовать как «хорошую», тогда как после 110 мин расстойки для образцов СМ-4 и 140 мин образцов СМ3 клейковина характеризуется как «удовлетворительно слабая».

В. Я Черных со своими коллегами установили [17; 108; 169; 171], что одной из критических точек технологических свойств пшеничной муки является показатель ИДК_{деф} клейковины, оптимальное значение которого составляет от 75 до 80 ед. ИДК. Замена 10 и 20 % сортовой муки ЦСМПЗП не оказывает выраженного расслабляющего действия на клейковину пшеничной муки и даже через 200 мин расстойки она характеризуется как «хорошая». Умеренное расслабление клейковины может быть связано, с одной стороны, с действием протеолитических ферментов, которые приводят к распаду дисульфидных связей с одновременным образованием сульфгидрильных групп и ослаблению качества клейковины, а с другой стороны, с действием липоксигеназы, которая в процессе замешивания окисляет кислородом воздуха ненасыщенные жирные кислоты, образуя их перекиси (пероксиды), обладающие сильным окисляющим действием, что укрепляет клейковину и улучшает ее физические свойства.

По мнению ряда ученых [7; 51], прогнозировать качество готовых изделий, опираясь только на приведенные выше показатели, невозможно, поскольку их зна-

чения далеко не всегда коррелируют с результатами пробных выпечек хлебобулочных изделий. Известно, что белки пшеничного теста представляют собой весьма лабильные коллоиды, реологические свойства которых могут сильно изменяться под влиянием различных химических и физических воздействий. Анализ результатов исследований влияния различных факторов на реологические свойства отмытой клейковины и теста позволяет выделить группу веществ, не влияющих на свойства изолированной клейковины, но при этом повышающих эластичность и снижающих растяжимость теста. Кроме того, существуют данные о значительных различиях веществ, изменяющих реологию теста, по скорости проявления эффекта воздействия, некоторые из них оказывают влияние уже в момент замеса теста, а для проявления других требуется не менее часа времени [7; 15; 51; 73; 131].

По этой причине нами было принято решение об исследовании влияния ЦСМПЗП на физические свойства теста, которое устанавливалось по таким показателям, как расплываемость шарика теста, эффективная вязкость и касательное напряжение, а также предельное напряжение сдвига.

Результаты, полученные в ходе определения физических свойств исследуемых образцов, представлены на рисунке 74.

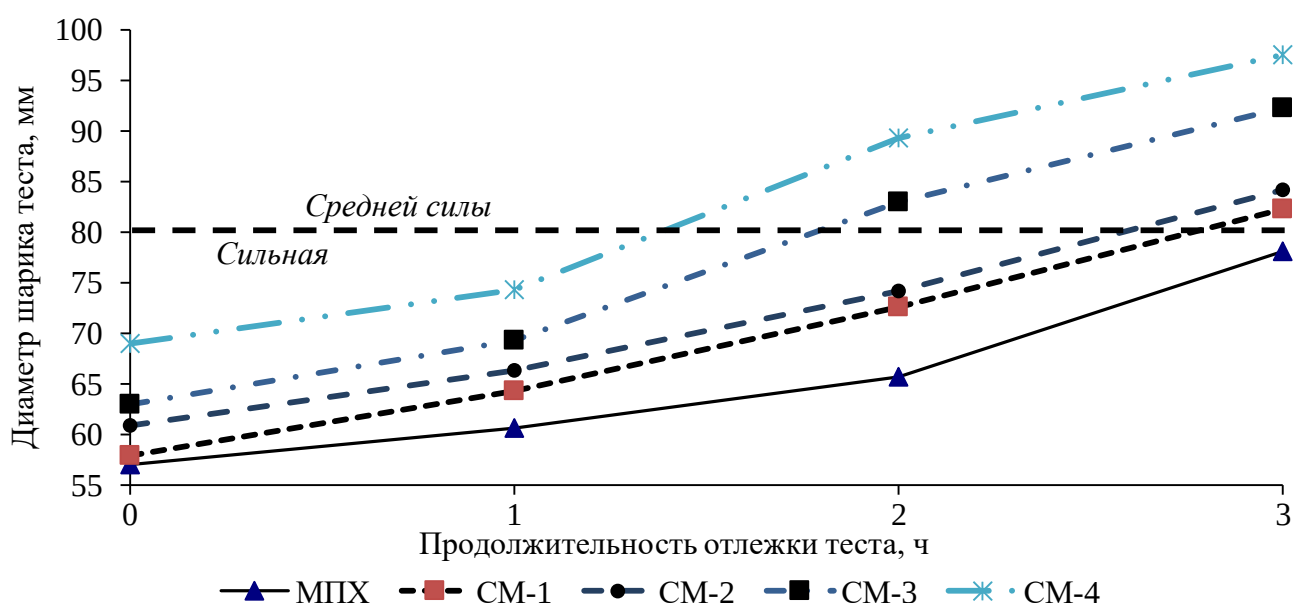


Рисунок 74 – Результаты определения влияния ЦСМПЗП на изменение силы муки для контрольных и опытных образцов смесей муки

Контрольные образцы муки (МПХ) по расплываемости шарика теста можно отнести в группу сильной: через 3 ч диаметр шарика равнялся ($78 \pm 1,3$) мм. Для образцов СМ-1 и СМ-2 наблюдалось снижение данного показателя в среднем на 5,5 и 7,8 %, что позволило отнести данные смеси муки к сильной.

При сопоставлении результатов исследований влияния ЦСМПЗП на качество клейковины и расплываемость тестового шарика у образцов СМ-1 и СМ-2 обнаружено некоторое противоречие между реологическими свойствами клейковины и теста. ЦСМПЗП, оказывая незначительно расслабляющее действие на пшеничную клейковину при ее отмывании, одновременно практически не уменьшает расплываемость тестового шарика при длительной его отлежке.

Можно предположить, что незначительные изменения расплываемости тестового шарика при длительной его отлежке и данном количестве ЦСМПЗП обусловлены не только клейковинными белками, но и водорастворимыми пентозанами, которые входят в ее состав. Рекогносцировочные исследования, проводимые на экстенсографе Брабендера показали, что внесение водорастворимых пентозанов при замесе теста значительно его стабилизирует и повышает сопротивление разжижению, что обусловлено способностью данных веществ поглощать воду с образованием густых, вязких гелей [51]. Можно предположить также, что укрепление теста происходит из-за перераспределения влаги между его компонентами: понижение гидратации клейковины за счет конкурирующего поглощения воды пентозанами [51; 131].

У образцов СМ-3 и СМ-4 наблюдалось значительное расплывание шарика теста и потеря его формоустойчивости. По-видимому, количества клейковины в данном соотношении недостаточно для закрепления каркаса теста, и действие пентозанов не может нивелировать данный процесс.

Кроме того, есть все основания предполагать, что значительную роль в повышении формоустойчивости теста играют ненасыщенные жирные кислоты ЦСМПЗП, так как они содержатся в алейроновом слое и зародыше, которые при измельчении полностью переходят в муку. Образующиеся под действием кислорода воздуха в присутствии липоксигеназы перекиси и гидроперекиси непредель-

ных жирных кислот способны окислять не только белковые вещества клейковины, но и крахмал с образованием полиальдегидного крахмала. Последний обуславливает повышение вязкости и снижение распыляемости теста, как было установлено в ряде работ [6; 7; 22; 43; 51; 137]. Таким образом, нашими исследованиями установлено, что замена 10 и 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП незначительно снижает выход сырой клейковины, увеличивает ее ИДК, при этом практически не влияет на формоустойчивость тестового шарика.

Наиболее значимыми показателями, позволяющими прогнозировать качество готовых хлебобулочных изделий, являются сахарообразующая и газообразующая способность муки.

Необходимым условием интенсификации процесса брожения и разрыхления теста являются сахарообразующие свойства муки, которые характеризуются ее способностью в процессе тестоведения обеспечивать дрожжи достаточным количеством сахара и образовывать резерв остаточных сахаров, необходимых для получения хлебобулочных изделий высокого качества. Результаты определения влияния ЦСМПЗП на сахарообразующую способность муки представлены на рисунке 75.

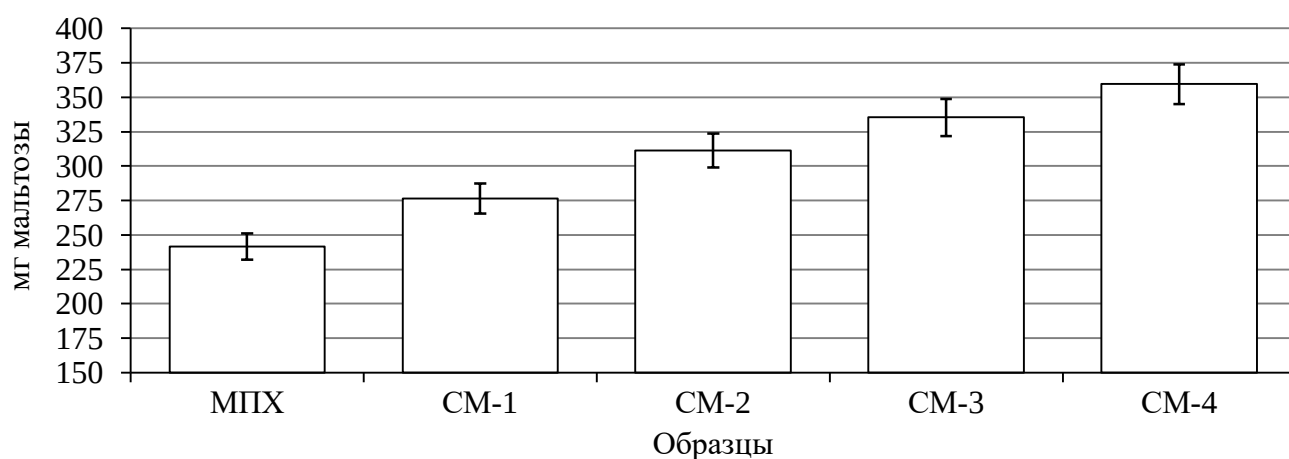


Рисунок 75 – Результаты изменения сахарообразующей способности контрольных и опытных образцов смесей муки, мг мальтозы

Результаты определения данного показателя свидетельствуют о существенном влиянии замены ЦСМПЗП на сахарообразующую способность полученных

смесей. Оно особенно выражено в сравнении с предшествующими показателями, что обусловлено значительным различием доступности сложных углеводов сортовой пшеничной муки и ЦСМПЗП действию амилалитических ферментов, содержанием в последней в большем количестве клетчатки, пентозанов и декстринов.

В тесной связи с сахарообразующей способностью муки находится ее газообразующая способность. От жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий будут зависеть такие показатели качества хлебобулочных изделий, как пористость мякиша, удельный объем, вкус и аромат. Углекислый газ, образуемый дрожжами и неистинными молочнокислыми бактериями, во взаимодействии с белками теста обеспечивает пористость мякиша и объем изделий. Результаты определения влияния ЦСМПЗП на газообразующую способность муки представлены на рисунке 76.

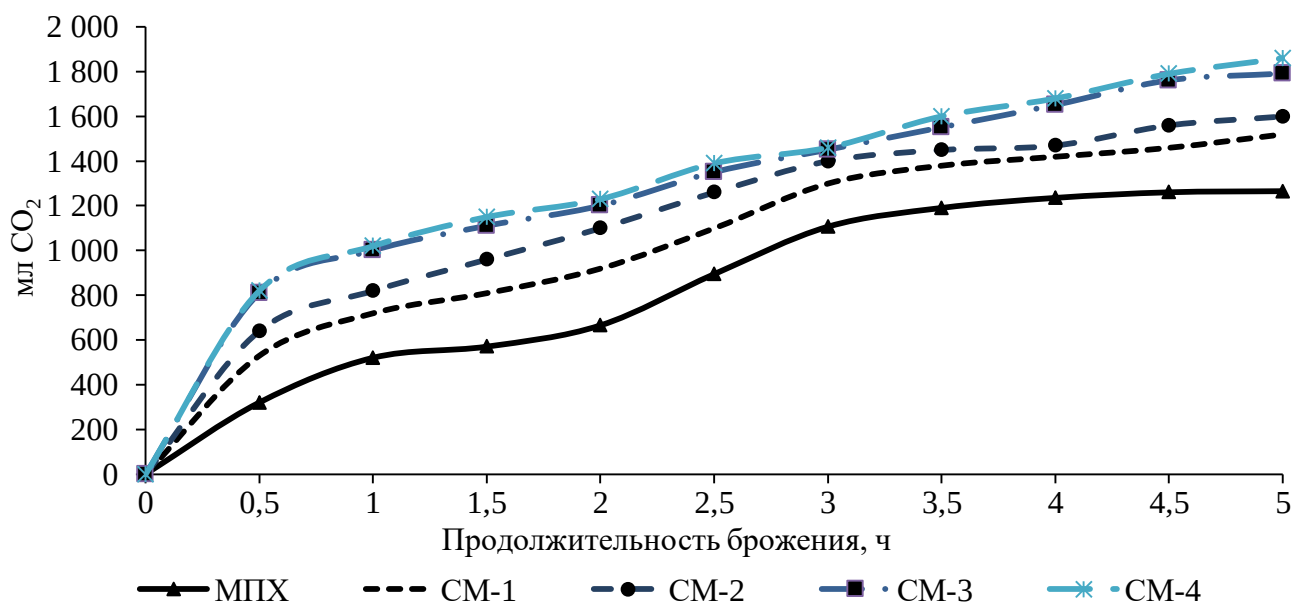


Рисунок 76 – Результаты динамики изменения газообразующей способности контрольных и опытных образцов смеси муки, мг CO₂

Полученные результаты свидетельствуют о том, что замена сортовой муки на ЦСМПЗП приводит к увеличению газообразующей способности получаемых смесей в целом. При этом были отмечены отклонения от характерной картины брожения безопарного теста. Так, согласно литературным данным [51], процесс

брожения безопарного теста характеризуется наличием спада интенсивности через 1,5–2 ч и ее увеличением в период 2,5–3 ч брожения.

Для образцов СМ-1, СМ-2, СМ-3 и СМ-4 интенсивность брожения в течение 2 ч оставалась достаточно стабильной, что обусловлено достаточно высоким количеством сахаров в ЦСМПЗП, доступных для пищеварительного аппарата дрожжей.

Рассматривая заключительный период эксперимента (4–5 ч), следует отметить снижение интенсивности брожения для образца МПХ, что связано с ограниченной способностью ферментов гидролизовать крахмал. Опытные же смеси муки по-прежнему имели достаточно высокие значения выделяемого объема CO_2 . При этом общее количество выделенного CO_2 характеризовалось значительными расхождениями.

Среди факторов, обусловивших интенсификацию процесса газообразования, в качестве приоритетных следует выделить увеличение доли сбраживаемых сахаров, а также активизацию деятельности дрожжей за счет увеличения доли питательных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности дрожжей, при внесении ЦСМПЗП [7; 51; 119].

Для понимания механизма воздействия ЦСМПЗП на структурно-механические свойства клейковины и теста, необходимо четко представлять, что тесто – значительно более многокомпонентная система, чем отмытая из него клейковина. В последней основным компонентом являются клейковинные белки, тогда как в тесте основным по количеству компонентов служит крахмал, наряду с которым присутствуют другие полисахариды, а также значительное количество водорастворимых веществ различной природы. Изменения вязкостных и адгезионных свойств теста необходимо контролировать не только с точки зрения качества готовых изделий, но и с точки зрения технологического процесса.

Наиболее важными физико-химическими характеристиками полуфабрикатов хлебопекарного производства являются интегральные характеристики, которые могут рассматриваться как зависимость от множества базисных переменных состояния полуфабриката и готовой продукции. Важно также то, что такая харак-

теристика является реакцией системы, в формировании которой участвовали все ее составные части. К таким характеристикам, отражающим состояние полуфабрикатов на качественном уровне для большинства, если не для всех технологических операций, можно отнести реологические характеристики.

На данной стадии эксперимента в качестве контролируемых реологических характеристик были определены вязкость и касательное напряжение теста, а также предельное напряжение сдвига опытных образцов пшеничного теста, полученных на основе контрольных и опытных смесей согласно рецептуре пробной лабораторной выпечки, описанной выше.

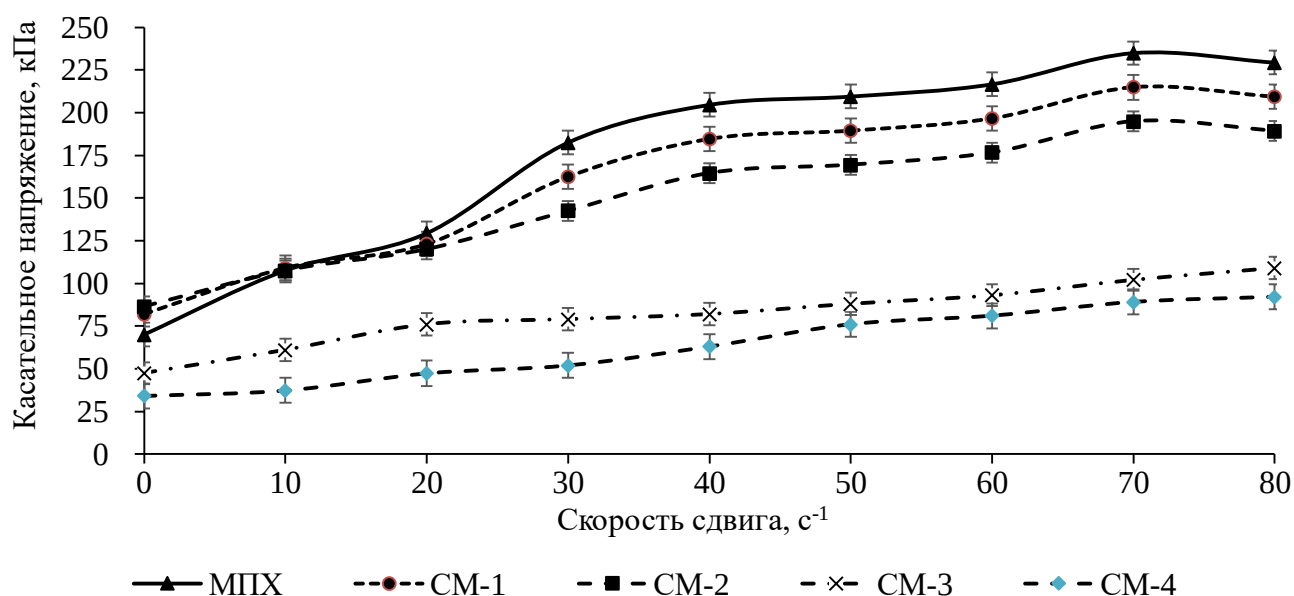
Измерения вязкости проводили сразу после замеса и в конце (через 120 мин с применением однократной обминки в середине процесса) брожения теста. При проведении эксперимента температура образцов была на уровне $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$, влажность теста – $(44 \pm 0,5)\%$. Результаты определения влияния ЦСМПЗП на изменение касательного напряжения пшеничного теста с использованием реометра фирмы Brookfield представлены на рисунке 77.

Образцы хлебопекарного пшеничного теста можно охарактеризовать как неньютоновские упругопластичные массы, у которых в области малых скоростей преобладают упруговязкие, а в области больших скоростей – упругопластичные свойства как после замеса, так и в конце брожения [51; 254].

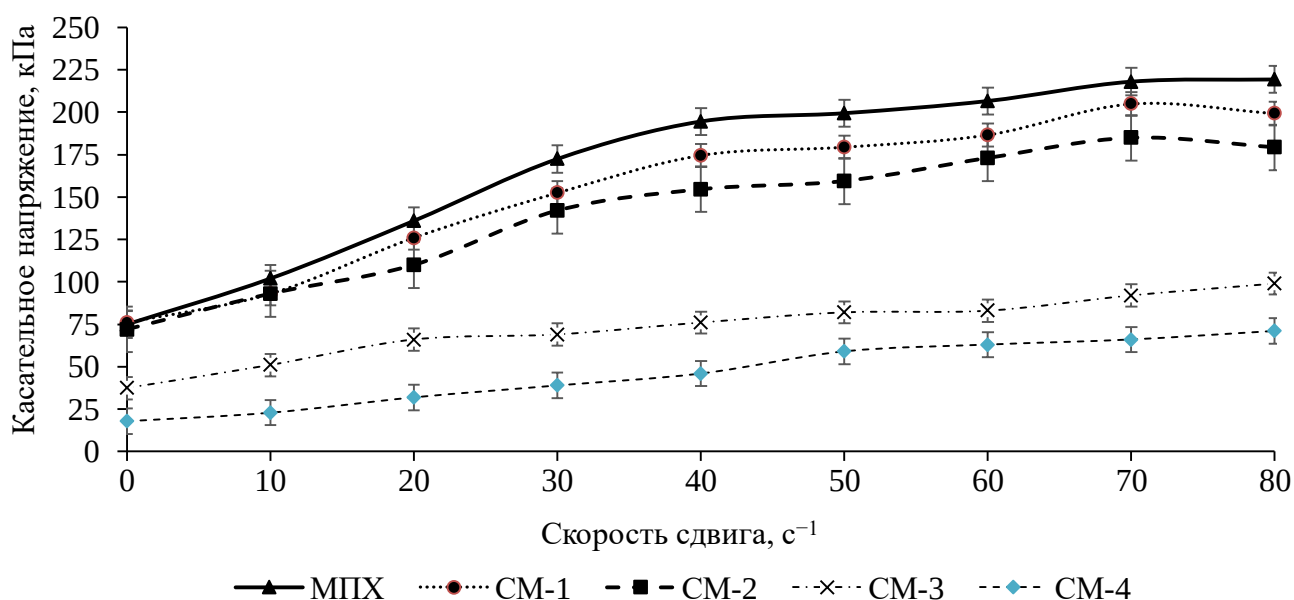
При добавлении ЦСМПЗП происходит изменение его реологических свойств (снижение упругих и увеличение пластичных). Это можно объяснить снижением массовой доли белков клейковины, что способствует расслаблению клейковинного каркаса. Действие активизирующихся ферментов в процессе проращивания зерна пшеницы и получения ЦСМПЗП носит сложный характер. Так, отмечается повышенная активность фермента α -амилазы, которая разжижает тесто; такое же действие имеют ферменты пентозаназы, гидролизующие пентозаны. В то же время непредельные жирные кислоты, выделяющиеся из жира под влиянием триацилглицероллипазы, наоборот, укрепляют его [6; 46].

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что с увеличением дозировки ЦСМПЗП происходит снижение упругих свойств теста и уве-

личение пластичных. Наблюдается снижение эффективной вязкости как после замеса, так и в конце брожения (через 120 мин с применением однократной обминки в середине процесса) (рисунок 78).



а – сразу после замеса



б – в конце брожения (через 120 мин с применением однократной обминки в середине процесса)

Рисунок 77 – Результаты изменения касательного напряжения контрольных и опытных образцов теста, полученных из смесей муки, кПа

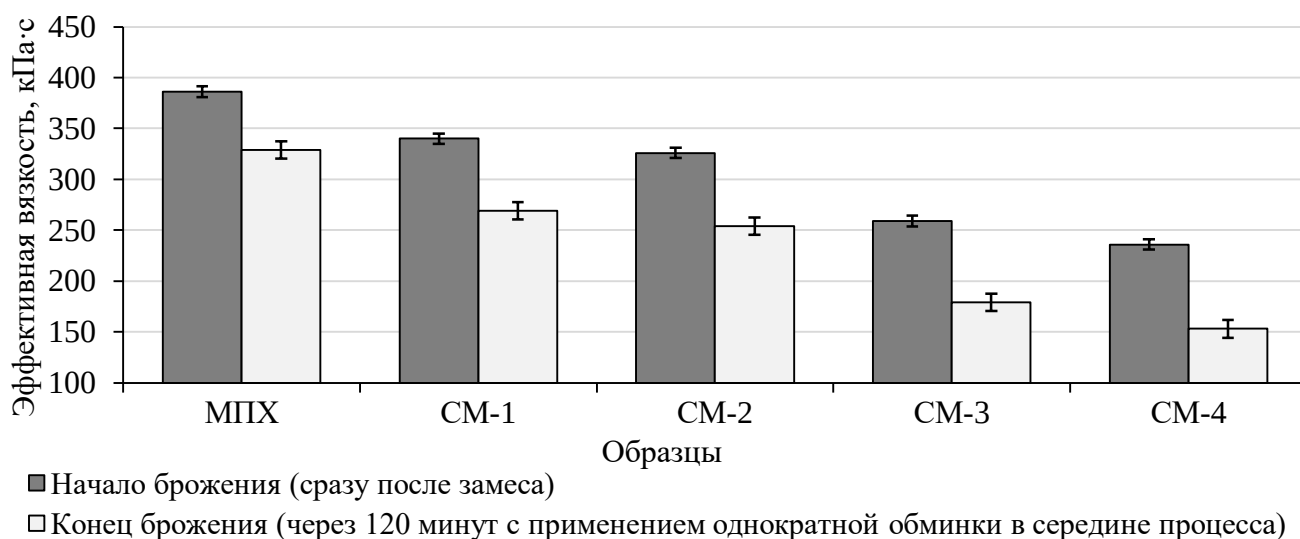


Рисунок 78 – Результаты изменения определения показателя эффективная вязкость теста, полученных из контрольных и опытных образцов смесей муки, кПа·с

Анализ полученных данных позволяет сказать, что с увеличением дозировки ЦСМПЗП наблюдается снижение эффективной вязкости теста как после замеса, так и в конце брожения. Причем при замене в количестве 10 и 20 % не наблюдается резкого изменения данной характеристики (в среднем на 11,4 и 15,5 % в начале брожения и на 18,2 и 22,8 % в конце брожения соответственно). Можно предположить, что вследствие меньшей вязкости теста накопленный в результате брожения диоксид углерода будет расширяться сильнее, что приведет к увеличению удельного объема и пористости готовых изделий.

Замена пшеничной муки на 30 и 40 % ЦСМПЗП приводит к резкому снижению данной характеристики (в среднем на 32,9 и 38,9 % в начале брожения и 45,6 и 53,5 % после брожения), тесто было излишне жидким и липким, что в дальнейшем при выпечке изделий из такой смеси муки может обусловить липкий неэластичный мякиш и впалую корку. Такое интенсивное изменение эффективной вязкости теста связано с расслаблением его структуры за счет снижения количества клейковины пшеничной муки при замене ее на цельносмолотую [51; 254], а также повышенной активностью амилолитических ферментов и разжижением крахмала.

Предельное напряжение сдвига теста сразу после замеса (рисунок 79) определяли на приборе «Структурометр СТ-2». Используемый вид наконечника для теста – конус. Определение проводили с использованием следующих параметров:

- глубина внедрения конуса в тесто ($h_b = 7$ мм);
- усилие касания ($F_k = 5$ г);
- скоростью внедрения ($V_d = 1$ мм/с).

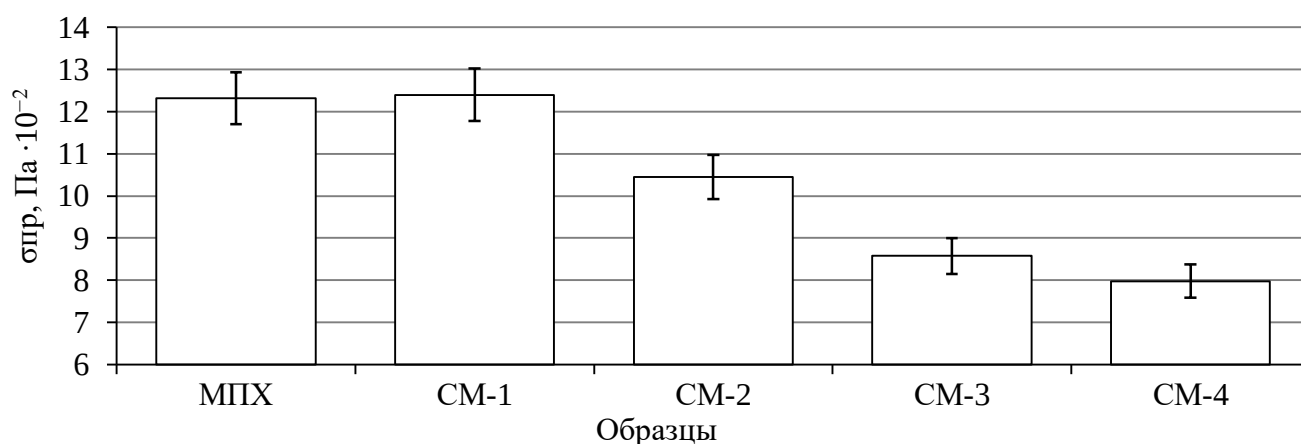


Рисунок 79 – Результаты определения предельного напряжения сдвига модельных образцов теста, полученных из контрольных и опытных образцов смеси муки

При расчетах учитывался угол при вершине конуса 45°.

Использование ЦСМПЗП в количестве 10 % не оказывает статистически значимого влияния на изменение предельного напряжения сдвига пшеничного теста. При замене 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП значение предельного напряжения сдвига снижается до $(10,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-2}$ Па, что приводит к получению более эластичного и подвижного теста, способного удерживать накопившийся в процессе брожения диоксид углерода. Замена же 30 и 40 % сортовой муки на ЦСМПЗП влечет за собой снижение предельного напряжения сдвига теста в среднем на 30 и 35 % соответственно, что согласуется с данными о снижении вязкости. Такое тесто может не только усложнить процесс разделки (привести к залипанию теста на рабочих органах оборудования, замазыванию рабочих поверхностей тестоделителя и

др.), но и обусловить ухудшение качества готовых изделий. Формовой хлеб из теста с такой консистенцией, приготовленный с сохранением традиционных технологических режимов, может иметь пониженный объем и неразвитую пористость.

Качество получаемых изделий имеет первостепенное значение потребителей. Внесение ЦСМПЗП влияет на хлебопекарные свойства муки и реологические характеристики теста, что повлияет на качество готовых изделий. Для определения влияния ЦСМПЗП на качество хлебобулочных изделий была осуществлена пробная лабораторная выпечка согласно ГОСТ 27669. Органолептическая оценка полученных образцов хлеба представлена в таблице 36.

Таблица 36 – Результаты органолептической оценки исследуемых образцов хлеба (пробная лабораторная выпечка)

Показатель	Контрольные и опытные образцы хлеба, полученные из модельных смесей муки				
	МПХ	СМ-1	СМ-2	СМ-3	СМ-4
Внешний вид	Правильная форма, неровная с трещинами поверхность корки	Правильная форма, неровная поверхность корки	Правильная форма, гладкая поверхность корки	Правильная форма пониженного объема, поверхность корки с трещинами	Неправильная форма пониженного объема, неровная поверхность корки
Цвет корки	Бледно-желтая	Светло-коричневая	Коричневая	Коричневая	Темно-коричневая
Состояние мякиша	Равномерно белый, средней эластичности, со средней неравномерной толстостенной пористостью, нелипкий. Отмечается плотность мякиша	Равномерно светло-коричневый, средней эластичности, со средней тонкостенной пористостью, нелипкий	Равномерно светло-коричневый, средней эластичности, с тонкостенной пористостью, нелипкий, с различимыми включениями оболочечных частиц	Равномерно коричневый, неэластичный, слегка липкий, с неравномерной толстостенной пористостью и видимыми включениями оболочечных частиц	Равномерно коричневый, неэластичный, липкий, с неравномерной толстостенной пористостью и видимыми включениями оболочечных частиц
Вкус	Свойственный хлебобулочным изделиям	Выраженный, свойственный хлебобулочным изделиям	Выраженный, свойственный хлебобулочным изделиям, с приятным вкусом натурального пророщенного зерна	Выраженный, свойственный хлебобулочным изделиям, с приятным вкусом натурального пророщенного зерна	Свойственный хлебобулочным изделиям, с сильно выраженным вкусом натурального пророщенного зерна

Продолжение таблицы 36

Показатель	Контрольные и опытные образцы хлеба, полученные из модельных смесей муки				
	МПХ	СМ-1	СМ-2	СМ-3	СМ-4
Хруст	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Комкуемость при разжевывании	Отсутствие комкуемости	Отсутствие комкуемости	Отсутствие комкуемости	Комкуется	Комкуется
Крошковатость	Некрошащийся	Некрошащийся	Некрошащийся	Некрошащийся	Некрошащийся

Результаты исследования органолептических показателей качества свидетельствуют о том, что опытные образцы хлеба, полученного из СМ-1 и СМ-2 соответствуют требованиям стандарта. При этом имеются значительные различия в органолептических показателях контрольного образца и образцов, полученных с частичной заменой сортовой муки на ЦСМПЗП. Внесение ЦСМПЗП в количестве 10 и 20 % благоприятно сказалось практически на всех показателях, в особенности внешнем виде изделий, цвете корки, состоянии мякиша, запахе и вкусе.

Образцы хлеба, полученного с использованием СМ-3 и СМ-4, имели ряд отклонений: пониженный объем изделий, неровную поверхность, липкий неэластичный мякиш и комкуемость при разжевывании. Тогда как у образцов хлеба, полученных с использованием СМ-1 и СМ-2, была отмечена правильная гладкая форма, светло-коричневая поверхность, равномерно кремовый, эластичный, с мелкой равномерной тонкостенной пористостью, нелипкий мякиш, выраженный вкус и аромат. Данные образцы имели положительные отличия от контрольных образцов: с увеличением доли ЦСМПЗП у образцов хлеба повышался удельный объем, проявлялась интенсивная окраска изделий, органолептически фиксировались более крупные частицы внесенной ЦСМПЗП как на поверхности, так и в мякише образцов хлеба.

Полученные результаты определения физико-химических показателей качества подтверждают результаты органолептической оценки (таблица 37).

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сказать, что пористость образцов хлеба при замене пшеничной муки на 10–20 % ЦСМПЗП меняется незначительно, при этом изделия характеризуются более развитой, равномер-

ной пористостью. Наиболее выражено это при замене 20 % пшеничной муки на ЦСМПЗП. При этом замена в количестве 30 и 40 % приводит к резкому ухудшению данной характеристики: у изделий отмечается неразвитая пористость, липкий мякиш и подрыв корки.

Таблица 37– Результаты определения физико-химических показателей качества пробных образцов хлеба, полученных при лабораторной выпечке

Показатели качества	Образцы модельных смесей муки				
	МПХ	СМ-1	СМ-2	СМ-3	СМ-4
Кислотность, град	$2,2 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,2$
Пористость, %	$65,2 \pm 0,3$	$66,2 \pm 0,2$	$72,5 \pm 0,3$	$72,5 \pm 0,2$	$44,5 \pm 0,2$
Влажность, %	$45,8 \pm 0,2$	$47,0 \pm 0,3$	$47,8 \pm 0,3$	$48,0 \pm 0,3$	$50,2 \pm 0,2$

Показатель влажности образцов хлеба, полученных в результате пробной лабораторной выпечки из модельных смесей муки, незначительно отличался от контрольных образцов. Максимальное увеличение значений данного показателя было отмечено для образца СМ-4 – $(9,6 \pm 0,3) \%$.

Рост показателя кислотности при замене муки первого сорта на ЦСМПЗП составил в среднем $(0,4 \pm 0,1)$ град на каждые 10 % ЦСМПЗП, что свидетельствует об интенсификации технологического процесса, более быстром нарастании кислотности теста и возможном снижении интенсивности развития картофельной палочки в процессе хранения образцов.

Совокупный анализ результатов исследования влияния ЦСМПЗП на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество готовых хлебобулочных изделий показал, что наиболее целесообразно осуществлять замену сортовой пшеничной муки на ЦСМПЗП в количестве 10 и 20 %. Это и определило объекты дальнейших исследований.

6.2 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на процессы тестоведения в технологии хлебобулочных изделий

Основным этапом технологического процесса производства хлебобулочных изделий является приготовление теста. Наряду с физическими и биохимическими процессами, протекающими в тесте во время его созревания и выпечки, важная роль принадлежит микроорганизмам. Они, особенно дрожжи, способствуют разрыхлению теста.

Известно, что для образования полноценной биомассы дрожжей питательная среда должна содержать азот, усвояемые формы углеродсодержащих соединений, макро- и микроэлементы [13; 19; 368]. Источниками углерода для дрожжей являются различные углеводы, моно- и дисахара, а также спирты, альдегиды и органические кислоты. Источником азотистого питания дрожжевых клеток являются растворимые соединения азота, органические и неорганические. Сложные высокомолекулярные протеины не усваиваются дрожжами, так как последние не содержат ферментов, расщепляющих сложные белки. Легко усваиваются дрожжами аминокислоты, а также амиды и аммонийные соединения. Аммиак является первоисточником для синтеза белковых веществ живой клетки. Аммиачный азот, отщепленный от аммонийных солей и аминокислот среды и других азотистых соединений, используется дрожжевыми клетками для синтеза собственных аминокислот.

Многочисленными исследованиями установлено, что размножение дрожжей стимулируют витамины: биотин, инозит, тиамин, пиридоксин, кислоты пантотеновая, никотиновая, парааминобензойная и фолиевая. Из них основными стимуляторами роста дрожжей являются биотин, пантотеновая кислота и инозит [23; 26; 58, 107; 148].

Как подтвердили описанные в главе 5 результаты исследований, ЦСМПЗП, выбранная в качестве сырьевого ингредиента для производства хлебобулочных изделий, отличается от сортовой пшеничной муки химическим составом, в том числе наличием и количеством веществ, необходимых для питания дрожжей.

Несмотря на проведенную ранее нами оптимизацию количества сортовой муки, заменяемой на ЦСМПЗП, в процессе производства не исключена необходимость корректировки свойств основного сырья ввиду значительной вариабельности его свойств, в том числе из-за высокой активности амилолитических ферментов. Для снижения ферментативной активности и получения хлебобулочных изделий высокого качества необходимо инактивировать α -амилазу, что возможно реализовать путем повышения кислотности теста.

С целью минимизации потенциальных рисков ухудшения качества готовых изделий был использован процесс обработки воды, используемой для замеса теста [98].

Перед замесом теста воду подготавливали путем обработки на акустическом источнике упругих колебаний – ультразвуковом низкочастотном генераторе «Волна», модель УЗТА-0,63/22-ОМ (частота $(22 \pm 1,65)$ кГц, интенсивность не менее 10 Вт/см^2 , рабочий инструмент грибкового типа).

Обработку воды осуществляли при параметрах ультразвукового воздействия, определенных в ходе рекогносцировочных исследований (экспозиция 5 мин): при частоте $(22 \pm 1,65)$ кГц, интенсивности не менее 10 Вт/см^2 , мощности (номинальной) 400 Вт (65 %). Для исключения влияния качества воды на процессы тестоведения в постановочном эксперименте использовали дистиллированную и водопроводную воду (температура воды составляла $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$). В ходе исследований была установлена минимальная вариация контролируемых показателей в зависимости от используемой воды, поэтому данный фактор не рассматривался в последующем эксперименте.

Исходя из полученных экспериментальных данных, в дальнейшем объектами исследования для моделирования процесса тестоведения были определены:

– контрольные образцы теста (далее – ПТк) – пшеничное тесто из муки первого сорта, полученное по стандартной рецептуре и технологии, согласно ГОСТ 27669;

– опытные образцы теста (далее – ПТузв-1) – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии согласно

ГОСТ 27669, полученное путем замены 10 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ;

– опытные образцы теста (далее – ПТУЗВ-2) – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии согласно ГОСТ 27669, полученное путем замены 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ;

Номенклатура показателей при внесении ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ, включала:

- количество дрожжевых клеток, млн;
- подъемную силу дрожжей, мин;
- технологической эффективности брожения (ТЭБ) теста, мл теста;
- титруемая кислотность теста, град кислотности;
- реологические характеристики теста: показатели фаринографа (водопоглощение, %; время образования теста, мин; устойчивость теста к замесу, мин; степень разжижения теста через 10 мин после старта, е. Ф.; степень разжижения теста через 12 мин после старта (ИСС), е. Ф.; показатель качества фаринографа, мм) и показатели экстенсографа (устойчивость при постоянной деформации (R_{50}), ЕЭ; растяжимость теста (E), мм; максимальная устойчивость теста (R_m), ЕЭ).

Влияние ЦСМПЗП и обработанной УЗВ воды на процесс брожения устанавливалось по накоплению дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* в тесте и скорости поднятия теста (подъемной силе дрожжей) [19; 116]. Результаты определения указанных показателей представлены на рисунках 80 и 81.

Проведенные нами исследования (глава 5) подтверждают, что ЦСМПЗП в своем составе имеет много легкодоступных сахаров, которые уже в первые часы активно используются дрожжевыми клетками. Через 30 мин после начала замеса в образцах теста с заменой сортовой муки на ЦСМПЗП установлено, что количество дрожжевых клеток в среднем выше 35 % (для образцов ПТУЗВ-1) и на 55 % (для образцов ПТУЗВ-2), чем в контрольных образцах теста (погрешность составила от $0,15 \cdot 10^6$ до $0,19 \cdot 10^6$).

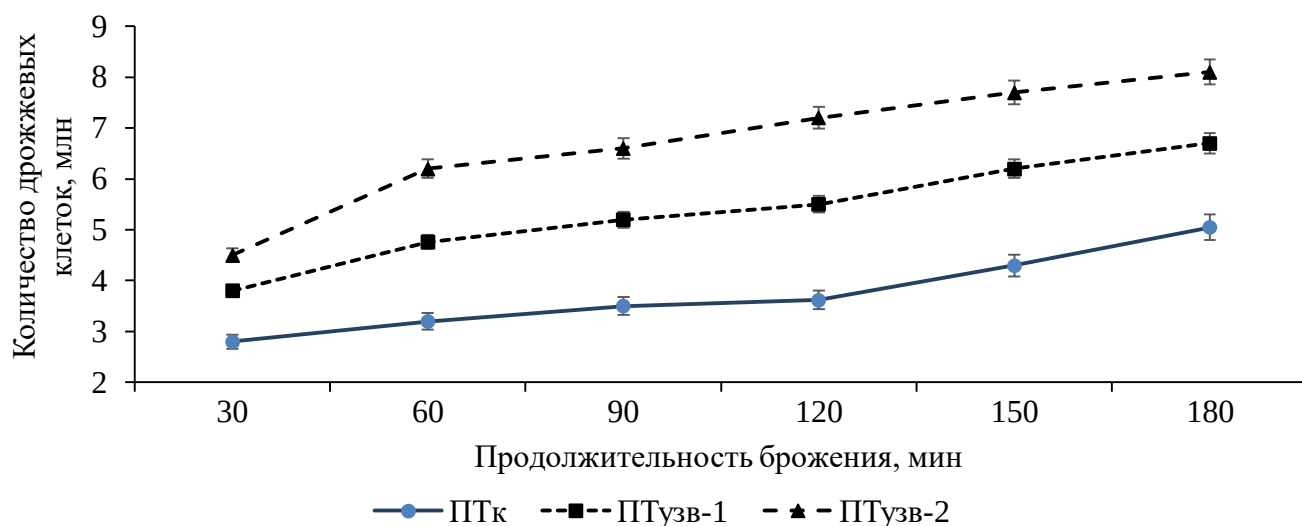


Рисунок 80 – Результаты определения количества дрожжевых клеток при брожении в контрольных и опытных образцах теста

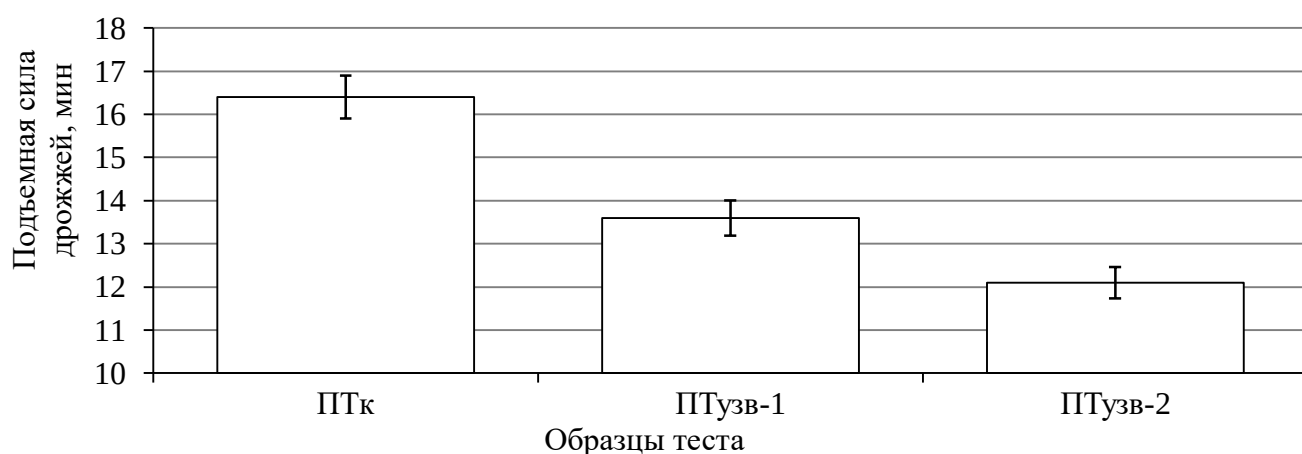


Рисунок 81 – Результаты определения подъемной силы дрожжей в контрольных и опытных образцах теста

На протяжении всего периода брожения количество дрожжевых клеток в образцах теста с заменой сортовой муки на ЦСМПЗП было выше, чем в контрольных образцах. В контрольных образцах в течение 2 ч наблюдалось постепенное увеличение количества дрожжевых клеток, только через 2,5–3 ч брожения в контрольных образцах теста было отмечено резкое повышение биомассы дрожжей. Наибольший прирост количества дрожжевых клеток был отмечен при замене сортовой муки на ЦСМПЗП в количестве 20 %. Также нельзя оставлять без внимания

тот факт, что обработанная УЗВ вода выступает в роли биологического стимулятора и также интенсифицирует процесс накопления дрожжевых клеток в тесте.

Известно, что кальциевые и магниевые соли, присутствующие в питьевой воде, идущей на приготовление теста, аморфизируются под воздействием ультразвуковой кавитации [28]. С одной стороны, это способствует бродильной активности дрожжей [116; 206; 233], так как эти минеральные соли, являющиеся необходимыми веществами для жизнедеятельности дрожжей, в аморфном состоянии становятся более подготовленными для усвоения последними. С другой стороны, вода, подвергнутая ультразвуковой обработке в кавитационном режиме, претерпевает те же структурные изменения, что и при нагреве до точки кипения [28], т. е. кавитацию можно рассматривать как изотермическое кипение [117; 118; 119; 152]. Эти изменения состоят в том, что молекулы воды утрачивают водородные связи друг с другом и становятся за счет этого более активными и подвижными вследствие разрушения агломератов. При попадании в состав водно-мучной суспензии теста молекулы воды вновь образуют водородные связи, но уже с биополимерами муки, что может обеспечивать улучшение реологических характеристик теста и качества готовых изделий.

Основное назначение процесса брожения заключается в разрыхлении теста, превращении его в пористую массу, которая при выпечке обусловит получение легкоусвояемого мякиша хлебобулочных изделий. Отсюда вытекает и роль газодерживающей способности теста, реологические свойства которого должны быть таковы, чтобы, растягиваясь под давлением углекислого газа, тесто сохраняло бы свою пористую структуру. Подъемная сила дрожжей у образцов с частичной заменой сортовой муки на ЦСМПЗП значительно ниже контрольных образцов, что согласуется с результатами определения ТЭБ (рисунок 82). Применение количественного метода определения образовавшегося в процессе брожения углекислого газа с одновременным учетом изменения объема теста позволяет получить характеристику эффективности брожения в технологическом аспекте, т. е. выяснить, в какой мере используется газ для разрыхления теста.

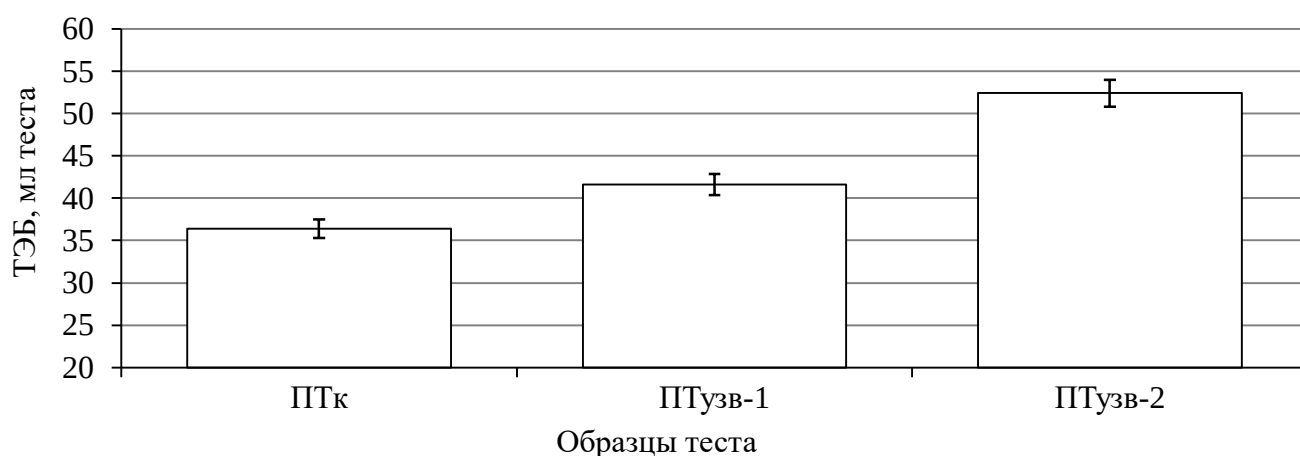


Рисунок 82 – Результаты определения показателя ТЭБ контрольных и опытных образцов теста

Результаты исследования свидетельствуют о том, что введение ЦСМПЗП приводит к повышению газодерживающей способности опытных образцов теста и увеличивает значение ТЭБ. Данный факт может быть обусловлен улучшением реологических свойств клейковины теста при внесении ЦСМПЗП и использовании обработанной ультразвуком воды. Частичное разрушение дисульфидных связей клейковинного белка ЦСМПЗП делает клейковину из смеси муки более эластичной и растяжимой, что способствует удержанию образовавшегося диоксида углерода. Также необходимо учитывать, что обработанная ультразвуком вода способствует получению эластичной структуры теста за счет своей способности более полно проникать в структуру белка.

Кроме того, среди факторов, обусловивших увеличение значений показателей ТЭБ, можно выделить увеличение доли липидной фракции, которая способствует росту кислородопоглощения, а значит, увеличению окклюдированного кислорода, являющегося основой разрыхления теста и необходимого для образования продуктов окисления непредельных кислот, улучшающих эластичность клейковины. Причем замена 10 % муки на ЦСМПЗП (ПТузв-1) повышает ТЭБ в среднем на $(14 \pm 0,6) \%$, тогда как замена 20 % муки (ПТузв-2) – на $(44 \pm 0,6) \%$.

Одним из наиболее важных показателей, характеризующих интенсивность брожения и готовность тестовой заготовки к последующим технологическим про-

цессам, является величина титруемой кислотности. Результаты определения данного показателя в контрольных и опытных образцах теста в процессе тестоведения представлены на рисунке 83.

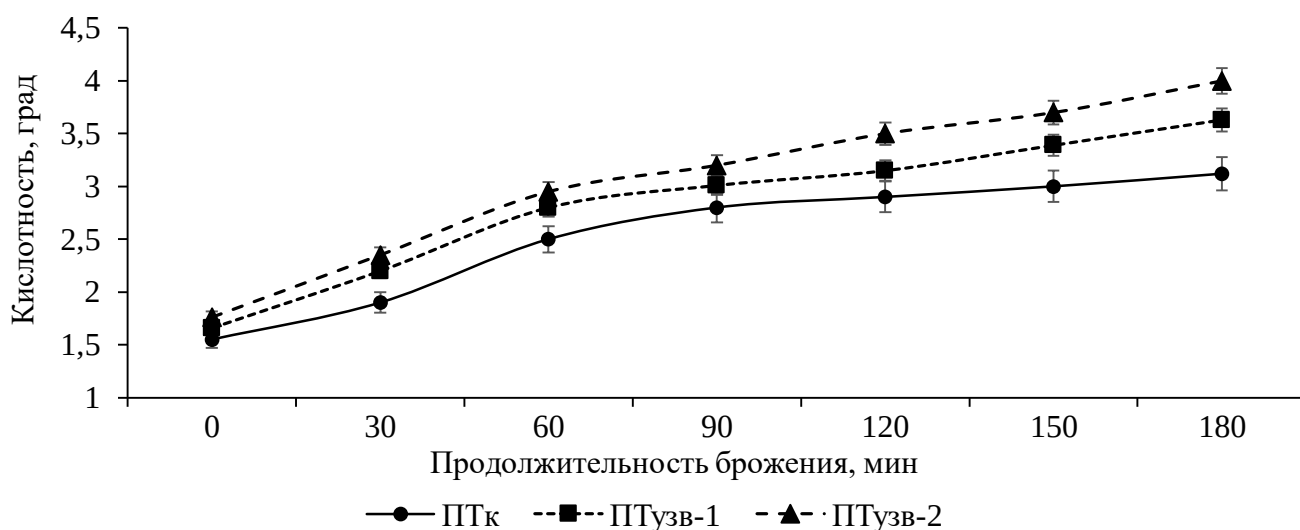


Рисунок 83 – Результаты определения титруемой кислотности для контрольных и опытных образцов теста

Анализ полученных данных позволяет сказать, что через 30 мин брожения во всех исследуемых образцах теста отмечается интенсивное нарастание показателя кислотности, причем уже на начальном этапе опытные образцы имеют более высокие значения показателя, чем контрольные образцы. Характерный спад интенсивности брожения через 60 мин отмечается только у контрольных образцов.

У опытных образцов теста (ПТузв-1 и ПТузв-2) показатель кислотности нарастает интенсивно на протяжении всего периода брожения, что может быть вызвано активацией молочнокислых бактерий и растворением углекислого газа в жидкой фазе. Уже к 120 мин (для образцов ПТузв-2) и к 150 мин брожения (для образцов ПТузв-1) значение показателя кислотности составляет 3,2 град, что говорит о готовности теста, тогда как контрольные образцы достигают этого значения лишь через 3 ч брожения. Через 180 мин можно отметить увеличение кислотности теста образцов ПТузв-2 в среднем на 1 град, что в дальнейшем может снизить интенсивность развития картофельной палочки в процессе хранения хлебо-

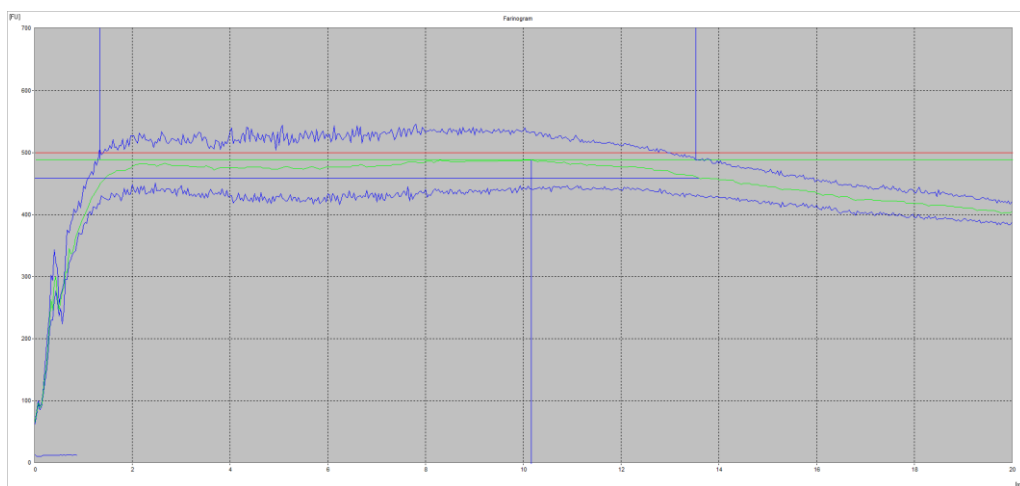
булочных изделий. Полученные результаты исследований интенсивности накопления кислотности теста позволяют предположить сокращение длительности брожения тестовых заготовок (для образцов ПТУЗВ-2), так как излишнее кислото-накопление может привести к появлению кислого запаха и вкуса, а также потере формоустойчивости изделий.

Центральной стадией процесса производства хлебобулочных изделий является этап приготовления теста, который включает две технологические операции – замес теста и его созревание. Назначение замеса сводится к получению однородной массы пищевой системы с определенными реологическими характеристиками: время образования теста, его устойчивость к замесу, степень разжижения (рисунки 84, 85, таблица 38).

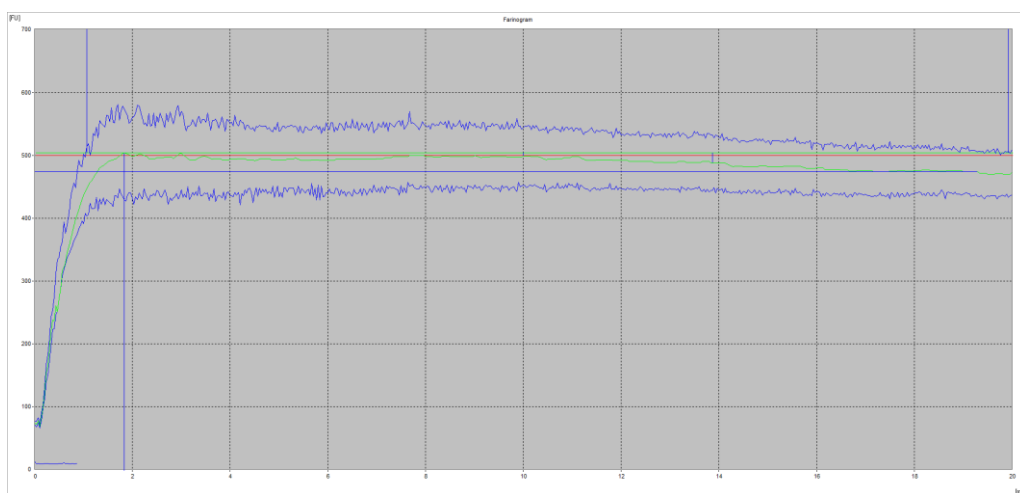
Формирование реологических свойств пшеничного теста – его коагуляционно-кристаллизационной структуры с упруго-вязко-пластичными свойствами, осуществляется за счет установления оптимальной дозировки воды и рационального режима смешения рецептурных компонентов [64; 135; 136; 137; 170; 171; 273; 286; 298; 304; 343].

Анализ характерного вида фаринограмм контрольных и опытных образцов позволяет отметить, что для контрольных образцов естественная пологость наблюдается через 12 мин замеса, что свидетельствует о стабильной динамике разжижения и в большей степени соответствует нормальному разжижению теста из пшеничной муки.

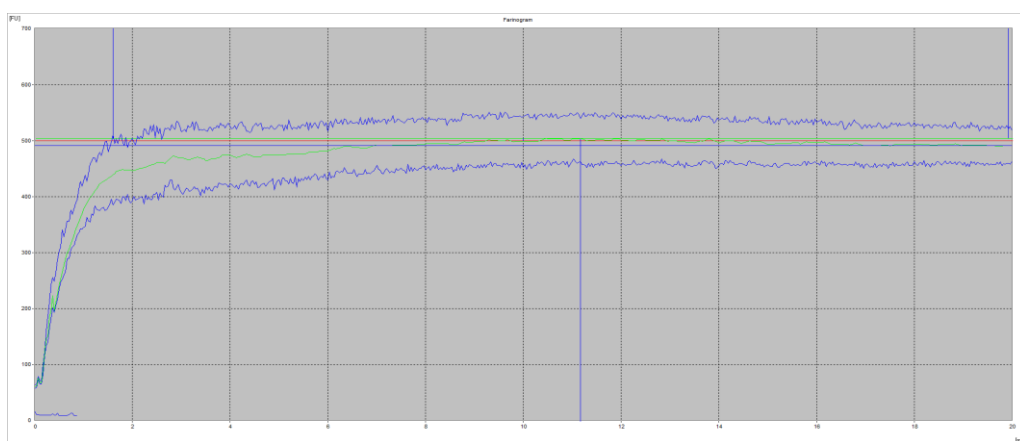
Замена сортовой муки на ЦСМПЗП в количестве 10 и 20 % не оказывает негативного влияния на характер фаринограмм, что свидетельствует о сохранении показателя силы муки. Фаринограмма образца ПТУЗВ-1 совместно с обработкой воды УЗВ имеет естественную пологость, высокую стабильность, что свидетельствует о высокой степени связывания воды, которая балансирует дальнейшее разжижение теста. Замена 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП совместно с обработкой воды УЗВ приводит к незначительному изменению характера фаринограммы, что может быть связано с наличием большого количества оболочечных частиц, набухающих в процессе замеса теста.



ПТк



ПТУЗВ-1



ПТУЗВ-2

Рисунок 84 – Характерный вид фаринограмм контрольных и опытных образцов теста, полученных с использованием фаринографа Brabender

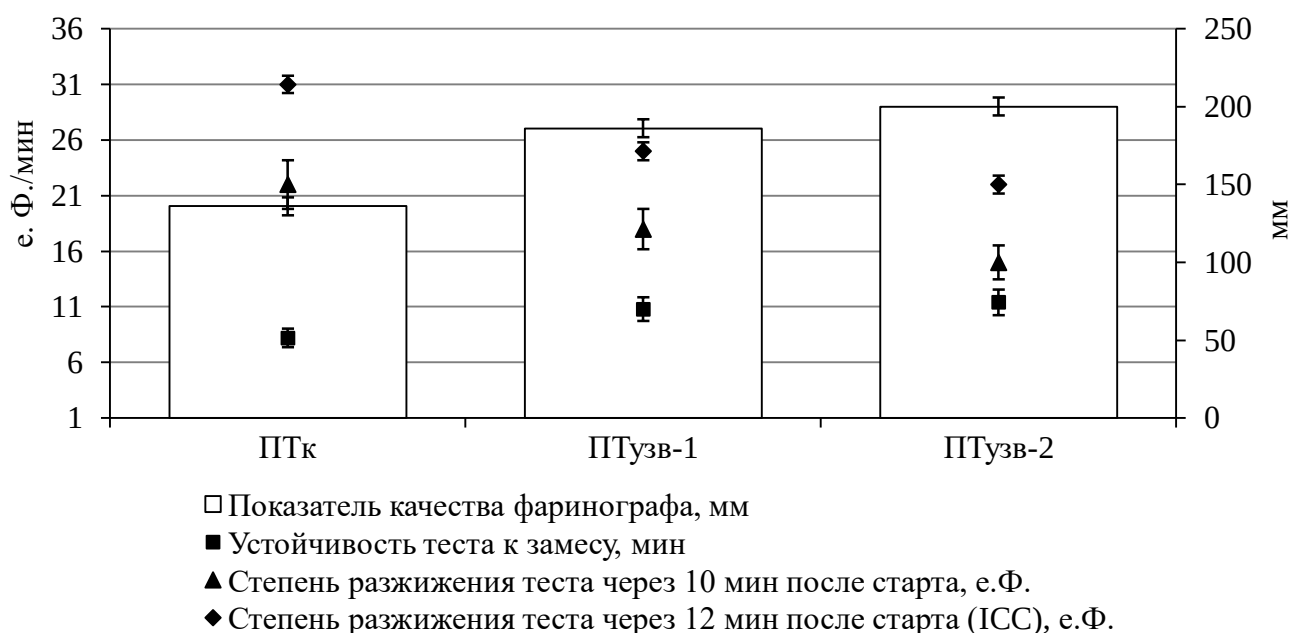


Рисунок 85 – Результаты определения фаринографических показателей для контрольных и опытных образцов теста

Таблица 38 – Результаты определения показателей водопоглощения и времени образования теста контрольных и опытных образцов

Образец	Водопоглощение, %	Время образования теста, мин
ПТк	$63,0 \pm 0,9$	$2,5 \pm 0,3$
ПТузв-1	$59,6 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,5$
ПТузв-2	$57,6 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,3$

Процесс замешивания обеспечивает насыщение частиц муки водой: гидратированные частицы трутся друг об друга, о стенки чаши и ножи тестомесильной машины, в результате чего с частицы снимается гидратированная поверхность, а избыточная вода в системе получает доступ к новому слою частиц. Этот процесс повторяется множество раз, и постепенно частицы муки полностью истираются и гидратируются. Так как для гидратации белка и крахмала требуется все большее количество свободной воды, возрастает и устойчивость системы к растяжению. При этом время образования теста для каждого вида муки или ее смесей может быть различно. Время образования теста для образцов с ЦСМПЗП незначительно увеличивается, что может быть связано со снижением количества клейковины,

присутствием крупных агломератов частиц из белка и зерен крахмала, а также наличием оболочечных частиц зерна, что приводит к более длительной гомогенизации компонентов смеси.

Водопоглотительная способность опытных образцов смеси муки при этом снижается незначительно, что может быть обусловлено меньшим количеством поврежденных зерен крахмала в ЦСМПЗП [223; 260] и более крупным ее гранулометрическим составом. При этом наличие оболочных частиц зерна способствует более быстрому водопоглощению и минимизирует снижение величины данного показателя.

ЦСМПЗП, используемая для изготовления опытных образцов, характеризуется присутствием значительного количества частиц плодовых и семенных оболочек зерна, которые богаты фенольными веществами, содержащимися как в свободном, так и в связанном состоянии. Роль этих фенольных соединений в формировании белковой сети может быть объяснена их способностью реагировать с сульфгидрильными группами белка или повышать скорость обмена сульфгидрилдисульфидных белков. В своих работах Нап и Коh [249; 254; 267; 280; 297] доказывают, что добавление фенольных кислот к тесту при замешивании уменьшает время образования теста и повышает его эластичность.

Фаринографические параметры контрольных и опытных образцов теста представлены на рисунке 85.

Анализ полученных данных позволяет сказать, что в процессе замеса теста у образцов ПТузв-1 и ПТузв-2 снижаются значения показателей разжижения, что свидетельствует об улучшении реологических свойств теста. Устойчивость теста к замесу при замене сортовой муки на ЦСМПЗП демонстрирует рост, что свидетельствует о достаточном количестве клейковинных белков и образовании устойчивого каркаса теста. Также данный факт можно объяснить окислительным воздействием кислорода, присутствующего при замесе теста, который способен окислять двойные связи ненасыщенных жирных кислот, взаимодействующих с сульфгидрильными группами белка с образованием дисульфидных связей, что упроч-

няет внутримолекулярную структуру белка, способствует образованию межмолекулярных связей и укрупнению белковых молекул.

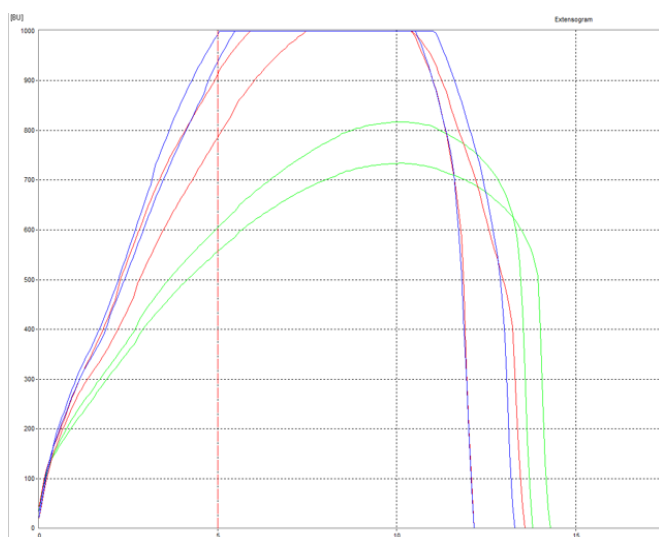
Показатель качества фаринографа – величина, интегрирующая все реологические показатели прибора. В нее входят характеристики формирования теста, устойчивость теста к замесу и степень его разжижения. Чем выше этот комплексный показатель, тем лучше качество теста [6]. Замена сортовой муки на ЦСМПЗП в количестве 10 и 20 % совместно с использованием воды, обработанной УЗВ, позволяет повысить данный показатель в среднем на $(36 \pm 0,6)$ и $(47 \pm 0,5)$ % соответственно.

Характерный вид экстенсограмм контрольных и опытных образцов теста представлен на рисунке 86.

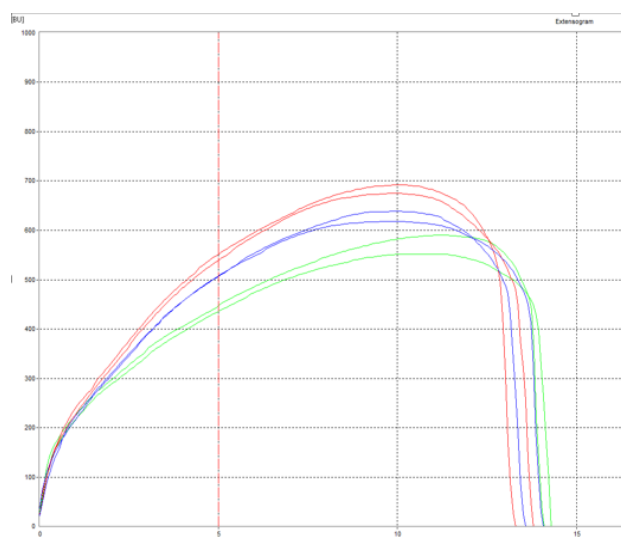
Результаты определения реологических показателей контрольных и опытных образцов теста с использованием экстенсографа представлены в таблице 39.

Контрольные образцы теста имели упругую, крепкую структуру, невысокие значения растяжимости (от 127 до 142 мм) и большие значения затрачиваемой энергии на проведение эксперимента (до 179 см²), что может привести к пониженному объему готовых изделий и плохо развитой пористости. Замена 10 % сортовой муки на ЦСМПЗП совместно использованием воды, обработанной УЗВ, позволяет повысить растяжимость теста и снизить величину затрачиваемой энергии. Кроме того, устойчивость при постоянной деформации и максимальная устойчивость теста также снижаются в 1,3–1,5 раза.

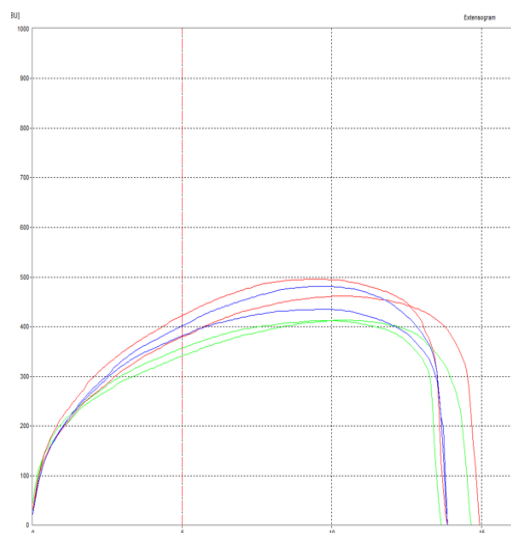
Замена 20 % муки на ЦСМПЗП с использованием воды, обработанной УЗВ, приводит к получению оптимальных реологических характеристик теста. Затрачиваемая на проведение эксперимента энергия снижается на 36–45 %, также снижается устойчивость при постоянной деформации и максимальной устойчивости, растяжимость при этом возрастает. В совокупности это свидетельствует о возможности получения из такого теста хлебобулочных изделий повышенного объема с развитой пористостью и эластичным мякишем.



ПТк



ПТузв-1



ПТузв-2

Рисунок 86 – Характерный вид экстенсограмм контрольных и опытных образцов теста, полученных с использованием экстенсографа Brabender

Таким образом, внесение в систему основного ингредиента (сортовой муки) разработанного сырьевого ингредиента (ЦСМПЗП) путем частичной замены совместно с использованием УЗВ для предварительной обработки воды положительно отразилось на процессе тестоприготовления и реологических показателях качества теста. Так, увеличились ТЭБ и интенсивность кислотонакопления в про-

цессе брожения теста, незначительно снизилась водопоглотительная способность теста, вырос показатель качества фаринографа, незначительно увеличилось время образования теста. Кроме того, при исследовании образцов смесей с ЦСМПЗП обнаружено снижение степени разжижения теста, а также рост устойчивости к замесу и растяжимости теста.

Таблица 39 – Результаты определения реологических показателей теста исследуемых образцов, полученные с использованием экстенсографа

Время испытаний, мин	Энергия, см ²	Устойчивость при постоянной деформации R_{50} , ЕЭ	Растяжимость E , мм	Максимальная устойчивость R_m , ЕЭ	Отношение R_{50}/E	Отношение R_m/E
ПТк						
45	143–145	584–589	140–142	774 –782	4,14–4,17	5,50–5,52
90	168–172	857–859	128–132	988–998	6,51–6,69	7,56–7,72
135	175–179	972–979	127–132	990–999	7,41–7,65	7,57–7,77
ПТузв-1						
45	111–114	444–448	142–145	536–543	3,08–3,13	3,74–3,77
90	124–127	509–512	138–143	648–652	3,58–3,69	4,54–4,69
135	118–123	548–552	138–142	668–672	3,88–3,97	4,73–4,84
ПТузв-2						
45	84–89	350–354	138–141	412–415	2,51–2,53	2,94–2,99
90	90–93	393–396	142–145	458–462	2,73–2,76	3,18–3,23
135	98–102	402–407	144–148	479–483	2,75–2,79	3,26–3,33

Математическое моделирование рациональной дозировки цельносомлотой муки из пророщенного зерна пшеницы при изготовлении хлебобулочных изделий

Для научно обоснованной разработки продукта заданного качества, отвечающего установленным требованиям, необходимо использовать методы математического моделирования. В частности, при производстве хлебобулочных изделий целесообразна именно оптимизация рецептурной смеси, а не конечного продукта, поскольку качественные характеристики исходных сырьевых компонентов являются управляемыми параметрами, в отличие от качественных характеристик конечного продукта.

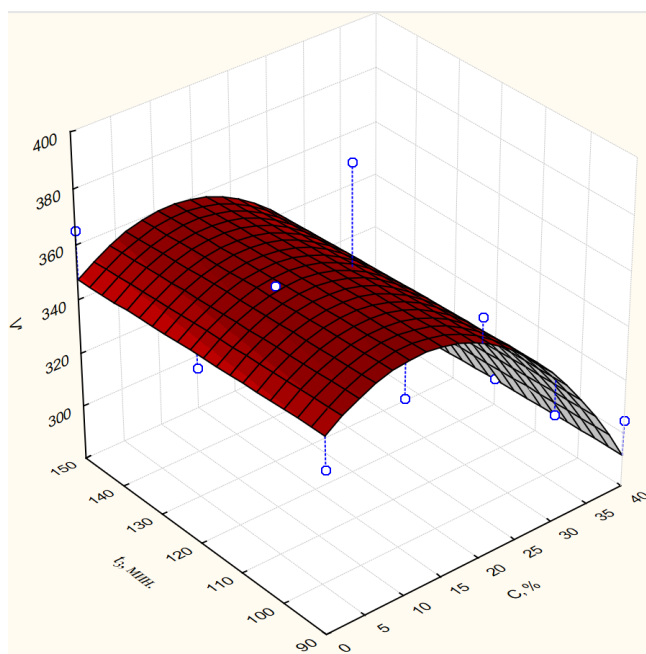
В целях получения рациональных рецептуры и технологических режимов изготовления хлебобулочных изделий с заменой сортовой муки на ЦСМПЗП было проведено математическое моделирование с использованием программного обеспечения Statistica 13.

В ходе исследований был сформирован большой массив данных при последовательной вариации замены пшеничной муки первого сорта на ЦСМПЗП совместно с использованием УЗВ для предварительной обработки воды. В качестве контролируемых (выходных) параметров были определены:

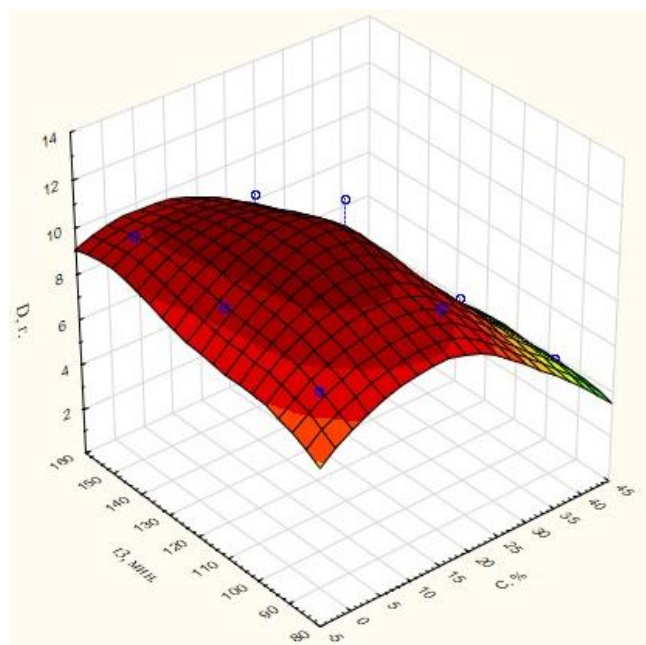
- процент замены сортовой муки на ЦСМПЗП (C , %);
- длительность брожения теста (t_3 , мин).

В качестве выходных параметров были установлены:

- удельный объем хлеба V' ;
- общая деформация мякиша хлеба (полученного по рецептуре пробной лабораторной выпечки) D .



а



б

Рисунок 87 – Зависимость удельного объема хлеба (а) и общей деформации мякиша (б) от процента внесения ЦСМПЗП и длительности брожения

Рассмотрение всех факторов и откликов этого этапа показало (рисунок 87), что и удельный объем хлеба, и общая деформация мякиша хлеба сильно зависят от процента внесения ЦСМПЗП. Кроме того, отклики хорошо коррелируют друг с другом (коэффициент корреляции составляет 0,96). Величина V' может быть описана уравнением второго порядка следующего вида:

$$V' = 349,7 + 3,2C - 0,092C^2 - 0,0082t_3^2, \quad (52)$$

где t_3 – длительность брожения.

Коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений $R_k = 0,895$, стандартное отклонение $St. err. = 16$.

Можно отметить выраженное влияние количества вносимой цельносмолотой муки на удельный объем хлеба (рисунок 87). Из уравнения (52) было определено оптимальное значение внесения ЦСМПЗП: $(17,39 \pm 0,82) \%$.

Зависимость общей деформации мякиша хлеба от процента внесения ЦСМПЗП и длительности брожения теста так же, как и удельный объем хлеба, описывается уравнением

$$D = 0,37 + 120C - 0,0062C^2 \quad (R_k = 0,900; St. err. = 1,1). \quad (53)$$

Общая деформация мякиша практически не зависит от времени брожения, как и удельный объем хлеба. При длительности брожения как 120 мин, так и 150 мин были получены образцы, имеющие статистически незначимые изменения деформации мякиша и удельного объема хлеба. Поэтому в дальнейшем длительность брожения теста опытных образцов была определена 120 мин.

В ходе статистической обработки данных было отмечено выраженное влияние ЦСМПЗП на удельный объем хлеба. Более достоверно указанная зависимость описывается двумя линейными кусочно-непрерывными функциями (рисунок 88).

Обработка двумя кусочно-непрерывными функциями дает уравнения для первого и второго участка соответственно:

$$V' = 349,2 + 0,097C; \quad (54)$$

$$V' = 400,0 - 2,67C \quad (R_k = 0,923; St. err. = 13). \quad (55)$$

Путем определения точки пересечения линейных участков было установлен оптимальный процент замены сортовой муки на ЦСМПЗП, который составил $(18,38 \pm 0,71) \%$.

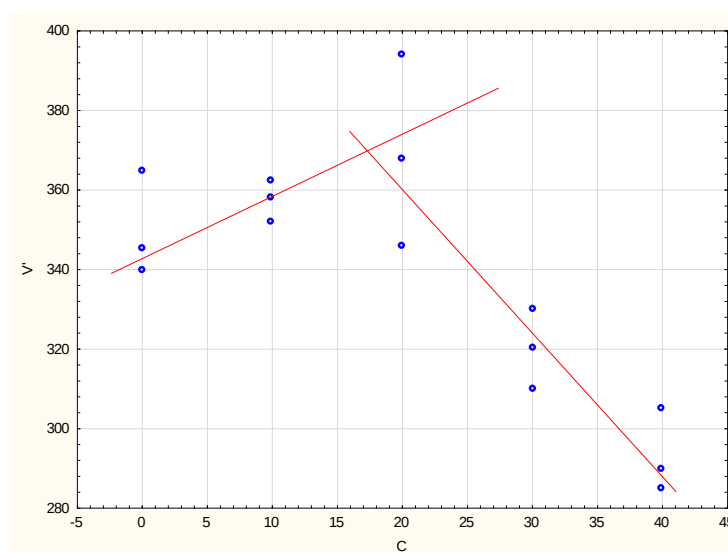


Рисунок 88 – Зависимость удельного объема хлеба от процента замены ЦСМПЗП

Исходя из принципов оптимизации технологического процесса производства хлеба и хлебобулочных изделий, в дальнейших исследованиях производилась замена сортовой муки на ЦСМПЗП в количестве 18 %.

Для определения количества сортовой муки, заменяемой на ЦСМПЗП при изготовлении хлебобулочных изделий, улучшенных по рецептуре, также проводилась пробная выпечка мелкоштучных булочных изделий. Рецептура контрольных образцов представлена в таблице 34. Параметры основных технологических этапов производства представлены в таблице 41. При получении массива данных по опытным образцам для математического моделирования шаг замены сортовой муки на ЦСМПЗП составил 10 %. Образцы были получены с использованием УЗВ для предварительной обработки воды.

Рассмотрение всех факторов и откликов для мелкоштучных булочных изделий (рисунок 89) показало, что и удельный объем (V'), и общая деформация мякиша (D) зависят от процента внесения ЦСМПЗП (C). Отклики так же, как и для простых по рецептуре хлебобулочных изделий, коррелируют друг с другом (коэффициент корреляции 0,93). Величина V' может быть описана уравнением второго порядка:

$$V' = 340,0 - 2,90C - 0,095C^2 (R_k = 0,915; St. err. = 10). \quad (56)$$

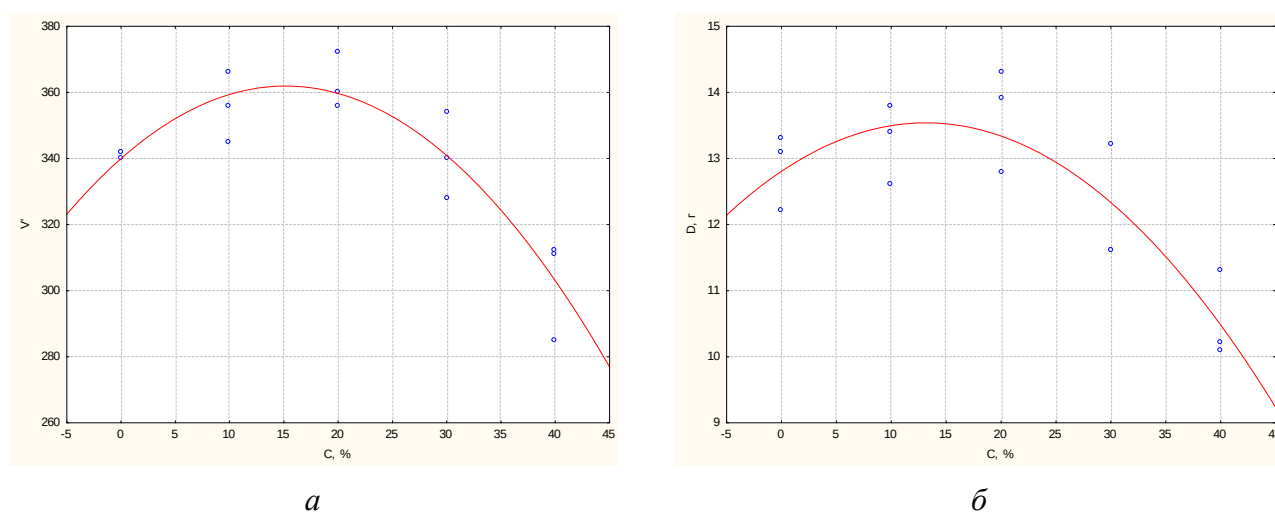


Рисунок 89 – Зависимость удельного объема (a) и общей деформации мякиша (b) мелкоштучных булочных изделий от процента внесения ЦСМПЗП

Анализ величин V' и D показывает, что для мелкоштучных булочных изделий, в отличие от простых по рецептуре хлебобулочных изделий с длительностью брожения 90 мин, оптимальным является 120 мин. Из уравнения (56) было определено оптимальное значение внесения ЦСМПЗП в рецептуру мелкоштучных булочных изделий: $(15,26 \pm 0,46) \%$. В отличие от простых по рецептуре хлебобулочных изделий, для мелкоштучных булочных изделий представленная зависимость имеет менее резкий характер и не требует описания кусочно-непрерывными функциями.

Общая деформация мякиша мелкоштучных булочных изделий от процента внесения ЦСМПЗП описывается уравнением

$$D = 12,81 - 0,1115C - 0,00424C^2 (R_k = 0,866; St. err. = 0,7). \quad (57)$$

Из уравнений (56) и (578) было определено оптимальное значение внесения ЦСМПЗП, которое составило $(13,15 \pm 0,74) \%$.

Исходя из принципов оптимизации технологического процесса производства *мелкоштучных булочных изделий, улучшенных по рецептуре*, в дальнейших исследованиях производилась замена сортовой муки на *ЦСМПЗП в количестве 14 %*.

На следующем этапе исследований была проведена оценка влияния ЦСМПЗП с использованием воды после УЗВ на микроструктуру теста и распределение форм связи воды.

Исследование микроструктурных изменений теста в процессе тестоведения

Визуальные данные, полученные при помощи электронной сканирующей микроскопии, имеют значительное преимущество по сравнению с другими аналитическими методами, так как обеспечивают наличие четкого фиксированного изображения вместо численных значений приборов. С точки зрения исследователей, каждый фрагмент цифрового изображения может рассматриваться как комплексная информация, которая доступна для последующего изучения и анализа [162]. Использование методов электронной микроскопии внесло огромный вклад в понимание биохимических и коллоидных процессов, протекающих при замесе теста, выпечке хлеба, а также процессов, происходящих в результате черствения хлеба. Еще в 1971 г. Н. П. Козьмина [50; 128] привела данные электронной микроскопии, характеризующие биохимические процессы, протекающие на последовательных стадиях приготовления хлебобулочных изделий.

Для реализации задач данного этапа исследований были определены следующие образцы:

– контрольные образцы теста (далее – ПТк) – пшеничное тесто из муки первого сорта, полученное по стандартной рецептуре и технологии согласно ГОСТ 27669;

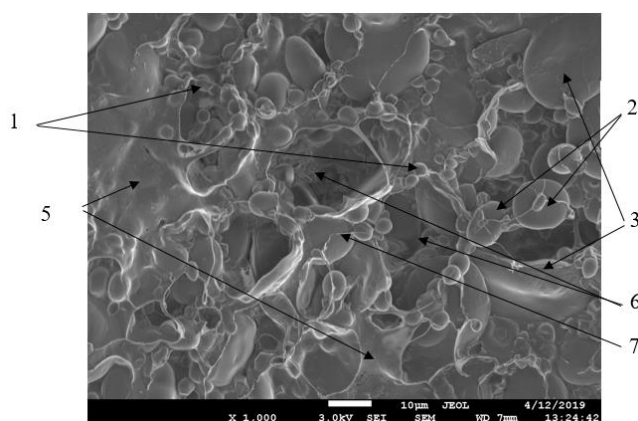
– опытные образцы теста с ЦСМПЗП (далее – ПТЦузв) – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии согласно ГОСТ 27669, полученное путем замены 18 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ.

Использование в рецептуре хлебобулочных изделий жировой фракции не позволяет зафиксировать четкого изображения микроструктуры образцов, на основании чего в работе представлены данные для образцов теста простых по рецептуре хлебобулочных изделий (см. таблицу 34). При этом описанная динамика свойственна всем опытным образцам и сохраняется для теста, полученного по улучшенной рецептуре. Образцы после брожения лиофилизировались, анализировались с предварительным напылением платины в вакууме, регистрировались электронным микроскопом фирмы JSM-7001F (JEOL) (рисунок 90).

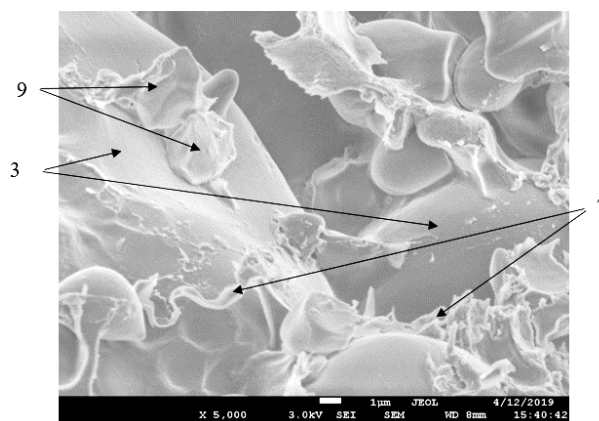
Для структуры как контрольных, так и опытных образцов теста характерно наличие большого количества частиц овальной формы размером от 5 до 30 мкм, которые по своим характеристикам соответствуют зернам крахмала. Поверхность зерен гладкая, без трещин, бороздок и пор. Можно выделить наличие крупных, средних и мелких зерен крахмала, соотношение которых меняется в зависимости от используемого вида муки. Гранулы крахмала хорошо различимы, имеют сферическую форму, визуализируются на поверхности и имеют схожую структуру [13; 31; 39; 284].

В контрольных образцах ПТк (рисунок 90а) визуализируется больше гранул крахмала мелкого (1) и среднего размера (2). Крахмал присутствует в виде зерен круглой или эллиптической формы. Отдельные зерна немного деформированы, чаще это наблюдается у крупных зерен крахмала (3). Отдельные крахмальные зерна имеют прикрепленные частицы белка (9), что придает им угловатость.

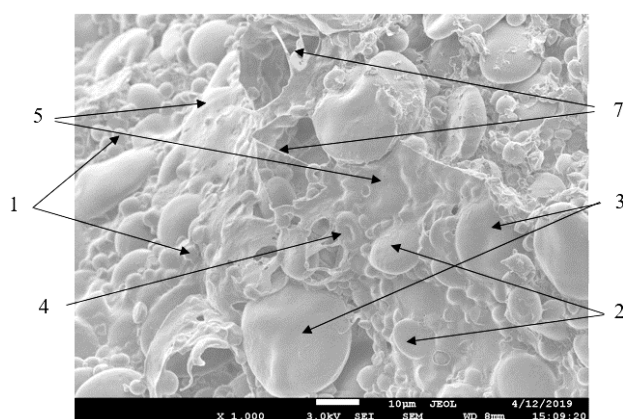
При этом у опытных образцов (рисунок 90в) отмечается присутствие зерен крахмала, имеющих двояковыпуклую форму (4). Преобладают набухшие, значительно увеличившиеся в размере крупные зерна крахмала (3) размером от 20 до 30 мкм.



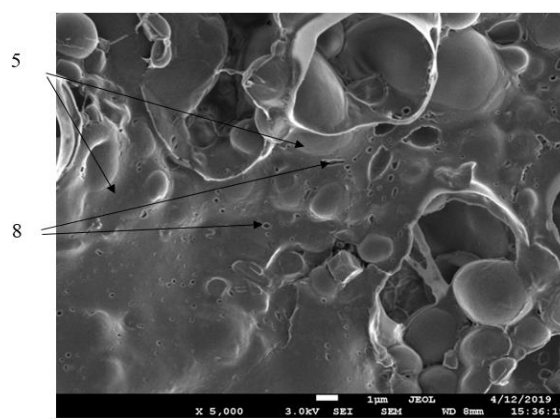
a – ПТк, увеличение $\times 1000$



б – ПТк, увеличение $\times 5000$



в – ПТЦузв, увеличение $\times 1000$



г – ПТЦузв, увеличение $\times 5000$

Рисунок 90 – Результаты исследования микроструктуры теста (СЭМ) после 150 мин (контрольный образец ПТк) и 120 мин (опытный образец ПТЦузв) брожения

Белковая матрица развита у всех образцов несколько по-разному. В контрольных образцах (рисунок 90б) она развита недостаточно, только в редких случаях несколько зерен среднего и мелкого крахмала покрыты сплошным слоем белка (5). Структура достаточно рыхлая, так как имеется большое количество воздушных полостей (6). В отдельных случаях можно рассмотреть структуру прерывистой белковой матрицы, которая имеет форму отростков, соединяющих между собой зерна крахмала (7). На рисунке не просматриваются свободные глобулы белка.

У опытных образцов (рисунок 90г) белковая матрица более четко различима, равномерно распределена и окружает большую часть зерен крахмала, объединяя их (5). На поверхности белковой матрицы визуализируются многочисленные

отверстия от сформировавшихся пузырьков воздуха (8), что косвенно подтверждает более интенсивный процесс брожения теса [13].

На основании вышеизложенного можно сформулировать гипотезу, что использование в рецептуре воды, обработанной УЗВ, исключает затраты энергии на проникновение воды в молекулу крахмала и белка, что позволяет ей легче проникать и быстрее во внутрь матрицы, что способствует хорошей водопогложительной способности муки, формированию каркаса теста и увеличению выхода изделий. Кроме того, частичная замена сортовой муки на ЦСМПЗП активизирует процесс брожения, способствует формированию более развитой белковой матрицы и получению эластичного, хорошо растяжимого теста. Полученная при этом структура может способствовать снижению крошковатости и увеличению сохраняемости готовых изделий.

Для осуществления гидролитических процессов, протекающих в тесте при брожении и выпечке, необходимо присутствие в нем свободной, т. е. способной вступать в химические реакции, воды. Рядом авторов [8; 58; 117] установлено, что в тесте из пшеничной муки при его нормальной влажности около 45–65 % всей добавленной воды находится в свободном состоянии. Следовательно, оставшиеся 35–55 % приходятся на связанную воду, но практический интерес представляет определение форм связи воды в тесте.

Для установления форм связи воды в исследуемых образцах теста был использован ДСК-анализ [16]. Все полученные кривые ТГ/ДСК носили аналогичный характер (рисунки 91, 92) и отличались величиной температурных зон, соответствующих испарению воды с различной энергией связи. Полученные результаты были обработаны при помощи построения модели кусочно-линейной аппроксимации (глава 2, п. 2.2). Выделены шесть линейных участков с разным углом наклона к оси абсцисс, определены соотношения воды различных форм связи в тесте после 10 мин замешивания и в конце брожения (рисунок 93).

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что количественное соотношение воды в образцах теста различных форм связи, полученных с добавлением ЦСМПЗП, имеет отличия, что в первую очередь относится к осмотически

и адсорбционно связанной воде. Так, сразу после замеса теста вода начинает поглощаться в первую очередь частицами крахмала, поэтому количество адсорбционной влаги достаточно велико уже в начальный период тестоприготовления как у контрольного, так и у опытных образцов.

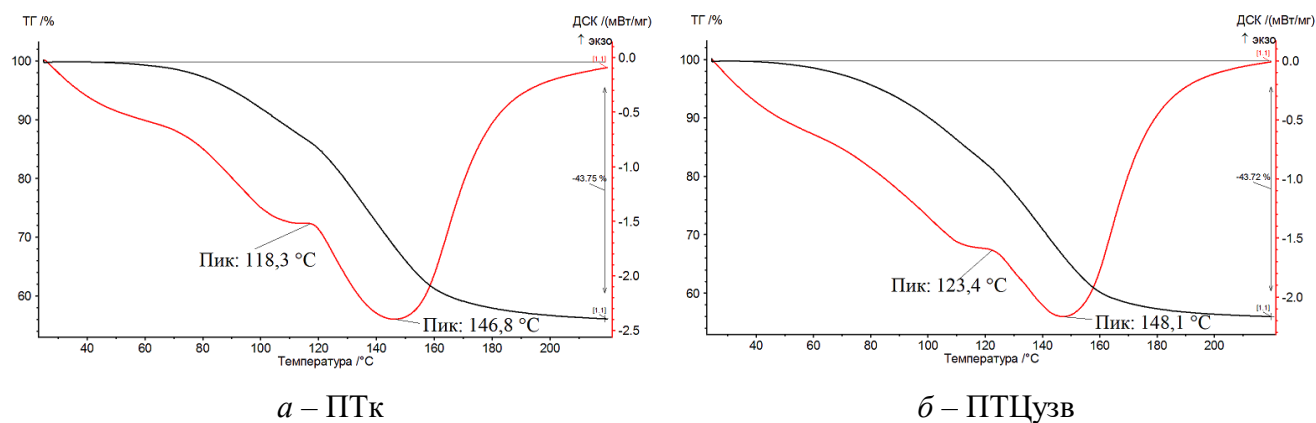


Рисунок 91 – Характерный вид кривых распределения ТГ/ДСК контрольных и опытных образцов теста в начале брожения

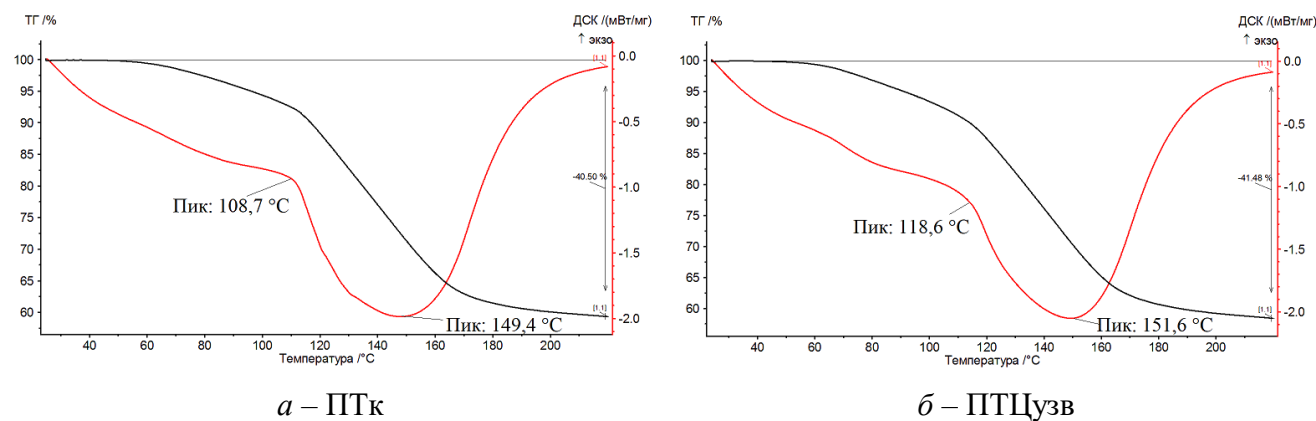


Рисунок 92 – Характерный вид кривых распределения ТГ/ДСК контрольных и опытных образцов теста в конце брожения

В тесте, замешенном с внесением ЦСМПЗП, количество полиадсорбционной влаги больше в среднем на 8 %. За такой короткий промежуток времени вода не

успевают проникнуть глубоко, поэтому моноадсорбционной влаги 2,1–2,2 % как в контрольном, так и в опытном образцах теста.

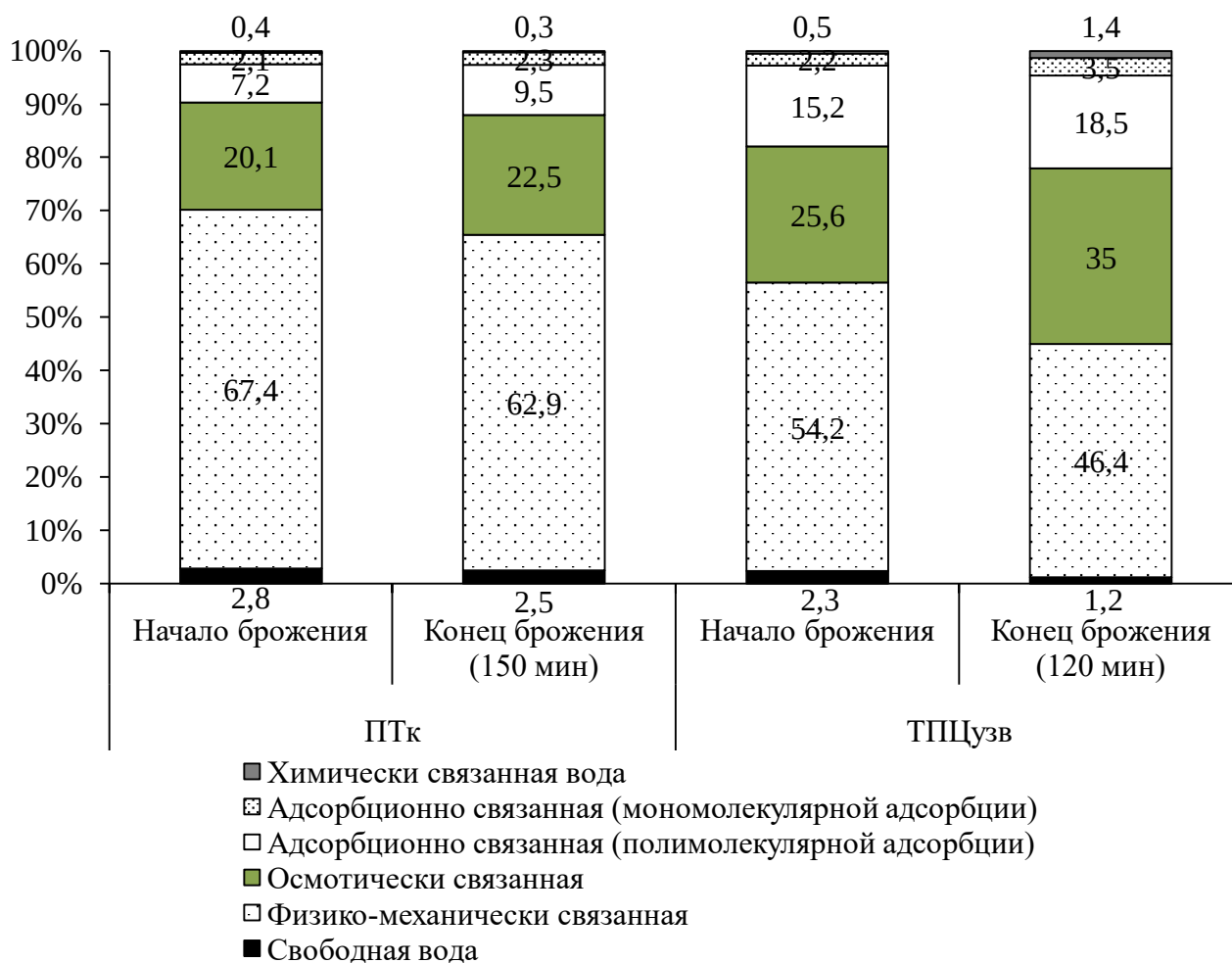


Рисунок 93 – Результаты определения форм связи воды в контрольных (ПТк) и опытных (ПТЦузв) образцах теста

Внесение в рецептуру ЦСМПЗП оказало влияние на количество осмотически связанной воды: ее количество увеличилось в среднем на $(5,5 \pm 0,3) \%$ на начало брожения теста. Данный факт можно объяснить рядом причин: во-первых, более быстрым проникновением обработанной воды в структуру белка и крахмала; во-вторых, большей доступностью крахмальных зерен в результате действия активированного ферментативного комплекса пророщенного зерна.

В процессе созревания теста в результате дальнейшего набухания белков и крахмала количество адсорбционной влаги как мономолекулярных слоев, так

и полимолекулярных слоев увеличивается у опытных образцов теста. В образцах, полученных с внесением ЦСМПЗП, количество моноадсорбционной влаги увеличилось в среднем на $(1,2 \pm 0,2) \%$, а полиадсорбционной – на $(9 \pm 0,3) \%$. Такое перераспределение форм связи воды свидетельствует о набухании большего количества крахмальных зерен, что в процессе тестоприготовления может привести к более однородной равномерной структуре теста и подтверждается исследованиями его микроструктуры.

Белковые вещества связывают влагу во вторую очередь и преимущественно осмотически, но при этом они обладают способностью в процессе тестоприготовления поглотить до 200 % воды к своей массе [61]. Сразу после 10 мин замеса в образцах, полученных с внесением ЦСМПЗП, отмечается повышение содержания как осмотически, так и адсорбционно связанной воды. В процессе созревания количество осмотически связанной воды повышается для опытных образцов теста в среднем на $(12,5 \pm 0,3) \%$ по сравнению с контрольными образцами теста. Это подтверждается достаточно развитой белковой матрицей теста, установленной при микроскопировании образцов.

Выводы по главе 6

На основе анализа литературных источников и собственных исследований доказана целесообразность использования цельносмолотой муки в производстве хлебобулочных изделий.

Исследование закономерностей влияния внесения ЦСМПЗП в рецептуру хлебобулочных изделий из пшеничной муки на технологические параметры теста осуществлялось путем создания опытных смесей муки и оценивалось по комплексу технологических и реологических показателей.

Системный анализ результатов исследований доказал необходимость минимизации потенциальных рисков ухудшения качества хлебобулочных изделий пу-

тем использования процесса водоподготовки при замесе теста. Использование УЗВ для обработки воды позволило дополнительно интенсифицировать процесс тестоприготовления, достичь более развитой белковой матрицы, в результате чего в тесте возросло количество осмотически и адсорбционно связанной воды.

Математическое моделирование с использованием программного обеспечения Statistica 13 позволило оптимизировать разработанные рецептуры простых и улучшенных по рецептуре хлебобулочных изделий. Исходя из принципов оптимизации технологического процесса производства простых и улучшенных по рецептуре хлебобулочных изделий была определена замена сортовой муки на ЦСМПЗП в количестве 18 и 14 % соответственно.

ГЛАВА 7. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Разработка и внедрение в производство инновационных технологий с целью повышения качества и расширения ассортимента хлебобулочных изделий является одним из основных направлений, закрепленным в Распоряжении Правительства РФ от 25 октября 2010 г. № 1873-р «Об основах государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г.» [12; 316].

Обогащать следует в первую очередь продукты массового потребления, доступные для всех групп детского и взрослого населения и регулярно используемые в рационе. Именно такими продуктами являются хлебобулочные изделия. При этом не должны ухудшаться их потребительские достоинства, усвояемость, вкус и аромат, сокращаться сроки хранения. Также необходимо учитывать, что в качестве «носителей» обогащающих добавок тех или иных витаминов или минеральных веществ желательно использовать те продукты, которые и в исходном состоянии являются естественным источником этих ценных пищевых веществ [76; 80; 146]. Это подчеркивает необходимость направленного регулирования химического состава хлебобулочных изделий с целью получения продукта с более высоким содержанием микронутриентов и более сбалансированным их соотношением, при этом качество и сохраняемость должны оставаться стабильно высокими [75; 135; 136; 137]. Создание рецептуры, обеспечивающей баланс между органолептическими свойствами, пищевой ценностью и безопасностью готового продукта при сохранении этапов технологического процесса, является первостепенной задачей.

7.1 Рецепттура и режимы приготовления хлебобулочных изделий с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы

Цельносмолотая пшеничная мука привлекает все больше внимания в качестве ингредиента для производства хлебобулочных изделий благодаря своей пользе для здоровья населения. По сравнению с сортовой мукой цельносмолотая пшеничная мука содержит более значительное количество витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, антиоксидантов и других веществ, таких как каротиноиды, флавоноиды и фенольные кислоты [370; 371].

Потребление цельносмолотой муки снижает риск возникновения и смертность от таких заболеваний, как диабет, рак, сердечно-сосудистые заболевания и ожирение [189; 291]. В Руководстве по диетическому питанию американцев на 2015–2020 гг. рекомендуется, чтобы половина от общего потребления всех хлебобулочных изделий приходилась на цельнозерновые изделия [269]. Однако в США среднее потребление цельнозерновых продуктов составляет лишь 1/3 от заявленной нормы [328]. Среди основных барьерных факторов в использовании продуктов из цельносмолотого зерна выделяют изменения их потребительских характеристик, высокую себестоимость получаемых продуктов, отсутствие нормативной документации и четкой классификации данных видов изделий, а также непонимание потребителями пользы для здоровья при их употреблении [189].

Согласно приказу Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» не менее 30 % муки, используемой для производства хлебобулочных изделий, должно быть представлено сортами грубого помола. Использование с этой целью цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы позволит получить сбалансированные продукты, направленные на коррекцию здоровья населения России, что согласуется с распоряжением Правительства РФ от 25 октября 2010 г. № 1873-р «Основы государственной политики в области здорового питания населения на период до 2020 г.».

Согласно экспертным заключениям специалистов ФГАНУ НИИХП [17; 43; 54; 108; 113; 169; 169; 172], основанным на анализе данных Росстата по потреблению хлебобулочных изделий, можно сказать, что, несмотря на рост позиций в ассортиментной линейке изделий для здорового питания (по данным Росстата, в 2018 г. на данный сегмент приходилось около 15 % производимого ассортимента), основу ассортимента выпускаемой в России хлебопекарной продукции составляют массовые сорта, которые, как правило, производятся с использованием основного сырьевого ингредиента – муки пшеничной первого сорта [54; 79; 80; 113]. Данный вид сырья имеет низкую пищевую ценность, характеризуется стандартными технологическими характеристиками и позволяет производить готовые изделия стабильно высокого качества. При этом производимые изделия не воспринимаются потребителями как элемент здорового питания, и за последнее десятилетие их потребление имеет тенденцию к снижению. Анализ динамики производства по ассортиментным группам [43; 102; 112; 147; 172; 199] позволяет выделить отдельные секторы роста – хлебобулочные изделия, полученные с добавлением зернопродуктов, что отражает тенденцию здорового питания на основе потребления изделий, повторяющих состав природного зерна с соблюдением пропорций эндосперма, зародыша и оболочки (wholemeal, wholegrain).

На основании вышесказанного и исследований, представленных в главе 6, были сформированы следующие рецептуры хлебобулочных изделий (см. таблицу 36). В качестве объектов последующих исследований были определены:

1) контрольные образцы:

– хлебобулочные изделия из пшеничной хлебопекарной муки первого сорта (далее – ХБИк);

– мелкоштучные булочные изделия из пшеничной муки первого сорта (далее – МБИк);

2) опытные образцы:

– хлебобулочные изделия из пшеничной муки первого сорта с заменой 18 % муки на ЦСМПЗП и предварительной подготовкой воды путем УЗВ (далее – ХБИц);

– мелкоштучные булочные изделия из пшеничной муки первого сорта с заменой 14 % муки на ЦСМПЗП и предварительной подготовкой воды путем УЗВ (далее – МБИц).

В качестве рецептур контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий были выбраны рецептуры, представленные в таблице 40.

Таблица 40 – Рецептура контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий [135; 137]

Наименование сырья	Расход сырья, кг			
	ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	100	82	100	86
Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы	–	18	–	14
Дрожжи прессованные хлебопекарные	1,5	1,5	1,0	1,0
Соль пищевая	1,3	1,3	1,5	1,5
Сахар белый	–	–	5	5
Маргарин столовый с массовой долей жира 60 %	–	–	2,5	2,5
Растительное масло (смазка формы)	0,15	0,15	0,15	0,15
Вода	Расчет			

Для изготовления контрольных и опытных образцов изделий использовался безопасный способ приготовления теста, все компоненты вносились в один прием согласно рецептуре. Данный способ приготовления теста использовался с целью максимального сохранения полезных свойств готовых изделий, что подтверждено исследованиями ряда авторов [12; 63; 64; 126; 179]. Параметры основных технологических этапов производства изделий представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Параметры основных технологических этапов производства контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Операция	Характеристика технологических режимов	
	ХБИк, ХБИц	МБИк, МБИц
<i>Замес теста</i>		
Продолжительность, мин	8–10	8–10
<i>Брожение</i>		
Продолжительность, мин	150 (120 для ХБИц)	150
Температура, °С	30 ± 2	30 ± 2
Обминка через 60 мин	1 раз в течение 3–5 мин	1 раз в течение 3–5 мин

Продолжение таблицы 41

Операция	Характеристика технологических режимов	
	ХБЙк, ХБЙц	МБЙк, МБЙц
<i>Формование</i>		
Масса тестовой заготовки, г	530	120
<i>Расстойка</i>		
Продолжительность, мин	45 ± 5	45 ± 5
Температура, °С	37 ± 2	37 ± 2
<i>Выпечка</i>		
Продолжительность, мин	20–25	15–18
Температура, °С	210–220	200–220
Масса готовых изделий, г	450	100

7.2 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на качество хлебобулочных изделий

Органолептические показатели качества являются определяющими при оценке хлебобулочных изделий. Для снижения влияния личностных особенностей потребителей была проведена дегустационная оценка образцов с использованием балльной оценки (приложение Е). Для обеспечения различимости ступеней шкалы создавались описания, в которых отражались характерные особенности градаций. Для органолептической оценки качества хлебобулочных изделий использовалась разработанная нами 20-балльная шкала (приложение А), так как существенным недостатком стандартных 30-балльных шкал, используемых для традиционной оценки качества хлебобулочных изделий, является перевес эстетических признаков в ущерб вкусоароматическим (вкусу и аромату выделено лишь 25–35 % баллов) [124]. Предложенная нами шкала учитывает как стандартные, так и дополнительные органолептические показатели.

Анализ полученных результатов (рисунок 94) позволяет сказать, что внесение ЦСМПЗП оказало существенное влияние практически на все органолептические показатели качества: внешний вид, цвет корок, вкус, аромат, цвета мякиша. В меньшей степени изменения были отмечены по таким показателям, как характер пористости, эластичность и разжевываемость мякиша.

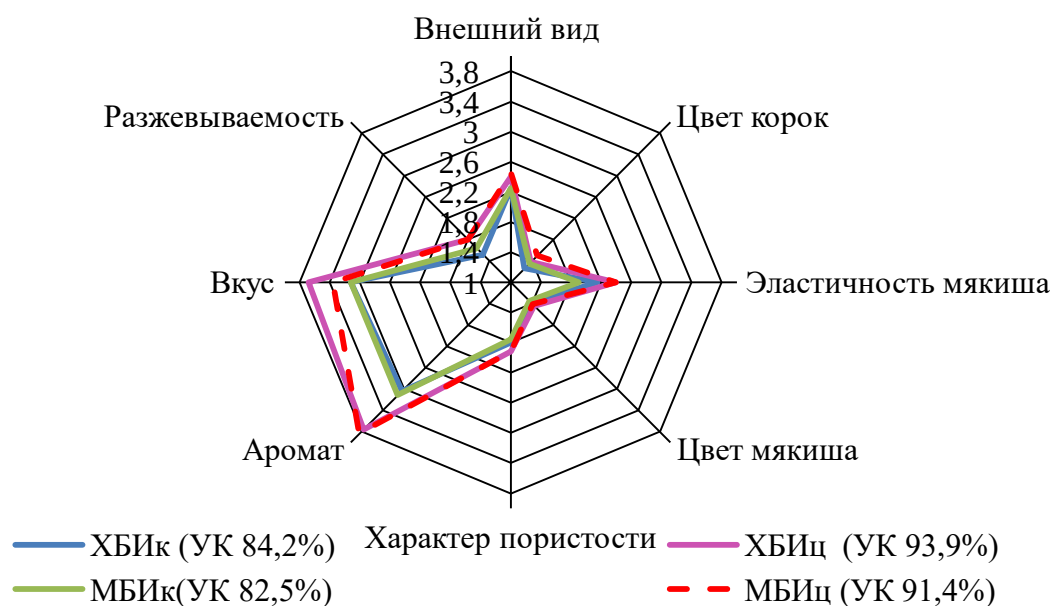


Рисунок 94 – Результаты дегустационной оценки контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с учетом коэффициентов весомости

На основании результатов дегустационной оценки, проведенной с использованием разработанной шкалы, можно сказать, что качество всех оцениваемых образцов хлебобулочных изделий укладывается в рамки положительных градаций. Существенные различия в общей оценке имели контрольные образцы ХБИк и МБИк относительно опытных образцов ХБИц и МБИц. Так, между образцами хлебобулочных изделий (ХБИк и ХБИц) расхождение составило $(9,7 \pm 0,6) \%$. Для образцов ХБИц характерно увеличение объема, наличие правильной формы с несколько выпуклой коркой, выраженный коричневый приятный цвет изделий, присутствие развитой равномерной тонкостенной пористости с порами округлой формы, а также очень мягкого, эластичного и хорошо разжевываемого мякиша. Особо были отмечены такие показатели, как вкус и аромат; расхождения между образцами ХБИк и ХБИц по данным показателям составили в среднем $(0,7 \pm 0,3)$ и $(0,9 \pm 0,2)$ балла, соответственно. При оценке наивысшие суммарные баллы получил образец ХБИц.

В образцах мелкоштучных булочных изделий также были отмечены существенные различия, которые между образцами МБИк и МБИц составили $(10,9 \pm 0,4 \%)$. Дегустаторами особо были отмечены выраженный приятный гар-

маничный аромат, равномерная пористость и эластичность мякиша. Опытные образцы МБИц имели округлую форму, гладкую поверхность приятно коричневого цвета, без подрывов, хорошо развитую, равномерную пористость, без пустот и уплотнений, нежный эластичный мякиш светло-коричневого оттенка.

На основании расчета уровня качества образцы, полученные с использованием ЦСМПЗП, были признаны образцами отличного качества (93,9 % для ХБИц и 91,4 % МБИц), тогда как контрольные образцы имели хороший уровень качества (84,2 и 82,5 % соответственно). Использование ЦСМПЗП у всех опытных образцов привело к более выраженному цвету корки изделий и наличию приятного коричневого оттенка мякиша, что связано с интенсивным протеканием реакции Майяра в результате действия амилолитических и протеолитических ферментов и, как следствие, повышенным содержанием простых сахаров и свободных аминокислот.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование ЦСМПЗП позволяет улучшить органолептические показатели изделий, тем самым повысить привлекательность данного продукта для потребителей.

В качестве приоритетных направлений дальнейших исследований влияния ЦСМПЗП на качество хлебобулочных изделий был выбран комплекс показателей, наиболее сильно влияющих на общую привлекательность продукта для потребителя: влажность, пористость, кислотность, крошковатость, набухаемость и деформация мякиша. Результаты определения физико-химических показателей представлены в таблице 42 и на рисунке 95.

Таблица 42 – Результаты определения физико-химических показателей качества контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Образец	Влажность, %	Пористость, %	Кислотность, град
ХБИк	42,8 ± 0,3	71,0 ± 0,5	2,5 ± 0,2
ХБИц	43,5 ± 0,2	76,4 ± 0,2	3,6 ± 0,2
МБИк	41,4 ± 0,2	74,0 ± 0,3	2,2 ± 0,2
МБИц	42,8 ± 0,3	79,6 ± 0,5	3,4 ± 0,2
Регламентируемое значение согласно ГОСТ 31805-2018	19,0–52,0	Не менее 65	Не более 4

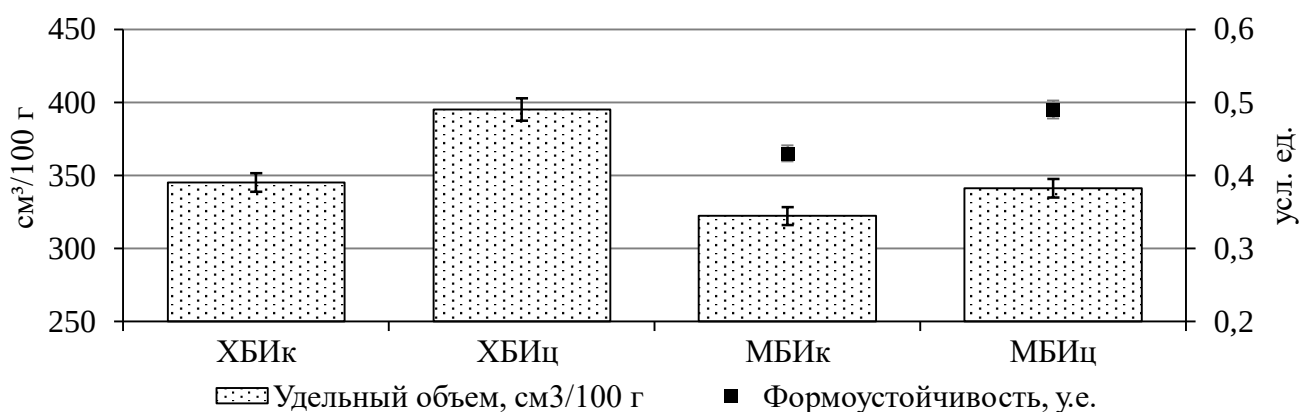


Рисунок 95 – Результаты определения удельного объема и формоустойчивости контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Совокупный анализ данных позволяет сказать, что все образцы хлебобулочных изделий соответствуют требованиям ГОСТ 31805-2018, при этом значение пористости и кислотности у образцов ХБИц значительно выше, чем у контрольных образцов ХБИк, что связано с активацией ферментов ЦСМПЗП, наличием большего количества простых сахаров, более интенсивным процессом кислотонакопления тестовой заготовки и увеличивающейся технологической эффективностью брожения. Подобная динамика также характерна и для образцов МБИц.

Анализ результатов исследования позволяет сказать, что ЦСМПЗП оказывает выраженное влияние на удельный объем как образцов ХБИц, так и образцов МБИц. Прирост значений данного показателя для ХБИц в среднем составил $(14,5 \pm 0,3) \%$, а для МБИц – $(5,9 \pm 0,2) \%$. Увеличение значений данного показателя обусловлено наличием легко доступных сахаров в ЦСМПЗП, ее повышенной газообразующей способностью и умеренным действием протеолитических ферментов, которые в процессе тестоведения улучшают эластичность теста, повышают способность удерживать накапливающийся диоксид углерода. Также необходимо отметить положительное влияние воды после УЗВ, используемой для замеса теста образцов с ЦСМПЗП, так как она способна укреплять структуру тестовых заготовок, более глубоко проникать в молекулы белка при одновременной интенсификации процесса брожения, что в целом обеспечивает высокий удельный объ-

ем готовых изделий. Об этом свидетельствуют результаты проведенных ранее исследований. Кроме того, в результате интенсификации процесса тестоприготовления кислотность опытных образцов как ХБИц, так и МБИц также имеет более высокие значения. Данный факт позволяет минимизировать отрицательное воздействие α -амилазы цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы и получить изделия высокого качества.

7.3 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на безопасность хлебобулочных изделий

Безопасность разработанных изделий имеет первостепенное значение для здоровья потребителей. На данном этапе исследований были определены микробиологические показатели и показатели безопасности исследуемых хлебобулочных изделий, что подтвердило их соответствие требованиям ТР ТС 021/2011 [83; 84] (таблица 43).

Результаты определения микробиологических показателей безопасности исследуемых образцов хлебобулочных изделий представлены в таблице 44.

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что как контрольные, так и опытные образцы хлебобулочных изделий являются безопасными и соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011.

Использование ЦСМПЗП в связи с наличием в ее составе всех структурных компонентов зерна (в особенности оболочечных частей) потенциально может обуславливать развитие картофельной болезни хлебобулочных изделий.

С целью определения достаточности обеззараживания зерна перед проращиванием и контроля риска повторной контаминации пророщенного зерна перед помолом была проведена оценка интенсивности развития картофельной болезни в хлебобулочных изделиях.

Таблица 43 – Результаты определения показателей безопасности контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Показатель	Регламентируемое значение согласно ТР ТС 021/2011, не более	Фактические значения показателей			
		ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
Токсичные элементы, мг/кг, не более					
Свинец	0,35	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,03	Менее 0,03
Мышьяк	0,15	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01
Кадмий	0,07	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01
Ртуть	0,015	Не обнаружено	Менее 0,001	Менее 0,001	Менее 0,001
Микотоксины, мг/кг, не более					
Афлатоксин В1	0,005	Менее 0,0003	Менее 0,0003	Менее 0,0003	Менее
Дезоксиниваленол	0,7	Менее 0,2	Менее 0,2	Менее 0,2	Менее 0,2
Т-2 токсин	0,1	Менее 0,05	Менее 0,05	Менее 0,03	Менее 0,03
Зеараленон	0,2	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01	Менее 0,01
Охратоксин А	0,005	Менее 0,0025	Менее 0,0025	Менее 0,0025	Менее 0,0025
Пестициды, мг/кг, не более					
ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры)	0,5	Менее 0,001	Менее 0,002	Менее 0,001	Менее 0,002
ДДТ и его метаболиты	0,02	Менее 0,002	Менее 0,001	Менее 0,002	Менее 0,001
2,4-Д кислота, ее соли и эфиры	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено	Н/о	Н/о
Радионуклиды, Бк/кг, не более					
Цезий-137	40	3,12	4,19	3,14	4,16
Стронций-90	20	Менее 0,03	Менее 0,05	Менее 0,03	Менее 0,05

Таблица 44 – Результаты определения показателей микробиологической безопасности для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Показатель	Регламентируемое значение согласно ТР ТС 021/2011, СанПиН 2.3.2.1078-01	Характеристика показателей			
		ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $1 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не допускается в 1 г	Не обнаружены в 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г
Дрожжи, КОЕ/г	Не более 100	Менее 10	Менее 10	Менее 10	Менее 10
Плесени, КОЕ/г	Не более 50	Менее 10	Менее 10	Менее 10	Менее 10

Полученные экспериментальные данные показали (рисунок 96), что появление слабого запаха в контрольных образцах хлебобулочных изделий начало проявляться через 60 ч. При этом в образцах с ЦСМПЗП через 72 ч было отмечено только присутствие незначительного специфического запаха, а к 84 ч хранения в провокационных условиях – изменение состояния мякиша. Необходимо отметить, что явных признаков присутствия спор картофельной палочки во всех образцах не выявлено, так как в течение 48 ч был получен отрицательный результат зараженности возбудителями картофельной болезни.

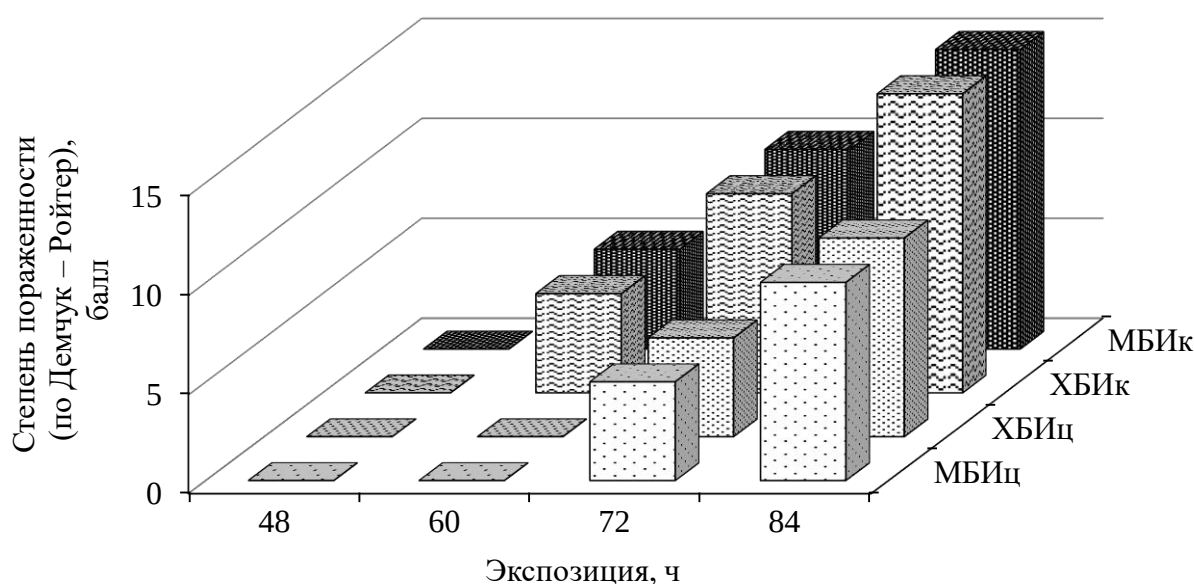


Рисунок 96 – Результаты оценки влияния ЦСМПЗП на зараженность возбудителями картофельной болезни образцов хлебобулочных изделий

Замедление интенсивности появления слабого характерного запаха и зами-нающегося мякиша образцов хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП, вероятнее все-го, обусловлено интенсивным кислотонакоплением в процессе брожения тестовой заготовки, что привело к повышенной кислотности готовых изделий и созданию условий, в которых данные процессы происходят значительно медленнее. Также данный факт позволяет сделать заключение, что обеззараживание поверхности зерна пшеницы ХПИ перед проращиванием при соблюдении требований СМБПП позволяет получить безопасный сырьевой ингредиент.

Для установления безопасности исследуемых образцов хлебобулочных из-делий был применен метод биотестирования согласно ГОСТ 31674-2012. Экспе-римент проводился в два этапа с использованием двух культур инфузории – *Para-mecium caudatum* и *Tetrahymena pyriformis*, результаты фиксировали прибором «БиоЛат-3.2» (рисунок 97).

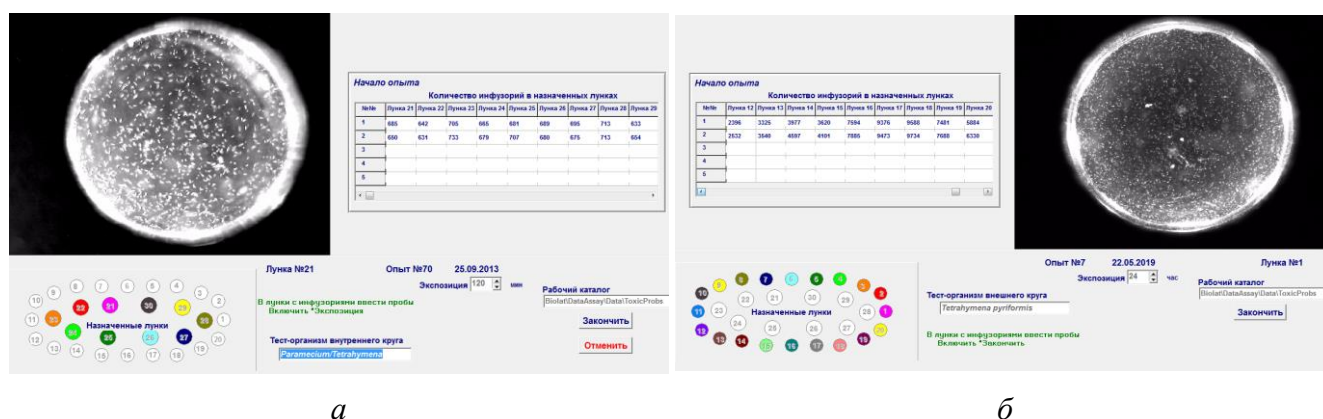


Рисунок 97 – Характерный вид процесса подсчета инфузорий *Paramecium caudatum* (а) и *Tetrahymena pyriformis* (б)

По результатам исследований были получены следующие показатели: ко-эффициент выживаемости и коэффициент относительного прироста (рисунок 98).

Инфузории *Tetrahymena pyriformis* и *Paramecium caudatum* широко известны и успешно применяются в качестве тест-организма, используемого в токсико-биологических исследованиях [34; 45], что объясняется сходством основных эта-пов обмена веществ этих простейших с высшими животными.

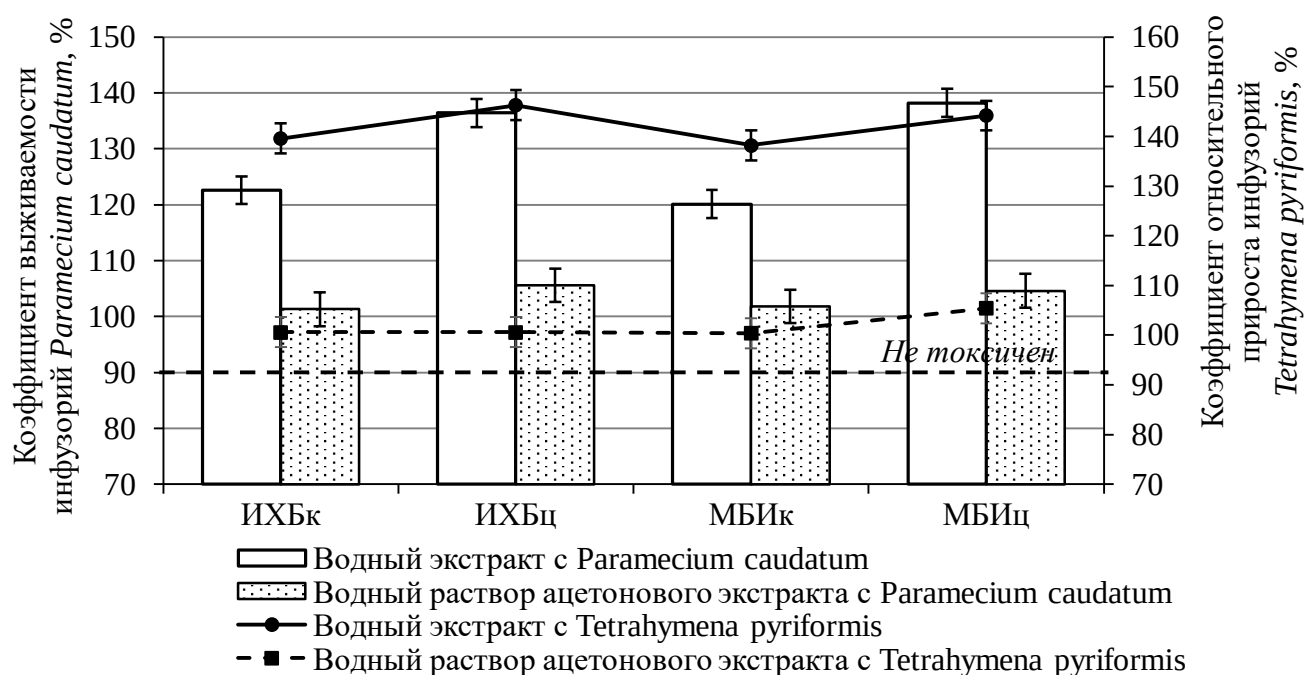


Рисунок 98 – Результаты определения коэффициентов выживаемости и относительного прироста инфузорий для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Данная методика безупречна с этической точки зрения, позволяет получить значительный массив данных и высокую степень корреляционной связи параметров токсичности, определяемых на крысах. К тому же тесты, проводимые с инфузориями *Tetrahymena pyriformis* и *Paramecium caudatum*, показали значительно более высокую чувствительность к ксенобиотикам (тяжелым металлам, инсектицидам, микотоксинам) по сравнению с бактериальными тестами (Microtox) [103].

Анализируя полученные данные, можно сказать, что как контрольные, так и опытные образцы хлебобулочных изделий являются нетоксичными и безопасными. Прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis* и *Paramecium caudatum* был наиболее выражен при использовании водных экстрактов и составил 122,6–146,3 %. Тогда как интенсивность прироста инфузорий в водном растворе ацетонового экстракта составила 101,3–105,4 %, что, возможно, обусловлено наличием более агрессивной среды в пробах из-за присутствия ацетона. Все исследуемые образцы хлебобулочных изделий согласно классификации по ГОСТ 31674-2012 относятся к нетоксичным.

7.4 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на пищевую ценность хлебобулочных изделий

Хлебобулочные изделия – основа пирамиды здорового питания населения РФ [71; 73]. Данная группа товаров имеет характерные закономерности спроса и предложения, поскольку относится к товарам, которые не имеют полноценных заменителей и обеспечивают пищевые потребности человека [81; 157; 292; 297].

В работах В. В. Тутельяна, Е. П. Мелешкиной и других исследователей [155; 156] подчеркивается, что одним из основных правил здорового питания является регулярное ежедневное употребление хлеба и хлебобулочных изделий. Благодаря данной группе продуктов возможно восполнить дефицит в витаминах группы В, калии, железе, фосфоре и пищевых волокнах, что наиболее эффективно достигается путем введения в рецептуру муки грубого помола.

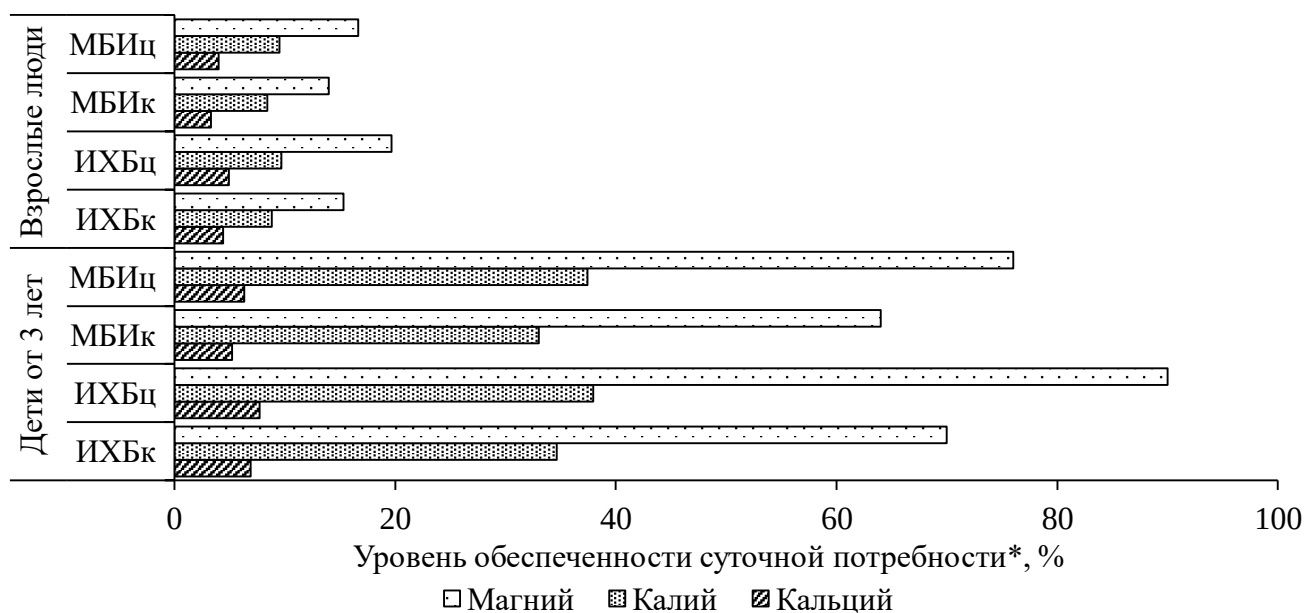
На сегодняшний день хлебобулочные изделия составляют от 20 до 25 % от общего объема потребляемых продуктов в структуре питания населения России. Мировой опыт в данной сфере показывает, что на здоровье влияет в большей степени не объем потребляемого хлеба, а его сбалансированность по химическому составу и способность полновесно наполнять пищевые рационы потребителя.

Современное обогащение хлебобулочных изделий должно базироваться на следующих принципах [106; 123; 146; 233; 242]:

- необходимо вносить только те вещества, дефицит которых доказан и достаточно широко распространен;
- следует обогащать витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и другими эссенциальными веществами те виды изделий, которые доступны для всех групп населения и регулярно используются в повседневном питании, при этом не должен существенно изменяться их вкус, аромат и сокращаться срок хранения;
- количество эссенциальных веществ в изделии должно быть достаточным для удовлетворения 20–50 % средней суточной потребности в этих микронутриентах при обычном уровне потребления.

При получении ЦСМПЗП все анатомические части пророщенного зерна, в том числе богатый липидами зародыш, переходят в ее состав, что обуславливает повышение массовой доли жира опытных образцов ХБИц и МБИц. Внесение в рецептуру ЦСМПЗП позволяет увеличить содержание пищевых волокон в опытных изделиях, что позволило повысить уровень обеспеченности суточной потребности в них до $(13,3 \pm 0,5) \%$ для детей и до $(10,9 \pm 0,5) \%$ для взрослого населения.

У опытных образцов повышается уровень обеспеченности суточной потребности в макроэлементах (рисунок 99). При употреблении опытных образцов ХБИц обеспеченность для детей от 3 лет в магнии, калии и кальции возрастает в среднем на 20; 3,3 и 0,8 % соответственно, а опытных образцов МБИц – на 12,0; 4,4 и 1,1 % соответственно.



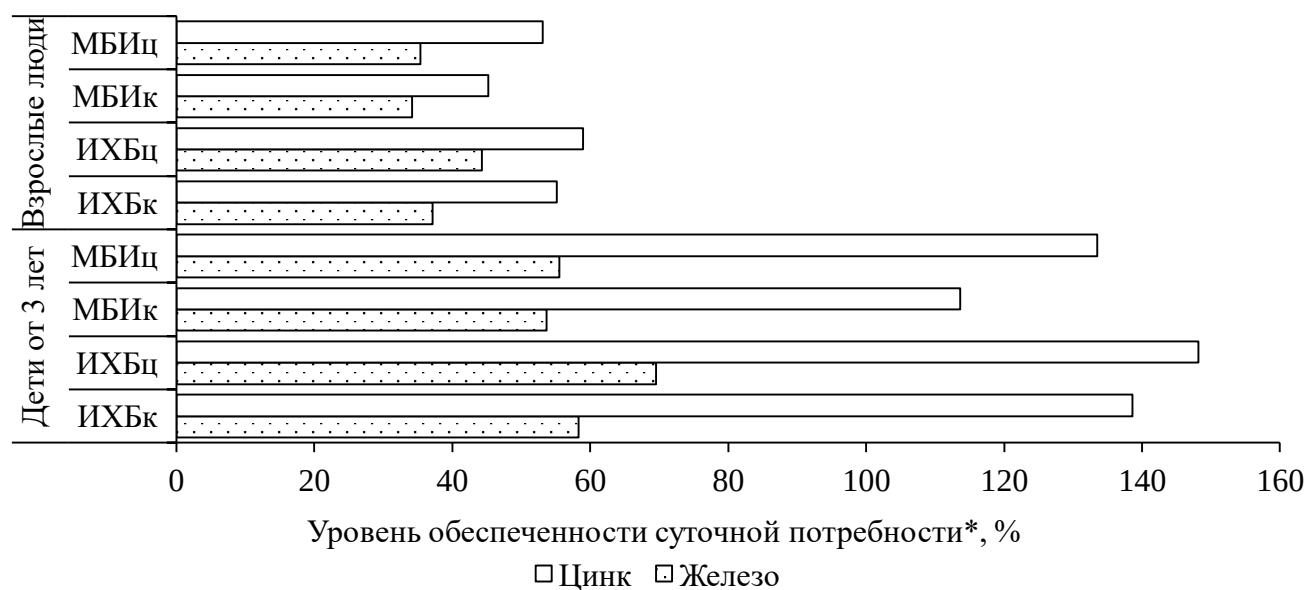
Примечание – * При потреблении 110 г контрольных и опытных хлебобулочных изделий для детей и 175 г контрольных и опытных хлебобулочных изделий для взрослого человека в сутки.

Рисунок 99 – Определение уровня обеспеченности суточной потребности организма человека в минеральных веществах (макроэлементах)

Для взрослого населения обеспеченность макроэлементами (магнием, калием и кальцием) при употреблении опытных образцов ХБИц повышается в сред-

нем на 4,4; 0,8 и 0,5 % соответственно, опытных образцов МБИц – в среднем на 2,6; 1,1 и 0,7 % соответственно.

Уровень обеспеченности суточной потребности в микроэлементах при потреблении опытных и контрольных образцов хлебобулочных изделий представлен на рисунке 100.



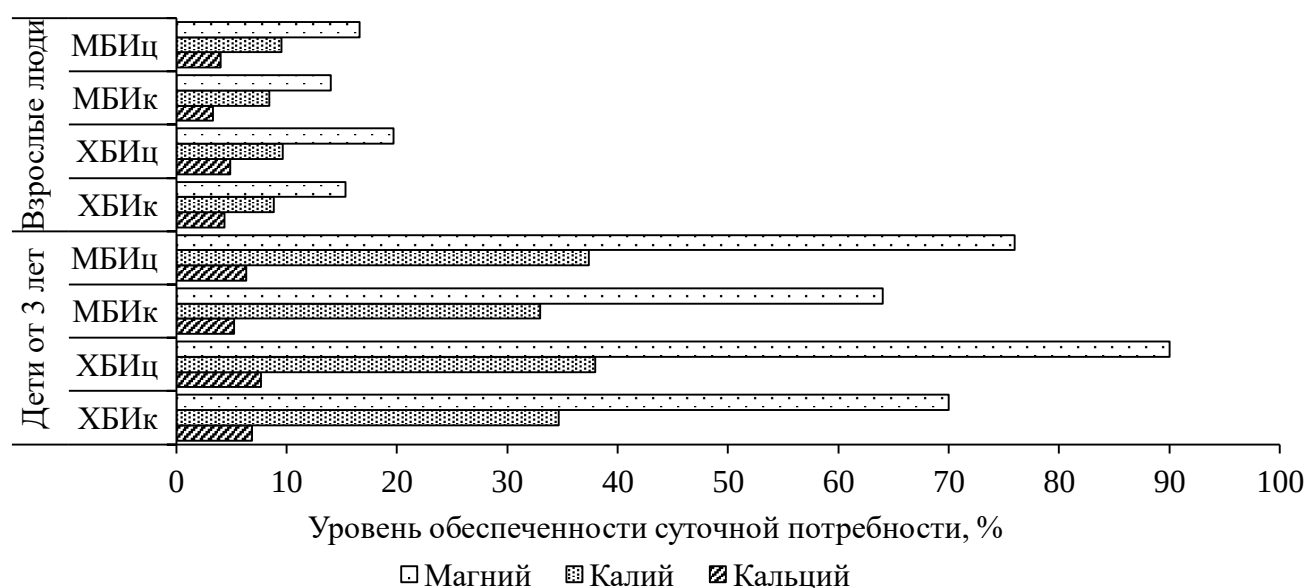
Примечание – * При употреблении 110 г контрольных и опытных хлебобулочных изделий для детей и 175 г хлебобулочных изделий для взрослого человека в сутки.

Рисунок 100 – Определение уровня суточной потребности организма человека в минеральных веществах (микроэлементах)

При внесении ЦСМПЗП повышается уровень обеспеченности суточной потребности в таких элементах, как цинк и железо. Так, употребление опытных образцов ХБИц в количестве 110 г для детей от 3 лет и 175 г для взрослого населения позволит восполнить потребность в цинке в среднем на 9,5 и 3,8 % соответственно, а опытных образцов МБИц – в среднем на 19,8 и 7,9 % соответственно. Уровень удовлетворения суточной потребности в железе повышается в диапазоне от 1,9 до 11,3 % для детей и от 1,2 до 7,2 для взрослого населения. В этом аспекте необходимо отметить тот факт, что увеличение количественного содержания железа в опытных образцах хлебобулочных изделий имеет невысокие значения,

и это можно отметить как положительный момент, так как значительное повышение этого микроэлемента целесообразно только для продукции, поступающей непосредственно в дошкольные и школьные учреждения, что позволит проводить целенаправленную профилактику железодефицитных состояний и избежать опасности избыточного потребления железа мужчинами и больными гемохроматозом [179; 252; 258; 259; 295; 305; 361].

Уровень обеспеченности суточной потребности в витаминах группы В опытных и контрольных образцов ХБИ и МБИ представлен на рисунке 101.



Примечание – * При употреблении 110 г контрольных и опытных хлебобулочных изделий для детей и 175 г хлебобулочных изделий для взрослого человека в сутки.

Рисунок 101 – Определение уровня суточной потребности организма человека в витаминах группы В

Витамины группы В сравнительно хорошо переносят воздействие температуры в процессе выпечки хлебобулочных изделий. Использование ЦСМПЗП позволило повысить уровень удовлетворения суточной потребности в тиамине, рибофлавине и пиридоксине для детей старше 3 лет в среднем на 11,0; 13,8 и 19,3 % соответственно для образцов ХБИц и на $(29,3 \pm 0,2)$; $(5,5 \pm 0,3)$ и $(19,3 \pm 0,2)$ % соответственно для образцов МБИц. Для взрослого населения прирост данных

показателей составил $(3,5 \pm 0,2)$; $(4,9 \pm 0,3)$ и $(6,1 \pm 0,3)$ % соответственно для ХБИц и $(9,3 \pm 0,3)$; $(1,9 \pm 0,2)$ и $(6,1 \pm 0,2)$ % соответственно для МБИц.

Использование ЦСМПЗП также оказало влияние на содержание заменимых и незаменимых аминокислот и биологическую ценность хлебобулочных изделий (таблица 46).

Таблица 46 – Содержание незаменимых и заменимых аминокислот в контрольных и опытных образцах хлебобулочных изделий, мг/1 г белка (средние значения)

Аминокислота	ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
Изолейцин	23,2	25,6	24,6	25,6
Лейцин	75,2	79,6	74,9	79,2
Лизин	24,1	30,5	25,3	30,5
Метионин + цистин	38,6	41,06	40,3	40,1
Фенилаланин + тирозин	61,3	61,8	79,6	81,8
Треонин	23,4	26,3	20,6	22,3
Триптофан	10,6	11,1	11,2	11,1
Валин	39,2	39,9	48,6	47,9
Аспарагиновая кислота + аспарагин	42,4	47,5	38,2	42,8
Глутаминовая кислота + глутамин	394,2	417,9	385,1	408,2
Гистидин	19,4	18,8	19,2	18,6
Серин	55,4	59,1	54,6	58,3
Аргинин	48,2	50,2	48,6	50,6
Глицин	35,2	38,7	33,6	36,9
Аланин	30,6	36,9	28,6	34,5
Пролин	102,4	121,5	98,6	117,0
Таурин	5,2	5,7	5,3	5,8
Тирозин	20,4	21,6	19,6	20,7
Цистин	18,8	19,9	19,3	20,4

Введение в рецептуру ЦСМПЗП приводит к увеличению содержания большинства аминокислот, в том числе незаменимых. Расчет аминокислотных скоров (рисунок 102) позволил выявить лимитирующие для контрольных образцов (ХБИк и МБИк) аминокислоты: изолейцин, лизин и треонин, при этом наименьший скор был отмечен для лизина – 43,8 и 46,0 % для ХБИк и МБИк соответственно.

Анализ аминокислотных скоров для опытных образцов ХБИц и МБИц показал, что внесение ЦСМПЗП позволяет улучшить аминокислотный состав белка.

В указанных образцах была выявлена только одна лимитирующая аминокислота – лизин. При этом следует отметить, что значения аминокислотного сора лизина для опытных изделий увеличились в среднем на $(26 \pm 0,6)$ и $(20 \pm 0,5)$ % для ХБИц и МБИц соответственно. Также этот факт положительно сказался на биологической ценности опытных образцов (рисунок 103).

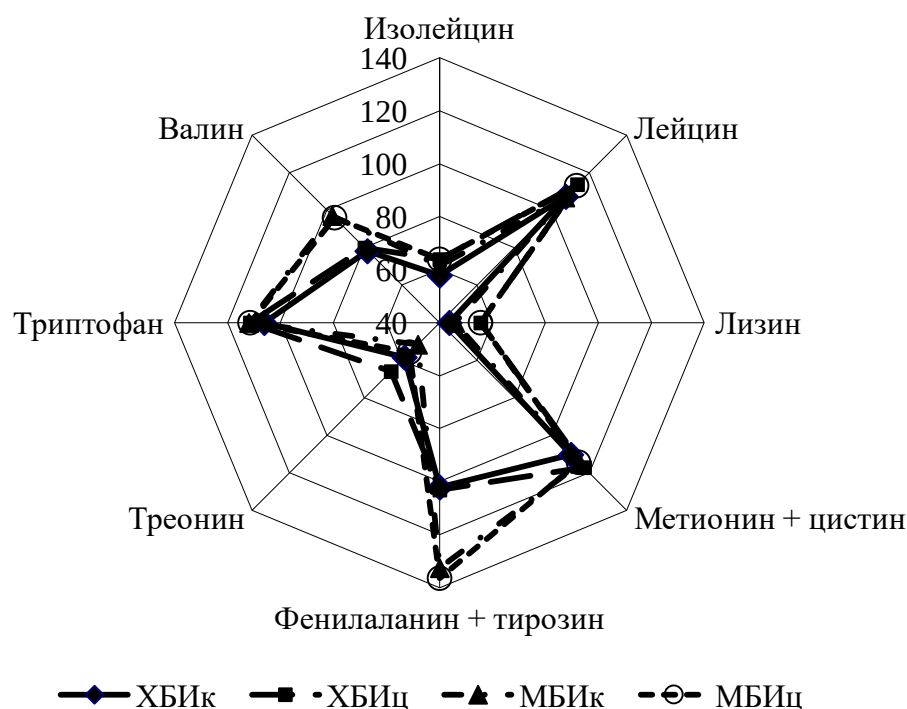


Рисунок 102 – Результаты расчета аминокислотного сора для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий, %

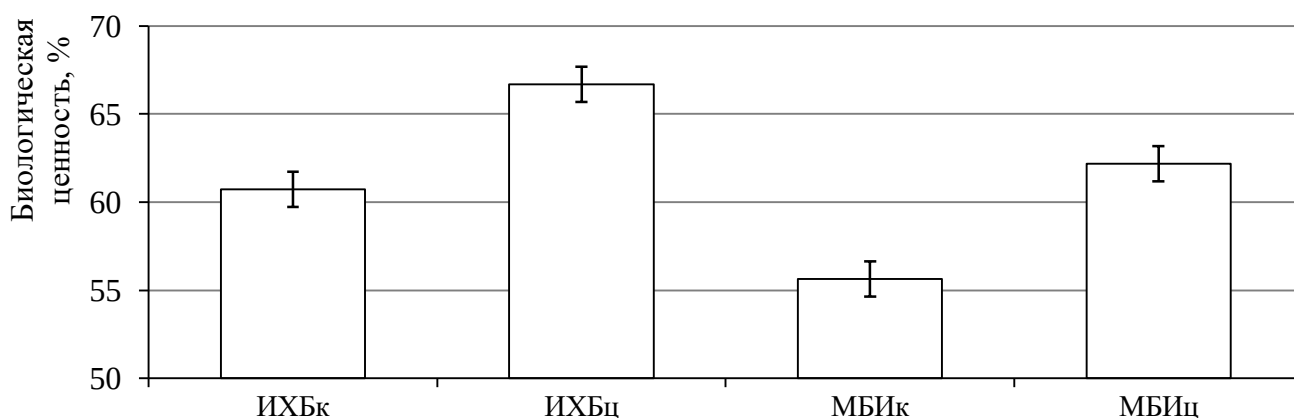


Рисунок 103 – Результаты расчета биологической ценности для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий, %

Биологическая ценность опытных образцов ХБИц и МБИц увеличилась в результате внесения в рецептуру ЦСМПЗП в среднем на $(9,8 \pm 0,3)$ и $(11,8 \pm 0,3)$ % соответственно.

Результаты определения антиоксидантной емкости хлебобулочных изделий и вариативности значений в процессе хранения

В последние годы наблюдается глобальная тенденция к использованию присутствующих в пище природных веществ в качестве источника антиоксидантов и других биологически активных веществ. Природные антиоксиданты, присутствующие в пищевых продуктах и других биологических материалах, получили наибольшее распространение из-за их безопасности, возможности оказывать терапевтический эффект и снижать риск возникновения заболеваний свободнорадикального происхождения. Авторы [292; 328; 353; 391] доказывают, что адекватные уровни пищевых антиоксидантов вызывают иммунологические процессы и повышают защитные свойства клеток. По этой причине проводятся многочисленные разисследования аботки в области оптимизации технологии производства пищевых продуктов для улучшения качества, потребительских достоинств, функциональных свойств и биодоступности такой группы товаров, как хлебобулочные изделия [189].

Формирование антиоксидантных свойств хлебобулочных изделий – процесс достаточно сложный. Антиоксидантные свойства могут быть связаны с присутствием фенольных кислот, флавоноидов и полифенолов, содержащихся в ЦСМПЗП. Но в процессе выпечки хлебобулочных изделий данная группа веществ может подвергаться пиролизу и полимеризации, при этом под действием высоких температур будут образовываться меланоидины, обладающие высокой реакционной способностью. Не следует забывать и об этапе созревания теста, во время которого на брожение могут расходоваться как сахара, так и другие биологически активные вещества [12; 17; 108]. Результаты определения содержания флавоноидов и полифенольных соединений в контрольных и опытных образцы хлебобулочных изделий представлены на рисунке 104.

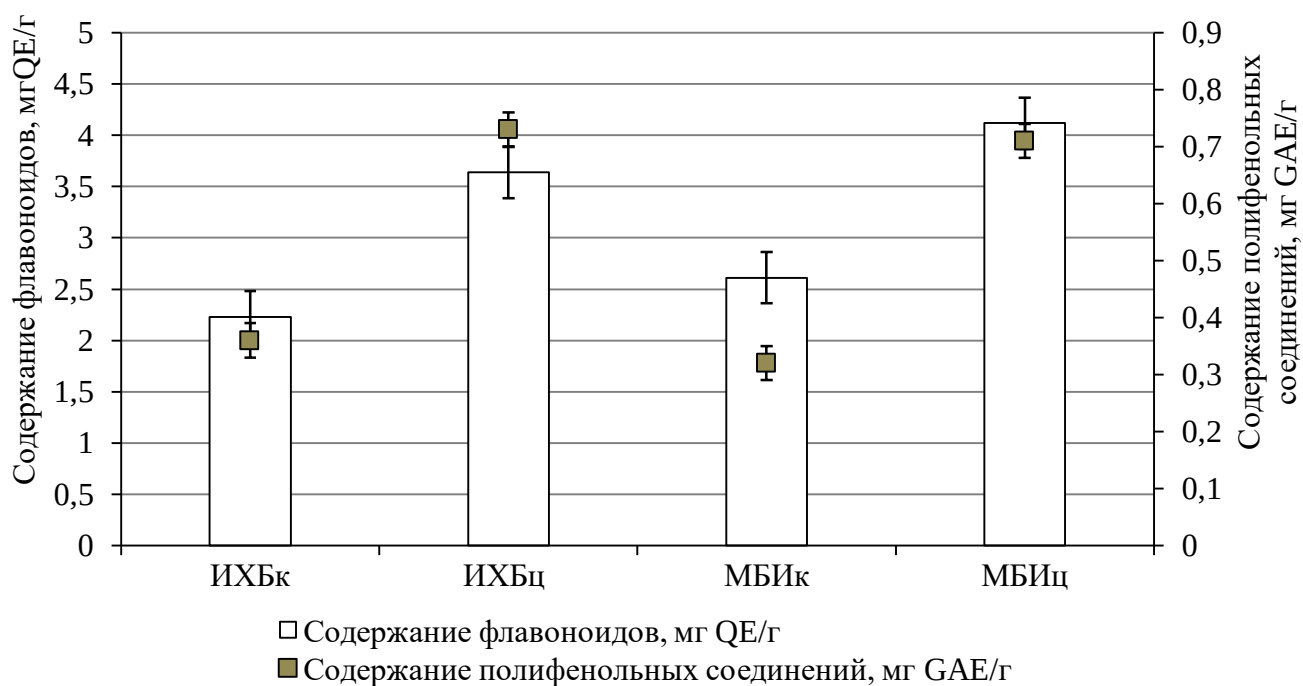


Рисунок 104 – Результаты определения содержания флавоноидов и полифенольных соединений в контрольных и опытных образцах хлебобулочных изделий

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении содержания флавоноидов в образцах хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Так, у опытных образцов ХБИц значение данного показателя увеличивается в среднем в 1,63 раза, у образцов МБИц – в 1,57 раза по отношению к контрольным образцам. Данная зависимость сохраняется в содержании полифенольных соединений.

Для опытных образцов ХИБц и МБИц отмечается увеличение в среднем в 2,02 и 2,21 раза соответственно. Содержание флавоноидов и полифенольных соединений контрольных образцов в целом согласуется с опубликованными исследованиями [189; 379], в которых отмечается, что фенольные соединения находятся в связанной форме. Chen, Yu, Wang, Gu и Beta в своих исследованиях определили, что связанная феруловая кислота является доминирующей фенольной кислотой в мякише хлебобулочных изделий, при этом она может образовывать эфирные связи с лигнином и сложноэфирные связи со структурными белками и углеводами [218; 236; 283; 385; 387]. Возможно, процесс проращивания позво-

ляет перевести некоторое количество фенольных веществ в свободное состояние и сделать их более доступными, что и обуславливает высокие значения результатов определения флавоноидов и полифенольных соединений. Sudha, Baskaran и Leelavathi [364] в своих исследованиях отмечают, что высокая температура выпечки может привести к деградации, окислительной конденсации или разложению термолабильных фенольных соединений. Результаты антиоксидантной емкости контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий представлены на рисунке 105.

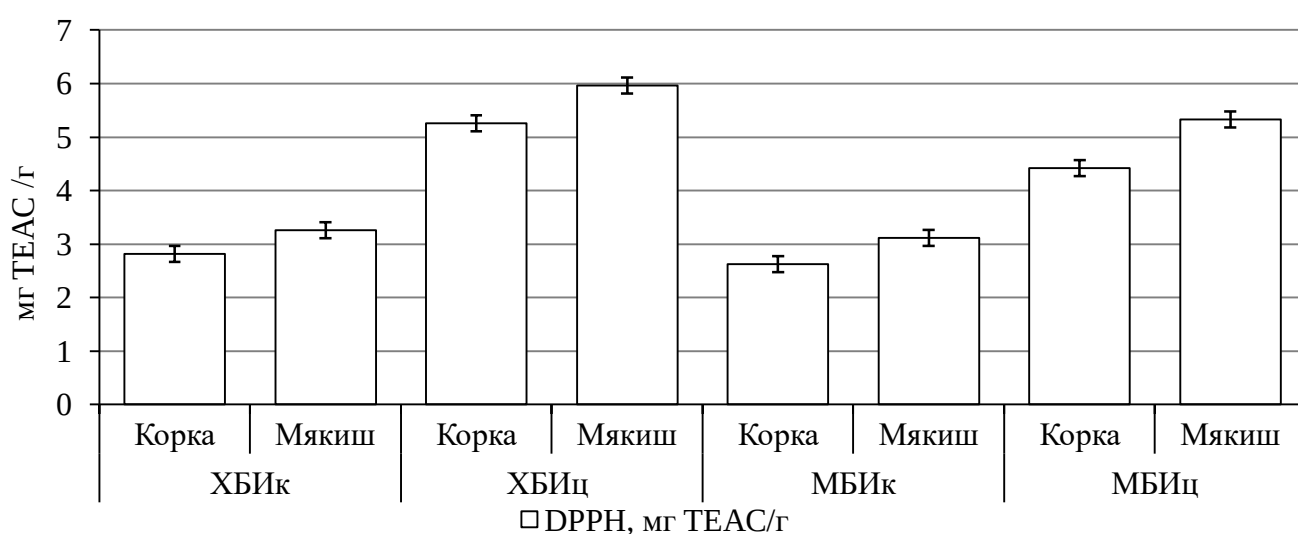


Рисунок 105 – Результаты определения антиоксидантной емкости (DPPH, мг ТЕАС/г) для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Антиоксидантная емкость (DPPH, мг ТЕАС/г) опытных образцов ХБИц и МБИц была значительно выше, чем у контрольных образцов, вероятно, за счет внесения ЦСМПЗП, содержание фенольных кислот, полифенолов и флавоноидов в которой было значительно выше, чем в сортовой муке, используемой для производства контрольных образцов хлебобулочных изделий. Так, наибольшее увеличение антиоксидантной емкости было отмечено в мякише ХБИц и МБИц и составило $(5,96 \pm 0,23)$ и $(5,33 \pm 0,22)$ мг ТЕАС/г соответственно. В корке и подкорковом слое как контрольных, так и опытных образцов отмечалось снижение значений антиоксидантной емкости, что может быть связано с процессами полимеризации.

зации, происходящими под действием высоких температур, о чем свидетельствует более коричневый цвет поверхности изделий, особенно опытных образцов. Но, несмотря на это, антиоксидантная емкость опытных образцов ХБИц и МБИц была в 1,87 и 1,68 раза выше контрольных образцов.

Сохранение полученных антиоксидантных свойств хлебобулочных изделий имеет большое значение, так как полученные данные позволяют спрогнозировать динамику их изменения в процессе хранения (таблица 47).

Таблица 47 – Результаты изменения антиоксидантной емкости в процессе хранения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (усредненная проба)

Образец	Антиоксидантная емкость (DPPH, мг ТЕАС/г)				
	4 ч	24 ч	48 ч	72 ч	108 ч
ХБИк	$3,04 \pm 0,12$	$3,09 \pm 0,22$	$3,10 \pm 0,18$	$3,02 \pm 0,12$	$2,86 \pm 0,12$
ХБИц	$5,61 \pm 0,12$	$5,81 \pm 0,11$	$5,60 \pm 0,19$	$5,52 \pm 0,18$	$5,46 \pm 0,22$
МБИк	$2,86 \pm 0,11$	$2,96 \pm 0,06$	$2,80 \pm 0,21$	$2,68 \pm 0,18$	$2,54 \pm 0,21$
МБИц	$4,76 \pm 0,16$	$4,98 \pm 0,15$	$4,81 \pm 0,12$	$4,68 \pm 0,20$	$4,39 \pm 0,18$

В первые 24 ч хранения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий можно отметить незначительное повышение антиоксидантной емкости, что может быть связано с перераспределением и частичной потерей влаги в процессе хранения и увеличением общего количества сухих веществ. Причем у контрольных образцов изменения антиоксидантной емкости в данный период хранения не имели статистически значимых различий.

В дальнейший период хранения наблюдается незначительное снижение антиоксидантной емкости как опытных, так и контрольных образцов. Наиболее выраженное снижение данного показателя можно отметить у опытных образцов МБИц (0,37 мг ТЕАС/г), что может быть обусловлено наличием и окислением жировой фракции в этих продуктах. На основании полученных результатов можно сделать заключение о целесообразности использования ЦСМПЗП для повышения антиоксидантной емкости хлебобулочных изделий в течение всего срока хранения.

Результаты определения содержания γ -аминомасляной кислоты в хлебобулочных изделиях и вариативности значений в процессе хранения

Исследование биоактивных молекул, полученных из природных источников, имеет большие перспективы для создания современных пищевых продуктов. На сегодняшний день основной интерес в краткосрочной и среднесрочной перспективе представляют исследования, связанные с определением эффективной дозы биологически активных соединений при добавлении их к пищевому рациону изолированно либо естественным образом в пищевой матрице [228; 257; 259; 261; 270; 291].

Получение ГАМК из глутаминовой кислоты или ее солей в пробиотических клетках и других природных ресурсах, таких как сырьевые компоненты растительного происхождения, имеет дополнительную ценность для пищевой промышленности из-за увеличения интереса к натуральным пищевым продуктам и продуктам органического происхождения [292; 317].

В странах Европейского союза и США ГАМК считается «пищевой составляющей» и «пищевой добавкой» соответственно. Правительство Японии называет пищевые продукты, обогащенные ГАМК, продуктами питания, предназначенными для особого здоровья (FOSHU) [369]. В Южной Корее ГАМК в настоящее время не зарегистрирована в Кодексе корейских пищевых стандартов и Кодексе корейских пищевых добавок, что позволяет использовать ее как продукт процесса ферментации сырьевого материала [237; 358].

В России установлены только медикаментозные количества ГАМК. Так, дозировка, обеспечивающая облегчение реакции на стресс, составляет около 750–800 мг в сутки, которые делятся на три-четыре приема. Для уменьшения беспокойства некоторые врачи рекомендуют принимать от 250 до 650 мг ГАМК три раза в день, при этом суточная доза составляет 750–1950 мг. Чтобы уменьшить симптомы синдрома дефицита внимания на фоне общей гиперактивности, рекомендуется принимать от 250 до 400 мг ГАМК три раза в день (до 1200 мг в сутки). Также отмечается, что с целью профилактики гипертонии и бессонницы достаточно всего 10–20 мг ГАМК в сутки; в случаях умеренной гипертонии, легкой формы бессонницы и при повышенных физических и умственных нагрузках

врачи рекомендуют соблюдать дозировку поступления ГАМК в размере около 40–50 мг ежедневно [237; 269]. В Едином реестре специализированной пищевой продукции, прошедшей государственную регистрацию (выданные Федеральной службой, включая Управления; дата актуализации базы данных – 25 сентября 2019 г.), представлено четырех зарегистрированных пищевых и биологически активных добавки на основе ГАМК [98].

ГАМК естественно присутствует в небольших количествах во многих пищевых продуктах растительного происхождения: в овощах (шпинат, картофель, капуста, спаржа, брокколи и помидоры), фруктах (яблоки и виноград) и зерновых (например, ячмень и кукуруза) [319; 321]. В 2011 г. в работах Noots, Oh и Ohm [318; 320; 323] было предложено проращивание бобовых культур для повышения количества ГАМК, что открыло новое направление в создании функциональных продуктов на зерновой основе.

На сегодняшний день большое количество ГАМК было обнаружено в ферментированных продуктах, особенно в группе кисломолочных товаров [328], в соевых соусах [231] и сырах [292]. Как правило, организм человека может синтезировать собственный запас ГАМК. Однако синтез ГАМК в организме современного человека сдерживается недостатком цинка и витаминов или, наоборот, избытком салициловой кислоты и пищевых добавок [328]. Поэтому обогащение ГАМК пищевых продуктов, используемых в ежедневном рационе современного человека, актуально и целесообразно на сегодняшний день [189]. В исследованиях зарубежных ученых более широко представлены данные по содержанию ГАМК в продуктах растительного происхождения [319; 320; 321; 322; 323] (таблица 48).

ГАМК также можно обнаружить в сортовой пшеничной муке [322], однако ее количество там достаточно низкое, чтобы оказывать влияние на организм человека при потреблении продуктов на их основе. Тогда как внесение ЦСМПЗП значительно повышает количество данного функционального вещества в готовых изделиях хлебобулочных (рисунок 106).

Таблица 48 – Содержание ГАМК в пищевых продуктах растительного происхождения [319; 320; 321; 322; 323]

Наименование пищевого продукта	Содержание ГАМК, мг/кг
Пшеничная закваска из цельных зерен	258,7
Цельнозерновая и соевая закваска	1000
Хлеб из батона на закваске	22,62
Хлеб с добавлением <i>Yersinia GAD</i>	115
Хлопья зерновые из отрубей	66
Зерновые хлопья из киноа	90
Хлопья из солодовой муки	258
Ферментированный овес <i>Aspergillus sp.</i>	435,2
Мука из зародышей пшеницы	1630
Ячменные отруби	948
Проросший шелушенный ячмень	143
Коричневый рис после протеолитического гидролиза	22,6
Коричневый рис, обработанный высоким давлением	130

Анализ полученных результатов не позволяет выявить прямой зависимости между содержанием ГАМК в ЦСМПЗП и количеством ее внесения в рецептуру изделий. Так, в контрольных образцах ХБИк и МБИк были выявлены следовые количества ГАМК, что может быть обусловлено деятельностью дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*, которые способствуют синтезу ГАМК из глутаминовой кислоты путем реакции декарбоксилирования с образованием диоксида углерода в процессе замеса и брожения теста [189]. В аминокислотном составе образцов ЦСМПЗП можно отметить достаточно высокое содержание глутаминовой кислоты и глутамина, что интенсифицирует протекание реакции декарбоксилирования и способствует образованию ГАМК в готовых хлебобулочных изделиях. Lamberts и его коллеги отмечают некоторое снижение количества ГАМК в процессе расстойки и формования теста [270; 285]. В процессе выпечки снижается некоторое количество ГАМК, этот процесс особенно активен на поверхности изделий и минимален в центре мякиша, так как температура плавления ГАМК составляет 203 °С. После выпечки готовых изделий можно также отметить, что содержание глутаминовой кислоты и глутамина в опытных образцах несколько выше, чем в контрольных, что говорит об их достаточном количестве для реакции декарбоксилирования и образования ГАМК на всех стадиях технологического процесса.

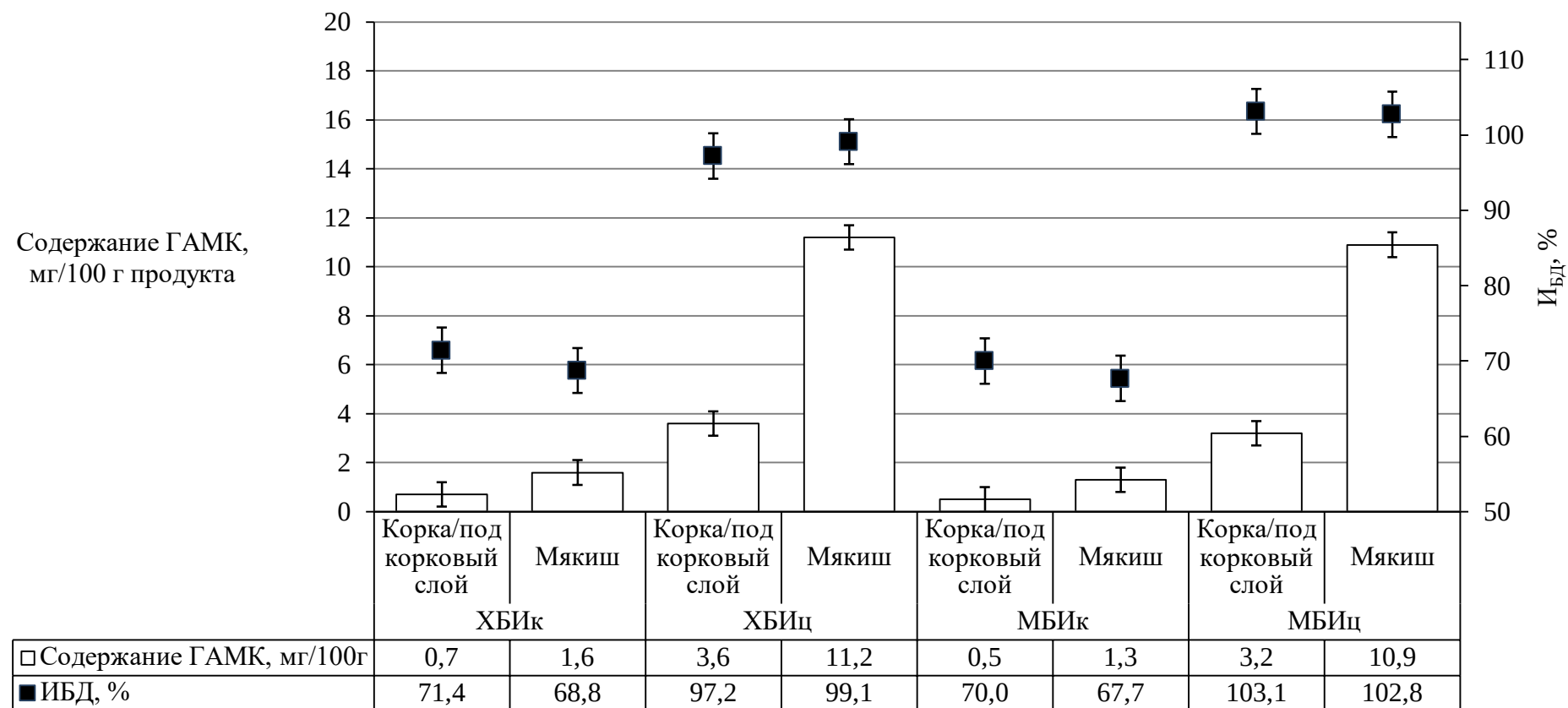


Рисунок 106 – Результаты количественного определения ГАМК и потенциальной биодоступности (ИБД), % в контрольных и опытных образцах хлебобулочных изделий

Применение высокой температуры, используемой во время выпечки образцов ХБИц и МБИц, привело к активному снижению содержания ГАМК в корке и подкорковом слое, что можно объяснить денатурацией свободных аминокислот, которые используются в реакции Майяра [328]. Так, потеря ГАМК в корке и подкорковом слое относительно мякиша в опытных образцах ХБИц и МБИц составила в среднем 67,8 и 70,6 % соответственно.

Содержание ГАМК в мякише опытных образцов ХБИц и МБИц имели максимальные значения и в среднем в 10,5 и 8,4 раза превышали значения контрольных образцов, что также может быть обусловлено продолжением синтеза кислоты в результате действия ферментов ЦСМПЗП [220; 270; 285; 357].

Потенциальная биодоступность ($I_{\text{БД}}$) опытных образцов ХБИц и МБИц была выше контрольных образцов в среднем на 44,2 и 51,2 % соответственно для мякиша и на 36,1 и 47,3 % для корки и подкоркового слоя. Возможно, процесс проращивания после УЗВ позволяет получить не только интенсивное накопление ГАМК, но и комплекс фитохимических веществ, которые в дальнейшем способствуют ее стабильности и сохранению в пищевых продуктах [325]. Таким образом, можно сделать вывод, что использование *ЦСМПЗП* является одним из способов повышения уровня ГАМК в хлебобулочных изделиях и создания продуктов для здорового питания. Согласно Рекомендациям по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (приказ Минздрава России от 19 августа 2016 г. № 614), рекомендуемая норма потребления хлебных продуктов составляет 96 кг в год на взрослого человека, что соответствует в среднем 175 г хлебобулочных изделий в сутки. При употреблении данного количества ХБИц и МБИц возможно обеспечить насыщение организма человека в среднем на 19,1–19,6 мг ГАМК, что соответствует профилактической норме при гипертонии, бессоннице, повышенных физических и умственных нагрузках.

Сохранение полученных свойств хлебобулочных изделий имеет большое значение, так как полученные данные позволяют спрогнозировать динамику изменения свойств в процессе их хранения (таблица 49).

Таблица 49 – Результаты изменения содержания ГАМК в процессе хранения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (усредненная проба)

Образец	Содержание ГАМК, мг/100 г продукта				
	4 ч	24 ч	48 ч	72 ч	108 ч
ХБИк	1,21 ± 0,03	1,32 ± 0,04	1,24 ± 0,04	1,19 ± 0,02	1,12 ± 0,03
ХБИц	7,41 ± 0,02	7,51 ± 0,03	7,50 ± 0,03	7,42 ± 0,04	7,32 ± 0,02
МБИк	0,92 ± 0,01	0,96 ± 0,02	0,90 ± 0,03	0,82 ± 0,02	0,84 ± 0,03
МБИц	7,05 ± 0,01	7,11 ± 0,03	7,06 ± 0,04	6,98 ± 0,02	6,91 ± 0,02

На основании полученных данных у контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий можно отметить незначительное увеличение ГАМК в течение первых 24 ч хранения, что может быть связано с перераспределением влаги между центром мякиша, коркой и подкорковым слоем в первые сутки хранения, снижением ее общего количества в усредненной пробе и повышением количества сухих веществ.

При дальнейшем хранении наблюдается маловыраженная динамика снижения величины ГАМК в хлебобулочных изделиях. В контрольных образцах ХБИк и МБИк наблюдается общее снижение количества ГАМК за 108 ч хранения на 7,4 и 8,7 % соответственно. Тогда как у опытных образцов количество ГАМК снижается всего на 1,2 % для образцов ХБИц и на 1,9 % для образцов МБИц. Полученные данные позволяют предположить, что в результате контролируемого проращивания после УЗВ происходит синтез более устойчивых форм ГАМК в процессе хранения в пищевой системе хлебобулочных изделий [228; 232].

На следующем этапе исследований были определены значения критериев антиоксидантной и мембраностабилизирующей активности, полученных с использованием инфузорий *Paramecium caudatum*, контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (рисунок 107).

Анализ полученных данных позволяет сказать, что опытные образцы хлебобулочных изделий имеют более высокие значения критериев антиоксидантной и мембраностабилизирующей активности по сравнению с контрольными образцами, что позволяет отнести их к высокоактивным по двум вышеперечисленным

показателям и косвенно подтверждает их антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие на живой организм.

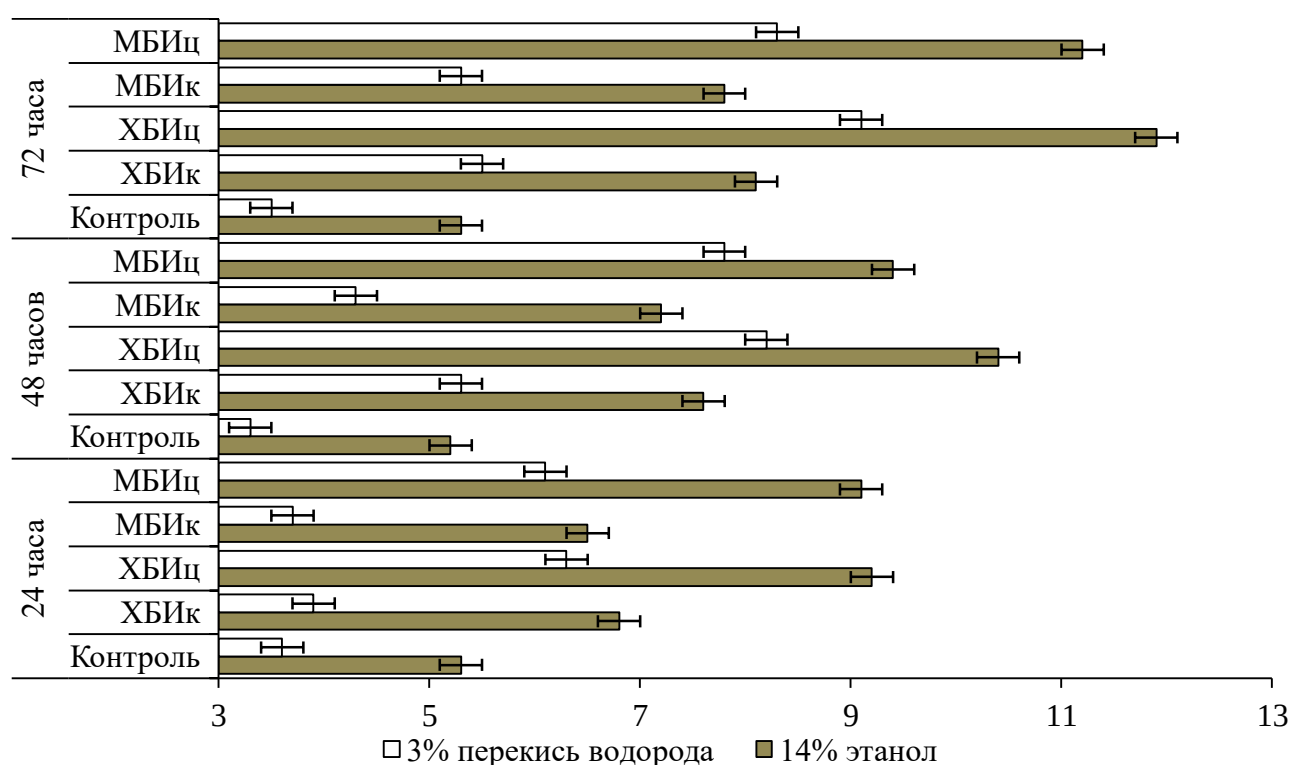


Рисунок 107 – Результаты определения антиоксидантной и мембраностабилизирующей активности опытных и контрольных образцов хлебобулочных изделий (усредненная проба)

7.5 Влияние цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на изменение качества хлебобулочных изделий при хранении

Качество хлебобулочных изделий, являющихся в значительной степени лабильными продуктами, в процессе хранения претерпевает значительные изменения. Снижение качества при хранении связано с процессами черствения и усыхания хлебобулочных изделий. В результате протекания этих процессов снижается мягкость и эластичность мякиша, повышается его крошковатость, теряется вкус и аромат изделий, что в целом обуславливает потерю свежести хлеба.

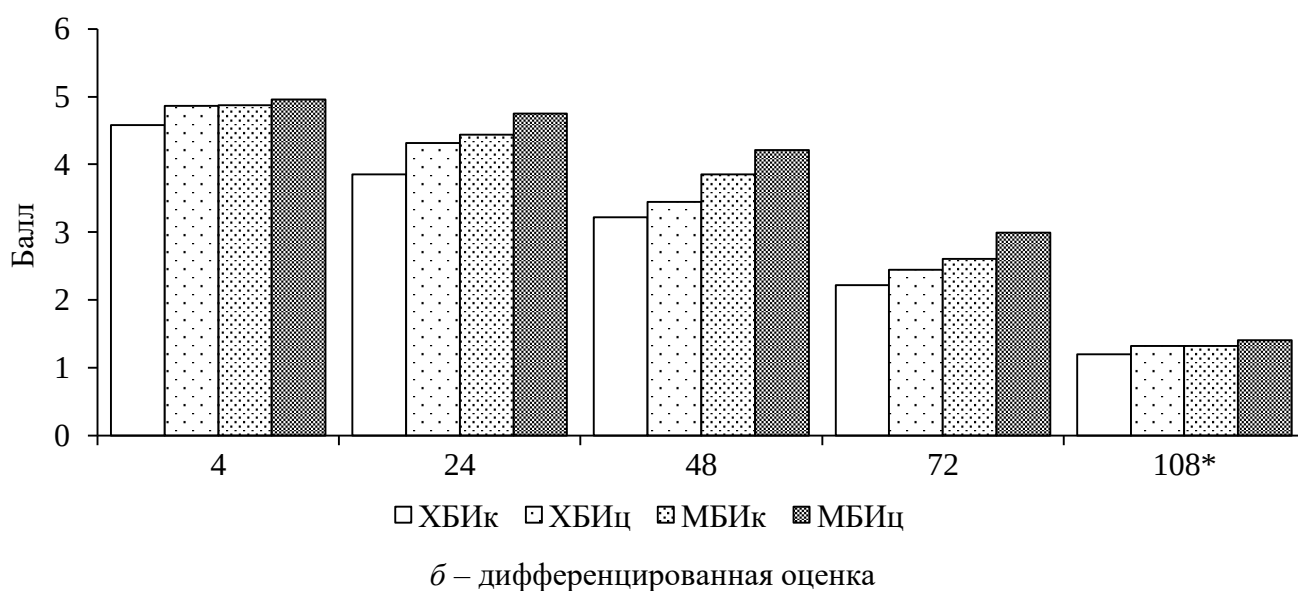
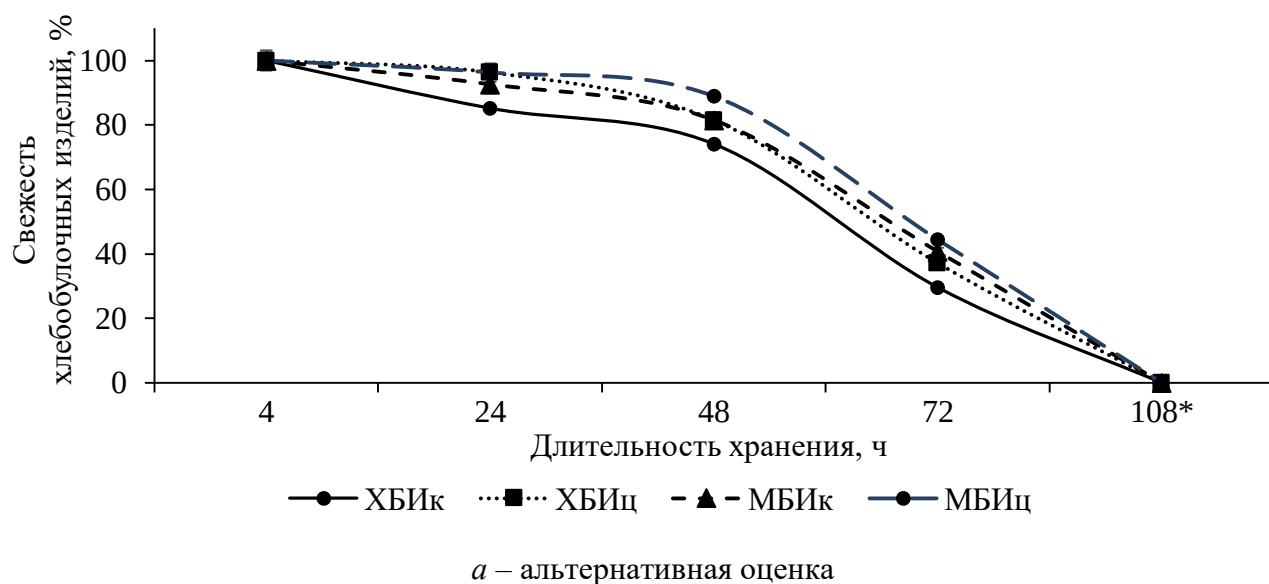
Для оценки влияния цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы на изменение качества хлебобулочных изделий при хранении все образцы хлебобулочных изделий закладывались на хранение в полимерной упаковке с клипсой при температуре $(18 \pm 3)^\circ\text{C}$ в условиях лаборатории [85]. Комплексная оценка проводилась через 4; 24; 48; 72 и 108 ч (с учетом коэффициента резерва 1,5 для скоропортящихся продуктов согласно МУК 4.2.1847-04).

Свежесть хлебобулочных изделий является одним из основных показателей их качества. Изменение свежести связывают с протеканием сложных физико-химических, коллоидных и биохимических процессов – изменений в углеводах и белках (черствение) и потерей влаги (усыхание) [8; 25; 31; 133].

Необходимо учитывать, что оценка свежести или черствости хлебобулочных изделий потребителем в конечном счете является решающей. Поэтому для исследования влияния ЦСМПЗП на скорость черствения хлебобулочных изделий были использованы альтернативная и дифференцированная органолептическая оценка степени свежести (черствости) хлеба, разработанная в МПИПП Л. Я. Ауэрманом и Р. Г. Рахманкуловой [31]. Обобщенные результаты оценки степени свежести (черствости) хлебобулочных изделий представлены на рисунке 108.

Анализ полученных результатов позволяет сказать, что опытные образцы ХБИц уже через 24 ч хранения имели более высокую суммарную оценку степени свежести/черствости (расхождение составило $(0,47 \pm 0,05)$ балла). Данная динамика сохраняется на протяжении всего периода хранения, и только к 108 ч как контрольные, так и опытные образцы ХБИ оцениваются как черствые. Образцы МБИц также имели более высокие значения суммарной оценки. Так, через 24 ч разница составила $(0,31 \pm 0,05)$ балла, через 48 и 72 ч – $(0,36 \pm 0,07)$ и $(0,38 \pm 0,05)$ балла соответственно, что согласуется с результатами альтернативной оценки свежести хлебобулочных изделий.

Для изучения влияния ЦСМПЗП на изменение качества хлебобулочных изделий в процессе их хранения был определен комплекс показателей, наиболее полно характеризующих степень свежести изделий, среди которых пористость, влажность, набухаемость, крошковатость и деформация мякиша (таблица 50).



Примечание – * С учетом коэффициента резерва для скоропортящихся продуктов согласно МУК 4.2.1847-04.

Рисунок 108 – Общая балльная оценка степени свежести (черствости) хлебобулочных изделий

Большинство исследователей считают основной причиной черствения хлебобулочных изделий ретроградацию крахмала [64; 126]. Клейстеризованный в процессе выпечки крахмал с течением времени выделяет поглощенную им воду, и высвобождаемые гидроксильные группы глюкозных остатков связываются водородными связями. Происходит частичный переход крахмала в кристаллическое состо-

яние с уплотнением его структуры [31]. Этим возможно объяснить изменения крошковатости и набухаемости мякиша контрольных образцов хлебобулочных изделий в процессе хранения.

Таблица 50 – Результаты определения вариативности физико-химических показателей при хранении контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Длительность хранения, ч	Пористость, %	Влажность, %	Крошковатость, %	Набухаемость мякиша, мл на 1 г сухого вещества
ХБИк				
4	71,0 ± 0,5	42,8 ± 0,3	3,6 ± 0,2	6,7 ± 0,1
24	70,5 ± 0,4	41,6 ± 0,2	12,1 ± 0,2	5,2 ± 0,1
48	69,0 ± 0,4	39,3 ± 0,3	16,8 ± 0,2	3,9 ± 0,3
72	66,0 ± 0,5	34,5 ± 0,2	17,9 ± 0,1	3,4 ± 0,1
108	65,0 ± 0,5	33,1 ± 0,2	17,4 ± 0,1	3,2 ± 0,1
ХБИц				
4	76,4 ± 0,2	46,5 ± 0,2	2,5 ± 0,3	7,5 ± 0,2
24	76,5 ± 0,2	42,1 ± 0,2	10,3 ± 0,2	6,1 ± 0,2
48	74,5 ± 0,3	42,0 ± 0,3	12,2 ± 0,2	6,0 ± 0,2
72	71,4 ± 0,5	40,6 ± 0,3	13,6 ± 0,2	4,2 ± 0,3
108	70,6 ± 0,3	38,7 ± 0,2	13,9 ± 0,2	4,0 ± 0,2
МБИк				
4	74,0 ± 0,3	41,4 ± 0,2	2,3 ± 0,1	7,7 ± 0,3
24	73,6 ± 0,2	40,8 ± 0,2	5,1 ± 0,3	6,2 ± 0,2
48	72,0 ± 0,4	40,1 ± 0,3	7,0 ± 0,1	5,2 ± 0,3
72	71,0 ± 0,2	38,5 ± 0,3	9,4 ± 0,2	4,3 ± 0,2
108	70,0 ± 0,3	36,9 ± 0,2	11,3 ± 0,2	3,2 ± 0,2
МБИц				
4	79,6 ± 0,5	42,8 ± 0,3	2,0 ± 0,1	9,4 ± 0,2
48	76,0 ± 0,4	40,8 ± 0,2	5,0 ± 0,1	7,2 ± 0,2
72	74,2 ± 0,3	40,4 ± 0,3	7,4 ± 0,2	6,3 ± 0,2
108	73,0 ± 0,3	39,8 ± 0,2	8,6 ± 0,2	5,6 ± 0,2

Полученные экспериментальные результаты позволяют говорить о повышении сохраняемости опытных хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Так, эти образцы уже в начальный период хранения имеют более высокие значения пористости и набухаемости, чем контрольные образцы. В процессе хранения отмеченная тенденция сохраняется. При этом у них менее выражено повышение крошковатости и снижение влажности в процессе хранения.

Замедление процессов черствения опытных образцов может быть вызвано рядом причин. Так, А. Ф. Горячева [31] отмечает, что хлебобулочные изделия хорошего качества с более длительным сроком хранения можно получить при обеспечении необходимых изменений белков и углеводов, способствующих созданию оптимальной структуры теста. Изделия, приготовленные из хорошо выброженного теста, черствеют медленнее. При этом именно у образцов, полученных с использованием ЦСМПЗП, отмечается интенсификация процессов брожения, что может являться одной из причин замедления их черствения.

Кроме того, определенное влияние на сохранение свежести МБИ могли оказать и спирты, образующиеся в процессе брожения теста. Присутствие сахара способствует интенсификации процесса брожения и, как следствие, накоплению спиртов. С. Эрландер указывает на возможность образования комплексов между гидроксильными группами спиртов, с одной стороны, и амилозой и амилопектином – с другой, что препятствует черствению хлебобулочных изделий [15; 51]. Л. Я. Ауэрман [31] также связывает процесс черствения хлебобулочных изделий с агрегацией амилозы и амилопектина, придавая большое значение гидроксильным группам спиртов, которые образуются в процессе сбраживания теста и создают комплексы с амилозой и амилопектином, замедляя процесс черствения.

Предыдущими результатами микроскопирования теста было подтверждено более интенсивное набухание белков, для которых характерна более низкая скорость старения (в 4–6 раз) и отдачи влаги, чем для крахмала. Возможно, это обусловлено лучшей проникающей способностью обработанной ультразвуком воды, используемой для изготовления опытных образцов.

Степень черствости мякиша – наиболее важный показатель, позволяющий оценить динамику протекания процессов черствения. Данный показатель оценивали по общей, упругой и пластической деформации, определяемой на приборе «Структурометр СТ-2» (характерный вид полученных кривых в начале и конце хранения представлен на рисунке 109).

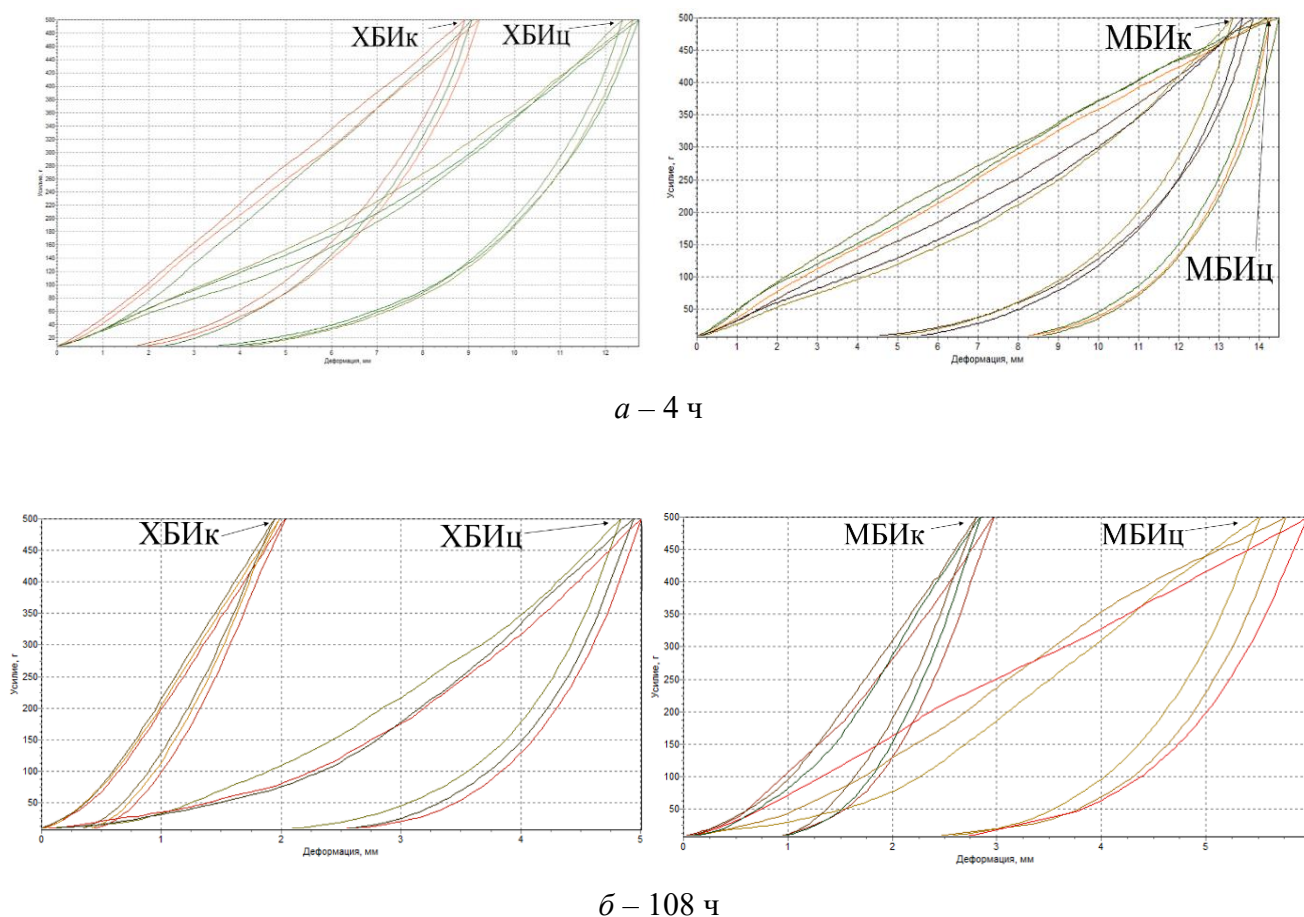


Рисунок 109 – Характерный вид кривых реологического профиля мякиша контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий в процессе хранения

Наибольшие значения общей деформации характерны для опытных образцов хлебобулочных изделий, полученных с добавлением ЦСМПЗП (таблица 51). Данный факт подтверждается органолептически: опытные образцы имеют мягкий, эластичный, легко восстанавливающий форму мякиш. Отмеченная динамика сохраняется на протяжении всего периода хранения. К концу хранения средняя величина общей деформации опытных образцов ХБИц и МБИц больше, чем контрольных, на 3,56 и 2,91 мм соответственно.

У опытных образцов можно отметить высокие значения пластической деформации; как следствие, значения реологического критерия мякиша Δh приближаются к оптимальному и составляют $(0,29-0,31 \pm 0,05)$, что свидетельствует о получении в меру пластичного и упругого мякиша опытных образцов.

Таблица 51 – Результаты измерения деформационных характеристик мякиша в процессе хранения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (средние значения)

Длительность хранения, ч	Общая деформация $h_{\text{общ}}$, мм	Пластичная деформация $h_{\text{пл}}$, мм	Упругая деформация $h_{\text{упр}}$, мм	Δh ($h_{\text{пл}}/h_{\text{общ}}$)
ХБИк				
4	9,07	1,64	7,43	0,18
24	4,79	0,98	3,81	0,20
48	2,65	0,49	2,16	0,18
72	2,04	0,44	1,6	0,22
108	1,99	0,36	1,63	0,18
ХБИц				
4	12,57	3,79	8,78	0,30
24	10,01	2,99	7,02	0,30
48	6,95	2,18	4,77	0,31
72	5,55	1,69	3,86	0,30
108	4,95	1,52	3,43	0,30
МБИк				
4	13,35	3,82	9,53	0,29
24	8,29	2,33	5,96	0,28
48	5,89	1,68	4,21	0,29
72	2,97	0,86	2,11	0,29
108	2,85	0,83	2,02	0,29
МБИц				
4	14,29	4,37	9,92	0,30
24	13,26	4,05	9,21	0,30
48	11,8	3,51	8,29	0,30
72	9,96	2,98	6,98	0,30
108	5,76	1,65	4,11	0,29

Выводы об интенсивности протекания процесса черствения мякиша хлебобулочных изделий, сделанные на основе значений общей деформации были дополнительно проанализированы путем сравнения полученных углов наклона между лучом, отражающим изменение общей деформации мякиша во времени, и лучом, направленным параллельно оси абсцисс из точки, соответствующей первому замеру реологической характеристики контрольных (α_1) и опытных (α_2) образцов хлебобулочных изделий [15; 17; 102; 108; 298] (рисунок 110).

Из рисунка 110 видно, что величина угла наклона для контрольных образцов ХБИк и МБИк (α_1) выше, что говорит о большей интенсивности процесса черствения. Изменение деформационных характеристик мякиша хлебобулочных изделий

как контрольных, так и опытных образцов происходит именно за счет ретроградации крахмала и денатурации белка, так как при проведении данного исследования образцы хранились в условиях, исключающих потерю влаги. При этом происходило только ее перераспределение относительно внутренних слоев и коркового слоя.

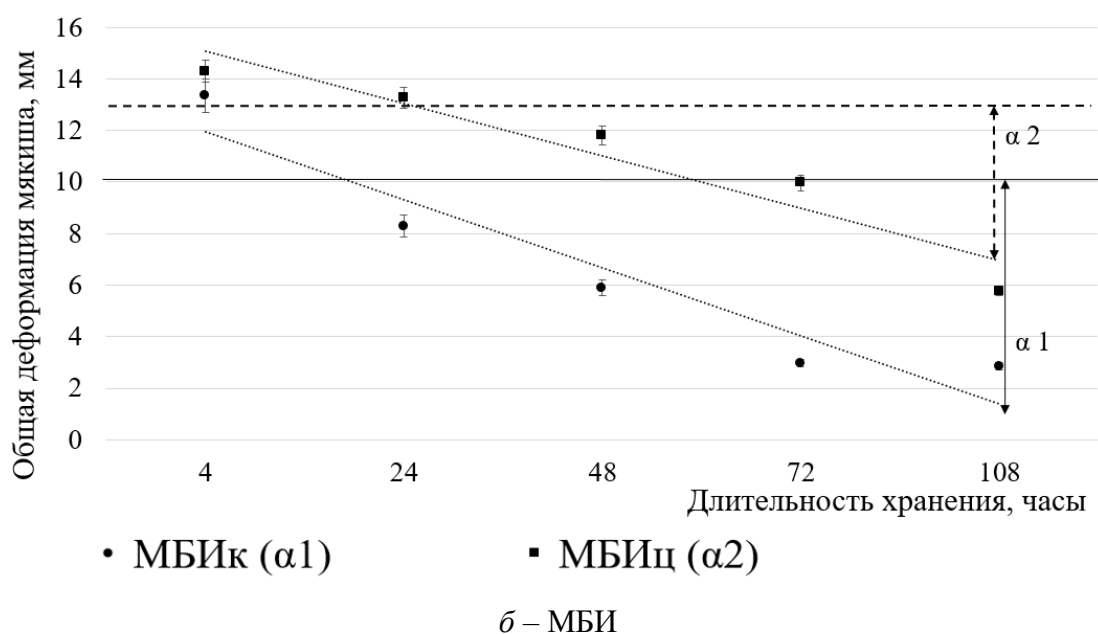
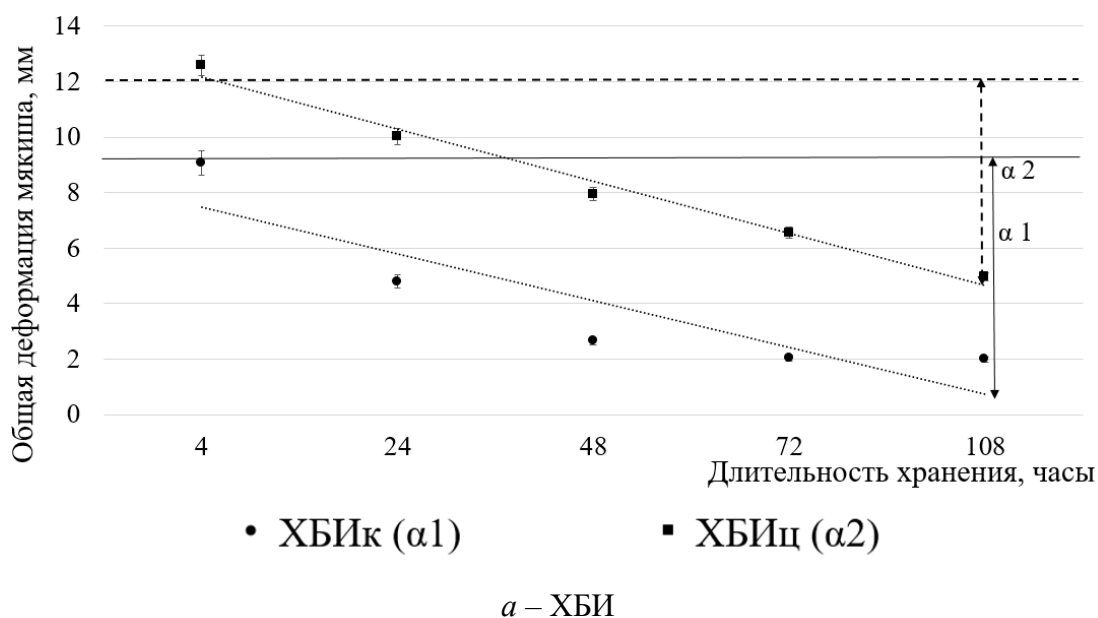


Рисунок 110 – Характер изменения общей деформации (мм) в процессе хранения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Снижение интенсивности процесса черствения опытных образцов может быть связано с повышенным количеством α -амилазы, которая уменьшает ретроградацию амилопектина и снижает скорость укрепления мякиша хлебобулочных изделий [179]. В своих исследованиях Giacco и его коллеги [246] отмечают, что α -амилаза улучшает способность теста удерживать газ, увеличивает удельный объем хлебобулочных изделий, снижает твердость мякиша и скорость изменения деформационных характеристик. Автор отмечает, что снижение твердости и динамика ее изменения, обеспечиваемая α -амилазой, обусловлены как увеличением содержанием низкомолекулярных сахаров, так и увеличением удельного объема изделий. Кроме того, молекулы декстринов, образующиеся в результате воздействия α -амилазы, замедляют процесс образования поперечных связей между белковыми молекулами и остатками гранул крахмала или воздействуют на эти связи, что повышает упругость и эластичность мякиша, замедляя таким образом процесс черствения [126]. При этом α -амилаза сохраняет свою активность на ранних этапах выпечки и способна частично разрушать структуру клейстеризованного крахмала, что замедляет его скорость ретроградации.

Результаты исследований Т. Jiménez и М. А. Martínez-Anaya [267] доказали, что наличие нерастворимых в воде пентозанов положительно коррелировало с эластичностью и твердостью мякиша хлебобулочных изделий при хранении. Помимо ферментативной активности, при проращивании зерна пшеницы происходит липидный гидролиз, который способствует выработке моно- и диглицеридов. Данный процесс также замедляет интенсивность черствения хлебобулочных изделий.

Результаты изучения микроструктуры мякиша хлебобулочных изделий при хранении

Хлебобулочные изделия после выпечки можно представить в виде единой структурной системы молекул крахмала, белка и влаги, которая при его хранении изменяется. Для структуры мякиша свежих контрольных образцов ХБИк, представленной в таблице 52, характерно наличие единого монолитного белкового каркаса, в который компактно упакованы зерна крахмала. Размер пор установить невозможно.

Таблица 52 – Результаты исследования микроструктурных характеристик контрольных образцов хлебобулочных изделий (СЭМ, Jeol JEM-2100)

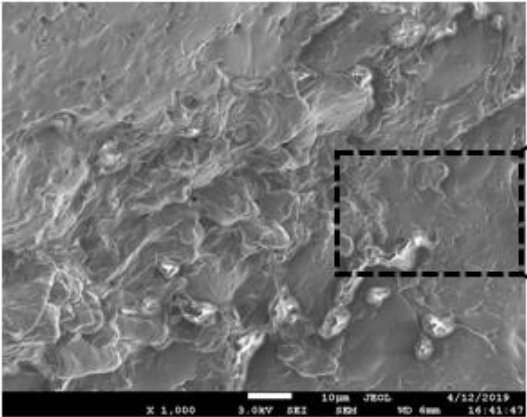
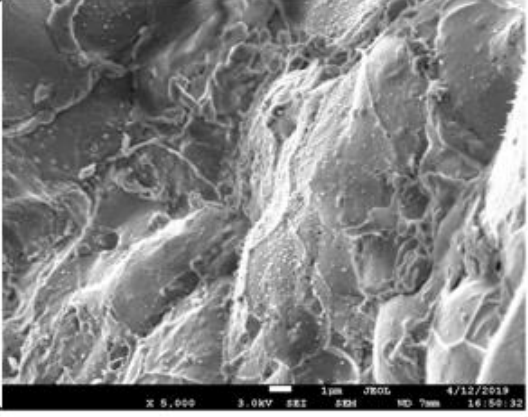
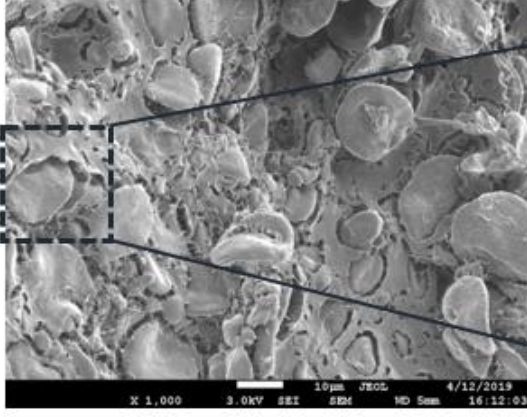
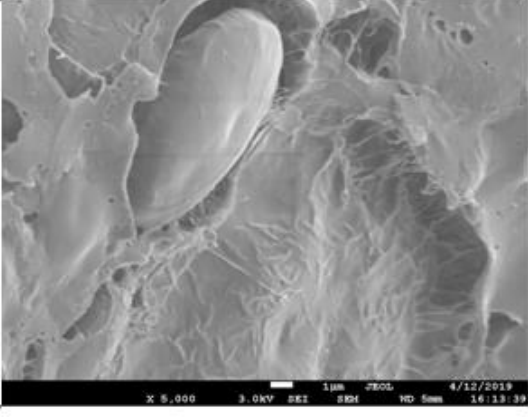
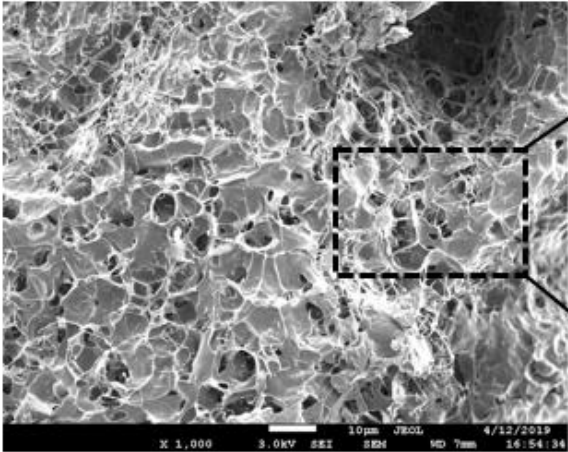
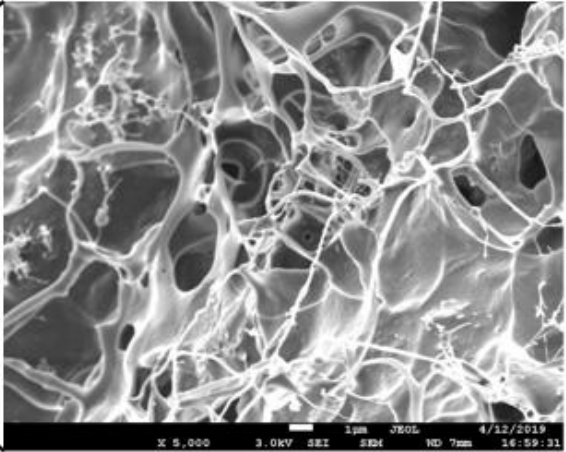
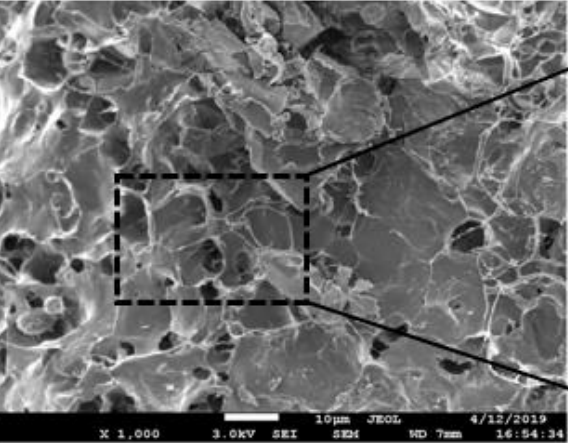
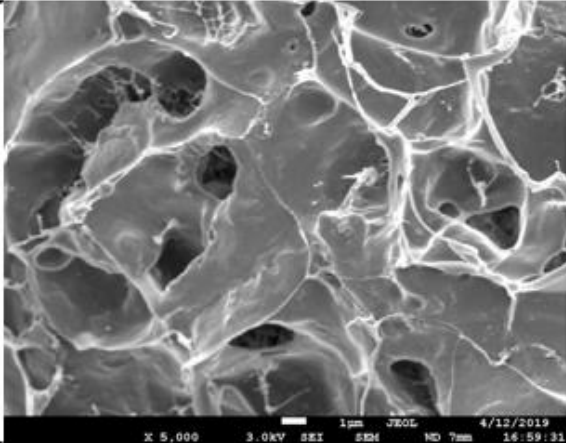
Внешний вид мякиша образца	Образец мякиша хлебобулочных изделий при увеличении ×1000	Образец мякиша хлебобулочных изделий при увеличении ×5000
ХБИк 4 ч хранения		
		
ХБИк 108 ч хранения		
		

Таблица 53 – Результаты исследования микроструктурных характеристик опытных образцов хлебобулочных изделий (СЭМ, Jeol JEM-2100)

Внешний вид мякиша образца	Образец мякиша хлебобулочных изделий при увеличении ×1000	Образец мякиша хлебобулочных изделий при увеличении ×5000
ХБИц 4 ч хранения		
		
ХБИц 108 ч хранения		
		

Структуру мякиша контрольных образцов МБИк (таблица 53) через 4 ч после выпечки можно рассматривать как набухший бесструктурный студень с различными межпоровыми стенками.

Процесс черствения обуславливает изменения в микроструктуре мякиша хлебобулочных изделий. В процессе остывания и последующего хранения благодаря гибкости звеньев крахмала происходит сближение цепей, и за счет молекулярных ван-дер-ваальсовых сил образуется механически прочная сетка. Образование сетки влечет черствение мякиша, когда механическая прочность структуры будет максимальной [169].

Через 108 ч хранения контрольных образцов ХБИк, так и МБИк наблюдаются явно различимые выделившиеся из белковой матрицы крупные и средние зерна крахмала, что свидетельствует об интенсивном протекании процесса ретроградации (отдельные участки ответвлений молекул амилопектина и амилозы связываются водородными связями по гидроксильным группам глюкозных остатков [27]. Структура крахмала уплотнена, визуализируются трещины между белком и крахмалом, отдельные зерна выделились из массы белка, что объясняет повышенную крошковатость контрольных образцов.

Для свежего мякиша опытных образцов ХБИц и МБИц (представленных в таблице 54 и 55 соответственно) характерно наличие единого набухшего бесструктурного эластичного студня. В образцах визуализируется наличие мелких пор, ограниченных межпоровыми стенками, составляющими губчатый остов. Межпоровые стенки состоят из сплошной массы коагулированного при выпечке белка, внутрь которого вкраплены набухшие клейстеризованные зерна крахмала, которые практически невозможно визуально определить, так как они всей своей поверхностью вплотную прилегают к массе коагулированного белка, в связи с чем резкой, четко видимой границы между ними не наблюдается. Также на поверхности наблюдается развитая сеть тонких фибрилл белка. Необходимо отметить, что белковая матрица в опытных образцах более развита, что обусловлено интенсификацией процесса тестоведения за счет внесения ЦСМПЗП и применением УЗВ для водоподготовки.

Таблица 54 – Результаты исследования микроструктурных характеристик контрольных образцов мелкоштучных булочных изделий (СЭМ, Jeol JEM-2100)

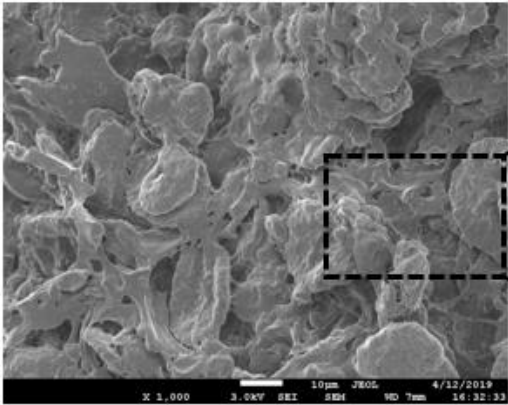
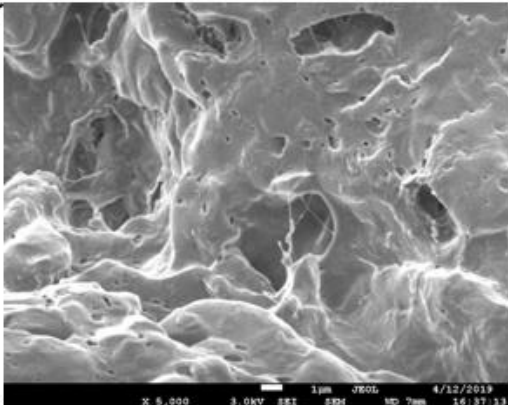
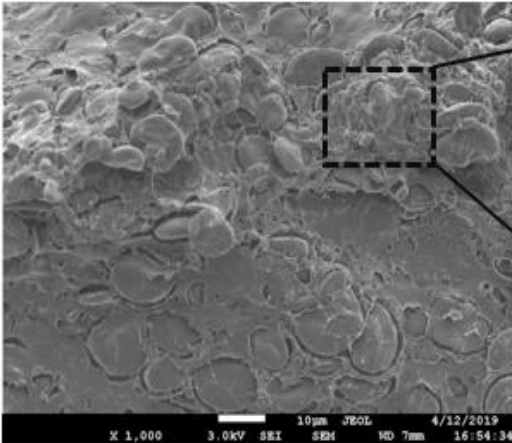
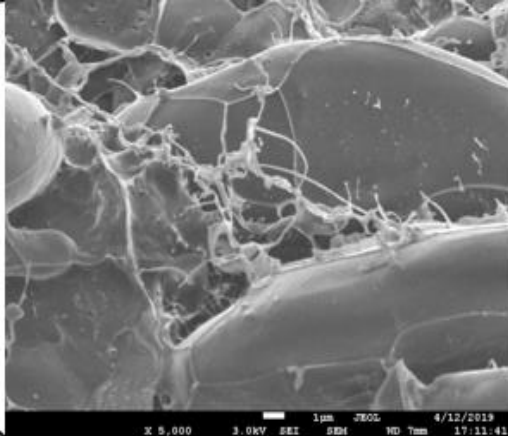
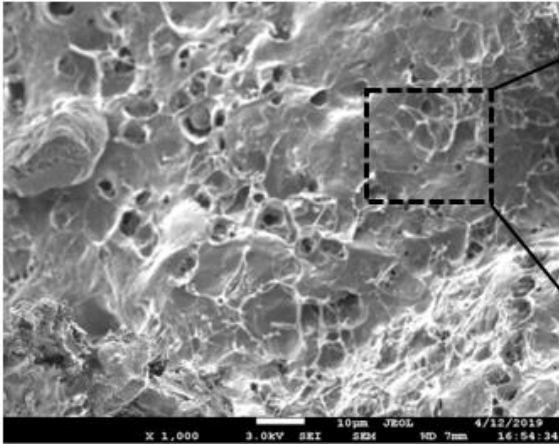
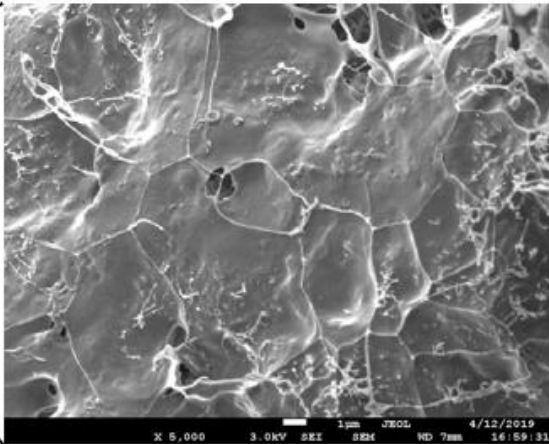
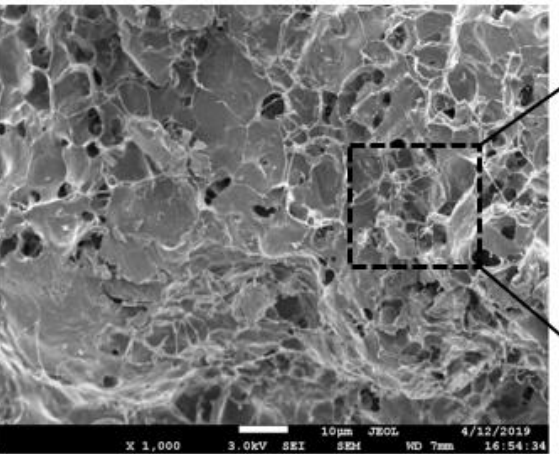
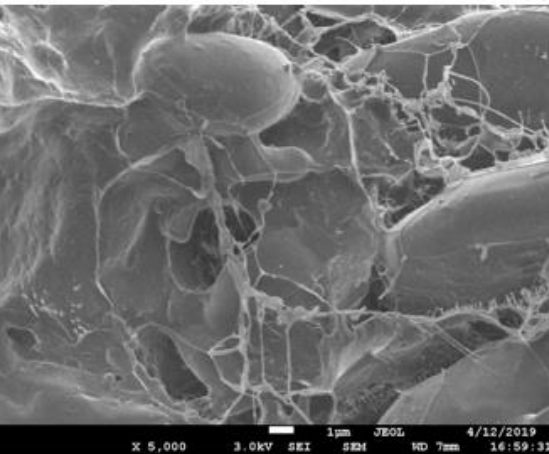
Внешний вид мякиша образца	Образец мякиша мелкоштучных булочных изделий при увеличении ×1000	Образец мякиша мелкоштучных булочных изделий при увеличении ×5000
МБИк 4 ч хранения		
		
МБИк 108 ч хранения		
		

Таблица 55 – Результаты исследования микроструктурных характеристик опытных образцов мелкоштучных булочных изделий (СЭМ, Jeol JEM-2100)

Внешний вид мякиша образца	Образец мякиша мелкоштучных булочных изделий при увеличении ×1000	Образец мякиша мелкоштучных булочных изделий при увеличении ×5000
МБИц 4 ч хранения		
		
МБИц 108 ч хранения		
		

В процессе хранения интенсивность черствения у образцов ХБИц и МБИц протекает менее выражено. Через 108 ч хранения в микроструктуре мякиша как ХБИц, так и МБИц не визуализируются отдельные зерна крахмала. Вся поверхность представляет собой единый монолит. Данный факт можно объяснить суммарным результатом действия всего комплекса ферментов, активизирующихся при проращивании зерна пшеницы. Так, благодаря действию протеолитических ферментов клейковинный каркас ослабляется и приобретает бóльшую способность к образованию комплексов с крахмалом [17].

Хотя при действии α -амилазы, активизирующейся при проращивании пшеницы, продуктом гидролиза крахмала в основном является мальтоза, исследователи [27] отмечают повышение количества декстринов. Их образование и накопление происходит в основном в период его брожения и на начальных стадиях выпечки, что значительно снижает интенсивность процесса черствения хлебобулочных изделий.

При этом у контрольных образцов отмечается увеличение размера воздушных пор. У образцов ХБИк крупные зерна крахмала при приготовлении срезов частично выпадали из белковой матрицы, оставляя в ней углубления.

Полученные данные микроскопирования мякиша контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий позволяют сделать вывод, что изменения в микроструктуре контрольных образцов (ХБИк и МБИк) в процессе хранения происходят наиболее интенсивно, при этом вокруг части поверхности зерен крахмала образуется воздушная прослойка, что и может обуславливать повышение крошковатости изделий.

Изменение потребительских свойств хлебобулочных изделий в процессе хранения также зависит от перераспределения влаги среди биополимеров мякиша, что является важным аспектом в изучении процессов черствения [64].

Результаты определения соотношения форм связи воды в мякише хлебобулочных изделий при хранении

Качество хлебобулочных изделий, являющихся в значительной степени лабильными продуктами, в процессе хранения претерпевает значительные измене-

ния. Снижение качества хлебобулочных изделий при хранении связано с процессами черствения и усыхания, в результате протекания которых снижается мягкость и эластичность мякиша, повышается его крошковатость, теряется вкус и аромат изделий, что в целом обуславливает потерю свежести хлебобулочных изделий. Изменение свежести является результатом сложных физико-химических, коллоидных и биохимических процессов – изменений в углеводах и белках (черствение) и снижения массы за счет потери влаги и летучих веществ (усыхание) [25; 31].

Наряду с изменениями в биополимерах мякиша хлебобулочных изделий происходит перераспределение форм связи воды, находящейся в продукте. Характерный вид кривых распределения ТГ/ДСК исследуемых образцов представлен на рисунках 111 и 112.

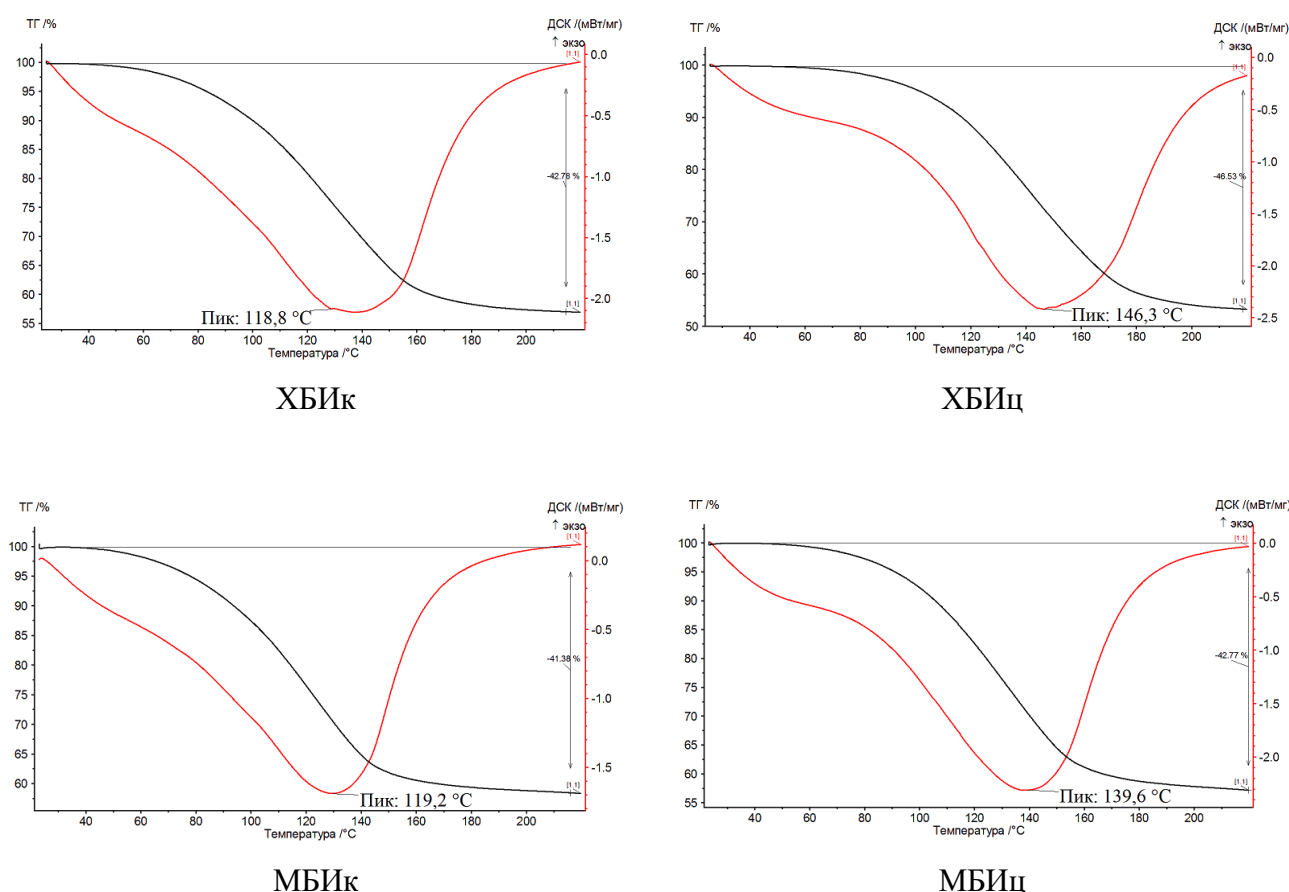


Рисунок 111 – Характерные виды кривых распределения ТГ/ДСК контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий через 4 ч хранения

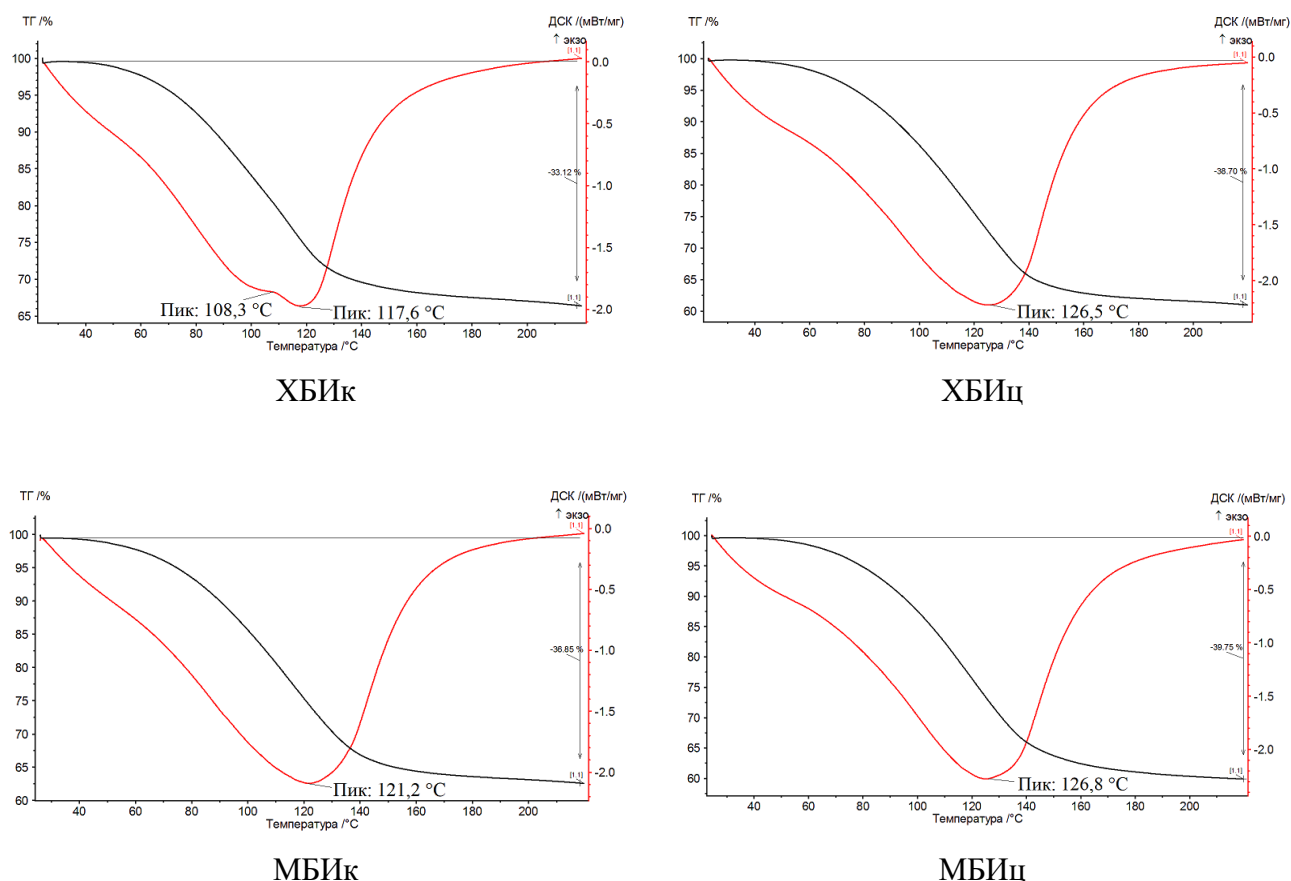


Рисунок 112 – Характерные виды кривых распределения ТГ/ДСК контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий через 108 ч хранения

У всех исследуемых образцов ярких отличий в характере протекания процесса влагоудаления отмечено не было, полученные кривые носили аналогичный характер, но с помощью построения модели кусочно-линейной аппроксимации (глава 2) были выделены шесть линейных участков с разным углом наклона к оси абсцисс и определены соотношения воды различных форм связи в мякише хлебобулочных изделий через 4 и 108 ч после выпечки.

Результаты определения количества и формы связи влаги в образцах хлебобулочных изделий представлены на рисунке 113.

На основании анализа полученных результатов исследования можно отметить, что суммарное содержание осмотически и адсорбционно связанной воды в опытных образцах хлебобулочных изделий больше, чем в контрольных образцах. Так, значения этих форм связи воды в начале хранения превышают значения контрольных образцов в среднем на 13,3 % (для XБИк) и на 12,4 % (для МБИк).

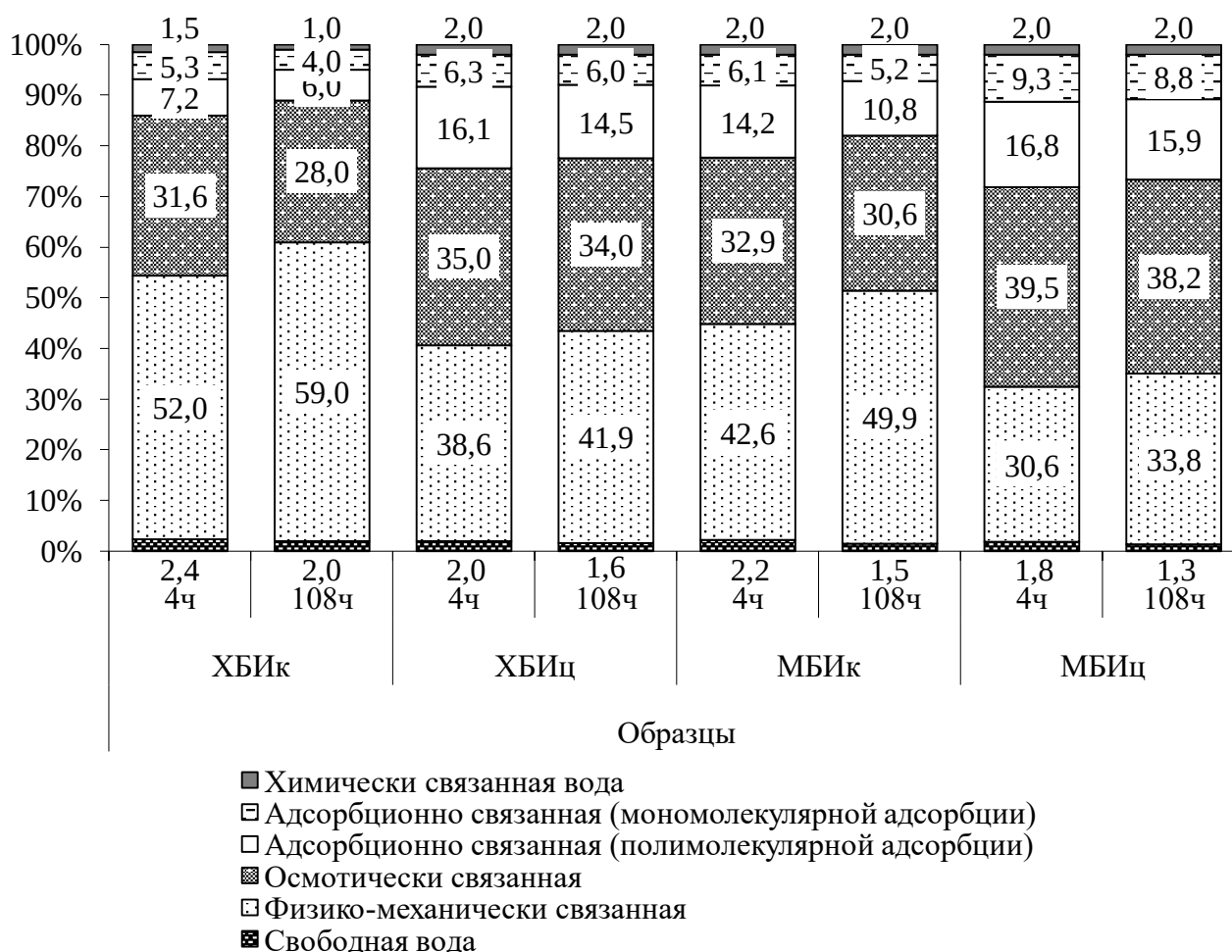


Рисунок 113 – Результаты определения изменения форм связи воды в контрольных и опытных образцах хлебобулочных изделий при хранении

Увеличение содержания более прочно связанной воды в опытных образцах может иметь ряд причин. Более полное набухание молекул белка (компонента, преимущественно поглощающего влагу осмотически) за счет снижения энергетического барьера и толщины гидратных оболочек белковых мицелл способствовало более полному проникновению молекул обработанной воды в структуру белка и повлекло за собой повышение доли осмотически связанной воды.

В результате внесения в опытные образцы ЦСМПЗП, в составе которой находится крахмал, более доступный для набухания, происходит чего клейстеризация крахмала, на 3/4 поглощающего воду адсорбционно, прошла более глубоко.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что на конец хранения как для контрольных, так и для опытных образцов хлебобулочных изделий

была отмечена тенденция снижения в общем количестве влаги физико-химически связанной воды (как осмотической, так и адсорбционной) и увеличения физико-механически связанной. Такое перераспределение обусловлено старением биополимеров продукта: дальнейшей денатурацией белков и кристаллизацией крахмала, выделением ими влаги, которая распределяется в микронеплотностях, образовавшихся в процессе хранения. Однако следует указать, что для контрольных образцов ХБИк и МБИк на конец хранения был отмечен более высокий прирост доли физико-механически связанной воды по сравнению с образцами, полученными с внесением ЦСМПЗП.

Так, через 108 ч после выпечки содержание физико-механически связанной влаги увеличилось для образцов ХБИк и МБИк в среднем на 7,0 и 7,3 % соответственно, для опытных образцов (ХБИц и МБИц) – на 3,3 и 3,2 % соответственно. Замедление процесса отдачи влаги биополимерами опытных образцов ХБИц и МБИц, вероятно, обусловлено более полным набуханием белков, для которых характерна низкая скорость старения и отдачи влаги, чем для крахмала. Об этом свидетельствуют и низкие значения потери осмотически связанной воды в опытных образцах и результаты определения деформации мякиша в процессе хранения.

Повышение сохраняемости указанных образцов может быть объяснено не только начальными характеристиками теста, но и структурой пористости мякиша хлебобулочных изделий. В своих работах В. Г. Юрчак [31] описывает, что мякиш, имеющий хорошо развитую пористость с тонкими стенками, лучше сохраняет свою свежесть.

Многочисленные исследования показали, что добавление α -амилазы в состав хлебобулочных изделий снижает твердость мякиша [78; 79; 81; 169]. При этом выдвигаются три теории механизма данного процесса: 1) снижение ретроградации крахмала; 2) снижение жесткости цепей макромолекул крахмала и 3) уменьшение взаимодействия крахмала с белком. Также отмечается, что функциональный эффект сохранения свежести мякиша, обусловленный наличием α -амилазы, заключается прежде всего в его воздействии на амилопектин с образованием растворимых низкомолекулярных полимеров с разветвленной цепью, которые менее склонны к

ретроградации и способны изменять формы связи воды в сторону увеличения ее энергии связи [64; 126].

И. Р. Катц на основании ряда исследований [13; 31; 74] при помощи рентгенографии показал, что крахмальные зерна, окруженные моноадсорбционным слоем, находятся в разъединенном состоянии, и агрегация их структурных элементов происходит медленнее, что замедляет процесс ретроградации крахмала. В опытных образцах хлебобулочных изделий в процессе хранения количество адсорбционной и осмотически связанной влаги уменьшалось менее интенсивно, чем в контрольных. Величина моноадсорбционного слоя оставалась постоянной независимо от используемой рецептуры изделий, так как для ее удаления требуется большие затраты энергии. В результате можно предположить, что крахмальные зерна, окруженные в большем количестве моноадсорбционного слоя, у образцов ХБИц и МБИц находились в разъединенном состоянии, и агрегация его структурных элементов происходила медленнее, что замедляло процесс ретроградации крахмала [31; 63; 64].

7.6 Исследование эффективности разработанных хлебобулочных изделий в модели *in vivo* с применением стрессорных факторов воздействия

Разработка новых пищевых продуктов, в состав которых входят сырьевые ингредиенты с заданными свойствами и характеристиками, должна сопровождаться проведением клинических исследований в модели *in vivo*. Как правило, в этих целях используют рандомизированные контролируемые исследования с параллельными группами добровольцев, что позволяет оценить эффективность разработанных пищевых продуктов [78].

На начальном этапе была сформирована рабочая модель гипотезы, заключающаяся в том, что регулярное употребление хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП за счет повышенного содержания γ -аминомасляной кислоты, витаминов группы В,

а также антиоксидантных свойств сырьевого ингредиента позволит повысить резистентность организма к действию стрессовых факторов.

Для проведения исследований в лабораторных условиях были произведены два варианта образцов хлебобулочных изделий по разработанным и представленным п. 7.1 рецептурам:

- контрольные образцы (плацебо) – хлебобулочные изделия из пшеничной хлебопекарной муки первого сорта (далее – ХБИплацебо);

- опытные образцы – хлебобулочные изделия из пшеничной муки первого сорта, с заменой 18 % муки на ЦСМПЗП и предварительной подготовкой воды путем УЗВ (далее – ХБИц).

Перед началом клинических исследований была проведена оценка безопасности хлебобулочного изделия на соответствие ТР ТС 021/2001 (приложение Д). Для подтверждения нетоксичности исследуемых образцов хлебобулочных изделий был применен метод биотестирования согласно ГОСТ 31674-2012 с использованием двух культур инфузории: *Paramecium caudatum* и *Tetrahimena pyriformis*. Все последующие опытные образцы ХБИц и контрольные образцы хлебобулочных изделий (плацебо), вырабатываемые в рамках исследований, были получены из одной партии как основных, так дополнительных сырьевых ингредиентов.

Для оценки влияния систематического употребления нового вида хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП на показатели качества жизни и биохимический статус крови была сформирована группа добровольцев-волонтеров, которые получали ХБИплацебо и ХБИц в количестве суточной нормы – 175 г в течение 21 дня, полностью исключив из своего рациона другие виды хлебобулочных изделий.

Количество участников в группах рассчитывалось исходя из предполагаемой эффективности, которая должна быть продемонстрирована в данном исследовании с достоверностью не менее 95 %. Группы формировались методом простого рандомизированного отбора здоровых лиц. Численность каждой группы на конец исследования составила 15 чел. Обе группы добровольцев-волонтеров (А и Б) были однородными по возрасту, полу и другим стандартным показателям, а также образу жизни и отсутствию какого-либо медицинского лечения в исследуемый период. Использование разработанного хлебобулочного изделия в составе

рациона за весь период испытания не вызвало ни одного случая аллергических реакций, непереносимости и других побочных эффектов.

Исследования проводились с 4 по 25 марта 2020 г. В качестве психического и информационного стресс-фактора было использовано воздействие информационного поля средств массовой информации, освещающих вопросы мировой и российской динамики распространения пандемии коронавируса COVID-2019. Каждый из испытуемых должен был в течение 30 мин ежедневно получать новостной контент, связанный с динамикой распространения заболевания, любым удобным для него способом. Дизайн структуры когортного исследования в параллельных группах представлен на рисунке 114.



Рисунок 114 – Дизайн структуры когортного исследования в параллельных группах

Первичной задачей была определена оценка здоровья и психоэмоционального состояния добровольцев-волонтеров. В качестве инструментов для решения поставленной задачи был использован опросный метод с применением анкеты для оценки качества жизни SF-36 (Health Status Survey) [1; 5; 78; 131]. Данная анкета представляет собой систему из 36 вопросов, сгруппированных в 11 разделов, в виде оценок по восьми шкалам, формирующим два основных показателя: физический и психический суммарные компоненты здоровья, отражающие душевное, а также физическое благополучие. Показатели каждой шкалы оцениваются в баллах и варьируют от 0 до 100, где 100 представляет наивысшую оценку.

Суммарный физический компонент здоровья включает следующие шкалы оценок: Physical Functioning (PF) – физическое функционирование; Role Physical (RP) – влияние физического состояния на ролевое функционирование; Body Pain (BP) – интенсивность боли и ее влияние на способность заниматься повседневной деятельностью; General Health (GH) – общее состояние здоровья.

Суммарный психический компонент здоровья составляют шкалы: Vitality (VT) – жизнеспособность; Social Functioning (SF) – социальное функционирование; Role Emotional (RE) – влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование; Mental Health (MH) – самооценка психического здоровья. Подшкалы SF-36, имеющие отношение к психическому здоровью, особенно ценны для сравнения данных о реакции на регулярное употребление новых видов продуктов в рационе питания, поскольку полученные результаты широко используются в международной практике, сопоставимы, характеризуются высокой достоверностью и, согласно данным ряда исследователей [1; 5], их результаты могут быть использованы в клинических исследованиях при оценке психического здоровья человека. Обобщенные результаты анкетирования представлены на рисунке 115.

Полученные данные позволяют сказать, что после введения в рацион добровольцев-волонтеров обеих групп отмечается положительная динамика всех показателей. Среди полученных результатов шкал «влияние физического состояния на ролевое функционирование» и «интенсивность боли и ее влияние на способность заниматься повседневной деятельностью» увеличения значений не отмечено.

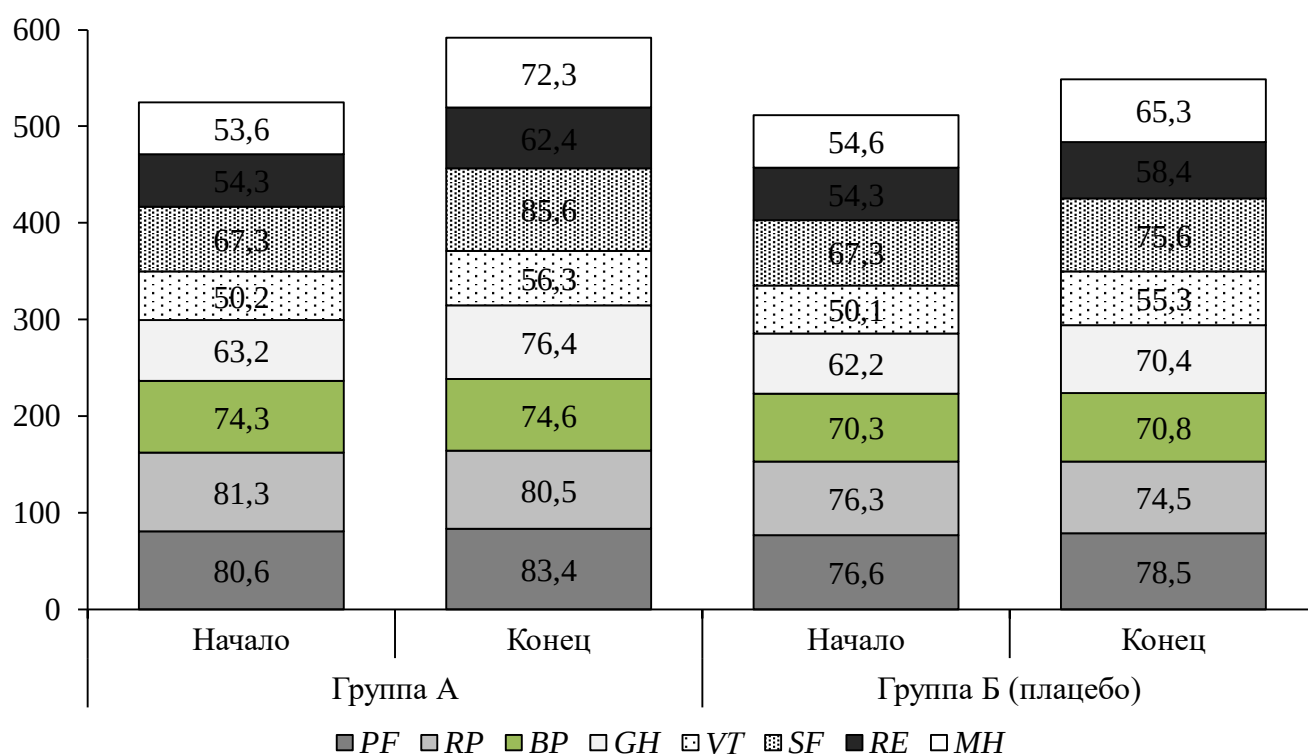


Рисунок 115 – Усредненные результаты показателей опросника SF-36:
PF – физическое функционирование; *RP* – влияние физического состояния на ролевое функционирование; *BP* – интенсивность боли и ее влияние на способность заниматься повседневной деятельностью; *GH* – общее состояние здоровья; *VT* – жизнеспособность; *SF* – социальное функционирование; *RE* – влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование; *MH* – самооценка психического здоровья ($p = 0,05$)

Для группы А, употреблявшей ХБИц, отмечается улучшение общего состояния здоровья (в среднем на 20,8 %), социального функционирования (в среднем на 27,9 %) и самооценки психического здоровья (в среднем на 34,8 %). Для группы Б, употреблявшей в своем рационе продукт плацебо, также отмечается увеличение значений данных шкал, но с меньшим процентом прироста. Так, прирост для оценки общего состояния здоровья составил 13,1 %, для социального функционирования и самооценки психического здоровья – 11,3 и 19,5 % соответственно. Наиболее значимые различия между группами были получены по показателю «суммарный психический компонент здоровья», который для группы А составил $(54,59 \pm 3,6)$, для группы Б – $(47,36 \pm 2,5)$.

Следующей аналитической задачей исследований было определение влияния включения в рацион питания населения хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП

на биохимические показатели крови. Забор и клинический анализ крови проводились совместно с Институтом здоровья ООО «ДокторЛаб», договор № 68 от 26 февраля 2020 г. (приложение Б).

В ходе исследований были определены следующие показатели клинического анализа крови: подсчет клеток белой крови (WBC), подсчет клеток красной крови (RBC), концентрация гемоглобина (HGB), цветовой показатель, гематокрит (HCT%), средний корпускулярный объем (MCV), средний корпускулярный объем (MCH), средняя концентрация корпускулярного гемоглобина (MCHC), количество тромбоцитов (PLT), процент лимфоцитов (LY%), процент моноцитов (MO%), процент сегментоядерных нейтрофилов, процент палочкоядерных нейтрофилов, процент эозинофилов, процент базофилов, процент юных нейтрофилов, абсолютное количество лимфоцитов (LY), абсолютное количество моноцитов (MO), абсолютное количество гранулоцитов (GR), ширина распределения клеток красной крови (RDW), тромбоцитокрит (PCT), средний объем тромбоцита (MPV) и СОЭ по методу Вестергрена, также дополнительно определялся кортизол (таблица 56).

Таблица 56 – Результаты клинического анализа показателей крови добровольцев-волонтеров при употреблении хлебобулочных изделий разного состава (усредненные значения)

Показатель крови	Референсные значения	Группа А		Группа Б (плацебо)	
		Начало	Конец	Начало	Конец
Подсчет белых клеток крови (WBC), 10^9 кл/л	4–9	$5,0 \pm 0,6$	$5,6 \pm 0,5$	$7,1 \pm 0,4$	$6,0 \pm 0,3$
Подсчет красных клеток крови (RBC), 10^{12} кл/л	3,8–5,3	$4,3 \pm 0,2$	$4,2 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,2$
Концентрация гемоглобина (HGB), г/л	120–180	$135,7 \pm 2,7$	$141,9 \pm 3,3$	$134,7 \pm 2,6$	$142,9 \pm 3,2$
Цветовой показатель, усл. ед.	0,85–1,05	$0,86 \pm 0,3$	$0,90 \pm 0,1$	$0,85 \pm 0,1$	$0,92 \pm 0,2$
Гематокрит (HCT%), %	34–48	$37,7 \pm 0,5$	$37,9 \pm 0,4$	$39,4 \pm 0,5$	$42,2 \pm 0,4$
Количество тромбоцитов (PLT), 10^9 кл/л	120–380	254 ± 5	255 ± 4	248 ± 6	259 ± 5
Процент лимфоцитов (LY%), %	17–40	$38,5 \pm 1,2$	$37,6 \pm 1,8$	$33,6 \pm 0,8$	$31,6 \pm 0,9$
Процент моноцитов (MO%), %	3–9	$7,45 \pm 1,3$	$8,39 \pm 1,2$	$8,8 \pm 1,1$	$5,5 \pm 0,9$
Процент сегментоядерных нейтрофилов, %	42–85	$51,54 \pm 2,5$	$51,07 \pm 3,1$	$54,6 \pm 3,2$	$60,1 \pm 2,4$
Процент эозинофилов, %	0–3	$2,86 \pm 0,5$	$2,56 \pm 0,4$	$2,81 \pm 0,3$	$2,12 \pm 0,4$

Продолжение таблицы 56

Показатель крови	Референсные значения	Группа А		Группа Б (плацебо)	
		Начало	Конец	Начало	Конец
Абсолютное количество лимфоцитов (LY), 10^9 кл/л	0,44–4,41	$2,11 \pm 0,5$	$2,21 \pm 0,6$	$2,80 \pm 0,2$	$2,45 \pm 0,3$
Абсолютное количество моноцитов (MO), 10^9 кл/л	0,12–0,81	$0,48 \pm 0,6$	$0,57 \pm 0,4$	$0,61 \pm 0,6$	$0,62 \pm 0,5$
Абсолютное количество гранулоцитов (GR), 10^9 кл/л	1,68–7,65	$2,57 \pm 0,3$	$3,03 \pm 0,6$	$3,45 \pm 0,5$	$3,63 \pm 0,4$
Ширина распределения клеток красной крови (RDW), %CV	11,5–14,5	$14,2 \pm 0,6$	$13,7 \pm 0,5$	$13,8 \pm 0,8$	$13,6 \pm 0,7$
Тромбоцитокрит (PCT), %	0,08–1,00	$0,19 \pm 0,2$	$0,21 \pm 0,2$	$0,19 \pm 0,2$	$0,22 \pm 0,2$
Средний объем тромбоцита (MPV), fL	6–10	$7,7 \pm 0,4$	$8,1 \pm 0,5$	$7,7 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,4$
СОЭ по методу Вестергрена, мм/ч	Мужчины 0–10 Женщины 0–15	$8,6 \pm 3,6$	$9,4 \pm 3,5$	$8,0 \pm 2,4$	$8,3 \pm 3,7$

Дополнительно по лейкограмме определяли следующие индексы: лейкоцитарный индекс интоксикации Я. Я. Кальф-Калифа (ЛИИ), лимфоцитарный индекс по Шагалину (ЛИ) и индекс сдвига лейкоцитов крови по И. И. Яблучанскому (ИСЛК) [182].

Изменения клинического анализа крови отражают состояние организма в целом, так как имеют тесную связь со всеми его системами. Активизация коры надпочечников как показатель адаптации организма к неблагоприятным условиям сопровождается изменениями в составе крови. Многочисленные исследования, проводимые учеными разных стран [1; 5], позволили определить в качестве критериев оценки тревожного состояния как животных, так и человека ряд показателей (количество лейкоцитов, эозинофилов, лимфоцитов и др.), которые дают возможность выявить влияние стрессовых факторов воздействия на организм, а также определить их интенсивность и продолжительность. Также отмечается, что при оценке наличия тревожного состояния особое внимание необходимо уделять динамике изменения эозинофильных и нейтрофильных лейкоцитов [5].

Количество лейкоцитов (белых клеток) в крови добровольцев-волонтеров, употреблявших в пищу хлебобулочные изделия плацебо, на конец исследования снизилось и составило $(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^9$ кл/л, тогда как в группе, употреблявшей ХБИц, на начало и конец исследований статистически значимых отличий выявлено не было (таблица 57).

Таблица 57 – Динамика изменения показателей крови добровольцев-волонтеров при употреблении хлебобулочных изделий разного состава

Показатель крови	Группа А	Группа Б (плацебо)
Подсчет белых клеток крови (WBC), 10^9 кл/л	↓	—
Подсчет красных клеток крови (RBC), 10^{12} кл/л	↑	—
Концентрация гемоглобина (HGB), г/л	↑	↑
Средний корпускулярный объем (MCV), fL	—	—
Средний корпускулярный объем (MCH), пг	—	—
Средняя концентрация корпускулярного гемоглобина (MCHC), г/л	—	—
Цветовой показатель, усл. ед.	—	—
Гематокрит (HCT%), %	—	↑
Количество тромбоцитов (PLT), 10^9 кл/л	—	↑
Процент лимфоцитов (LY%), %	—	↓
Процент моноцитов (MO%), %	—	↓
Процент сегментоядерных нейтрофилов, %	—	↑
Процент эозинофилов, %	↓	↓
Процент палочкоядерных нейтрофилов, %	—	—
Процент базофилов, %	—	—
Процент юных нейтрофилов %	—	—
Абсолютное количество лимфоцитов (LY), 10^9 кл/л	—	↓
Абсолютное количество моноцитов (MO), 10^9 кл/л	—	—
Абсолютное количество гранулоцитов (GR), 10^9 кл/л	—	—
Ширина распределения клеток красной крови (RDW), %CV	—	—
Тромбоцитокрит (PCT), %	—	—
Средний объем тромбоцита (MPV), fL	—	—
СОЭ по методу Вестергрена, мм/ч	—	—

Концентрация гемоглобина в крови добровольцев-волонтеров между группами А и Б не имела статистически значимых отличий, значения величины данного показателя на конец исследования составили ($141,9 \pm 3,3$) и ($142,9 \pm 3,2$) г/л соответственно. При этом отдельно для каждой группы наблюдалась динамика увеличения данного показателя, а для группы Б также отмечалось повышение значения гематокрита, что может быть связано с глюкокортикоидами, содержание которых в крови обычно увеличивается в результате проявления тревожных эмоций; они также вызывают повышение количества эритроцитов, непосредственно стимулируя выработку эритропоэтина в почках. Данный факт также подтверждается увеличением количества эритроцитов (красных клеток) у добровольцев-волонтеров на конец исследований и составляет $(4,9 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$ кл/л.

Цветовой показатель крови добровольцев-волонтеров оставался стабильным на протяжении эксперимента и на конец исследования имел значения $0,92 \pm 0,2$ (группа А) и $0,85 \pm 0,2$ (группа Б), что говорит о достаточной степени насыщения эритроцитов гемоглобином.

Нервные состояния чаще всего вызывают перераспределение количественного соотношения лейкоцитов, в связи с чем наиболее важно оценивать изменение лейкоцитарной формулы испытуемых. Так, процент лимфоцитов крови у добровольцев-волонтеров группы Б на конец исследования снизился и составил $(31,6 \pm 1,2) \%$, при этом количество нейтрофилов повысилось до значения $(60,1 \pm 3,2) \%$, что также может быть обусловлено присутствием глюкокортикоидов в плазме крови и повышением тревожности испытуемых. У добровольцев-волонтеров группы А данные показатели не имели статистически значимых отличий.

У добровольцев-волонтеров группы Б уменьшилось количество моноцитов и количество эозинофилов, что также подтверждает наличие тревожного состояния, тогда как у добровольцев-волонтеров группы А наблюдается незначительная динамика увеличения второго показателя, усредненные значения которого на конец исследования составили $(2,89 \pm 1,1) \%$. Данный факт может быть связан с выработкой гормонов, блокирующих выход эозинофилов из костного мозга в кровоток, а также с усилением деятельности коры надпочечников. Лейкоцитарная формула идентична для мужчин и женщин, распределение по возрасту добровольцев-волонтеров в группах было равномерным, поэтому выявленные изменения не могут быть обусловлены возрастными-половыми характеристиками.

При анализе проб крови у всех добровольцев-волонтеров как в начале, так и в конце исследования таких разновидностей лейкоцитов, как базофилы и юные нейтрофилы, выявлено не было, что является нормой для здоровых людей. Показатели СОЭ, MCV, MCH, MCHC, а также процент палочкоядерных нейтрофилов (группы А и Б) находились в диапазоне референтных значений и не имели статистически значимых отличий.

Необходимо отметить у добровольцев-волонтеров группы Б увеличивается количество тромбоцитов, что может быть связано с изменениями в системах коа-

гуляции и фибринолиза, вызванными тревожным состоянием. Ряд авторов работах [5; 182] отмечают, что тревожное состояние может вызывать активацию функции тромбоцитов, причем тенденция к агрегации тромбоцитов нередко связана с повышением уровня кортизола.

Лейкоцитарные индексы, основанные на определении соотношения клеток белой крови в лейкоцитарной формуле, позволяют дополнительно диагностировать наличие тревожного состояния у человека [78; 131] (рисунок 116).

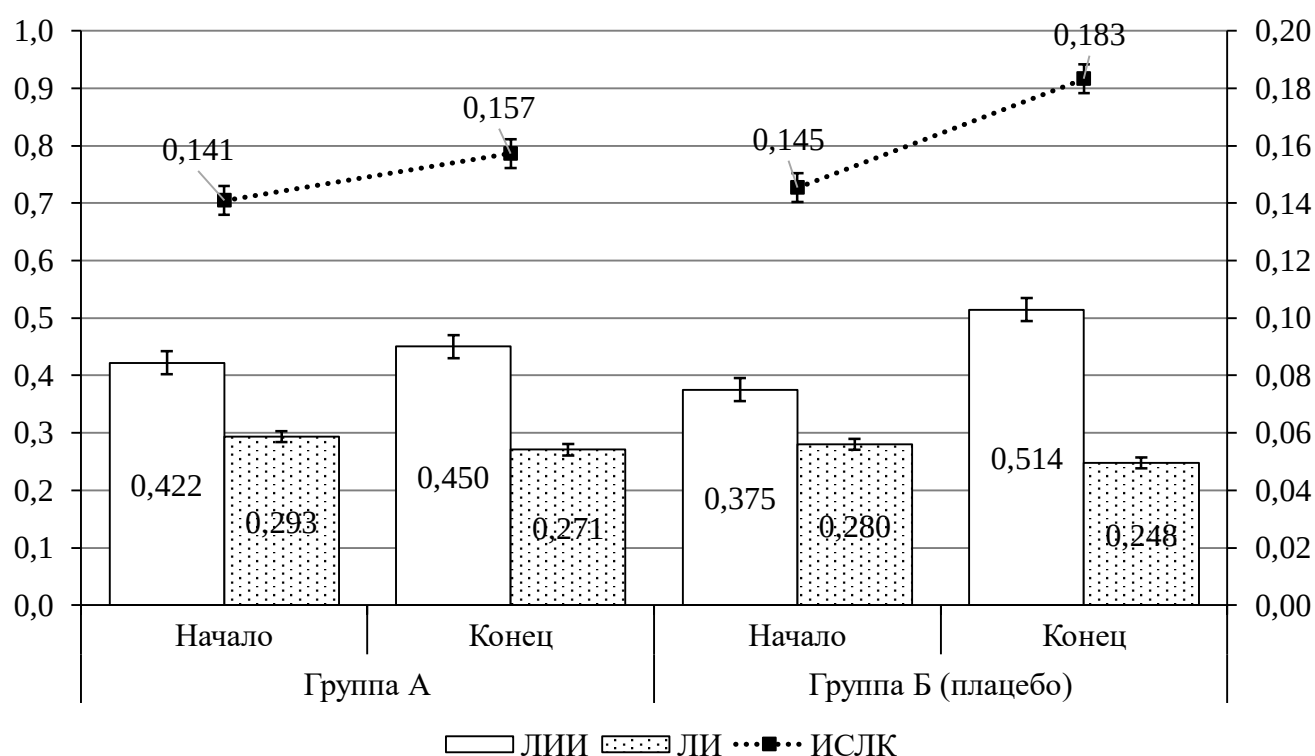


Рисунок 116 – Усредненные результаты расчетов индексов, ед.:
 ЛИИ – лейкоцитарный индекс интоксикации Я. Я. Кальф-Калифа;
 ЛИ – лимфоцитарный индекс по Шагалину;
 ИСЛК – индекс сдвига лейкоцитов крови по И.И. Яблучанскому

Определение ЛИИ позволяет выявить наличие интоксикационных процессов в организме, особенно при хронических тревожных ситуациях и даже стрессах. В своих исследованиях О. П. Григорова [5; 78] утверждает, что дифференциальная формула лимфоцитов служит критерием функционального состояния лимфоцитарной системы. Значение данного индекса у добровольцев-волонтеров групп на

конец исследования возрастает в среднем на 6,6 и 37,2 % в группах А и Б соответственно, что свидетельствует о возможном присутствии интоксикационных процессов в организме добровольцев-волонтеров группы Б.

Изменение величины ЛИ находится в взаимосвязи с направлением обмена веществ в организме. По выходу данного показателя за рамки референсных значений судят о сдвиге в сторону ацидоза или алкалоза человека. Значение данного индекса у добровольцев-волонтеров на конец исследования снижается в среднем на 7,8 и 11,6 % в группах А и Б соответственно.

Величина индекса сдвига лейкоцитов крови по И. И. Яблучанскому повышается у всех добровольцев-волонтеров, но динамика группы Б наиболее выражена, а изменение данного индекса составляет 26,1 %.

В многочисленных исследованиях [3; 5; 34; 145; 182], проводимых учеными разных стран, отмечается, что кортизол является основным глюкокортикоидом, синтезируемым путем активации оси гипофиза – надпочечников после воздействия психологических или физиологических стрессовых факторов. Значения данного показателя значительно варьируются в крови человека в течение суток, поэтому забор крови добровольцев-волонтеров проводился в утреннее время, когда величина данного показателя максимальна. Усредненные результаты исследований отражает рисунок 117.

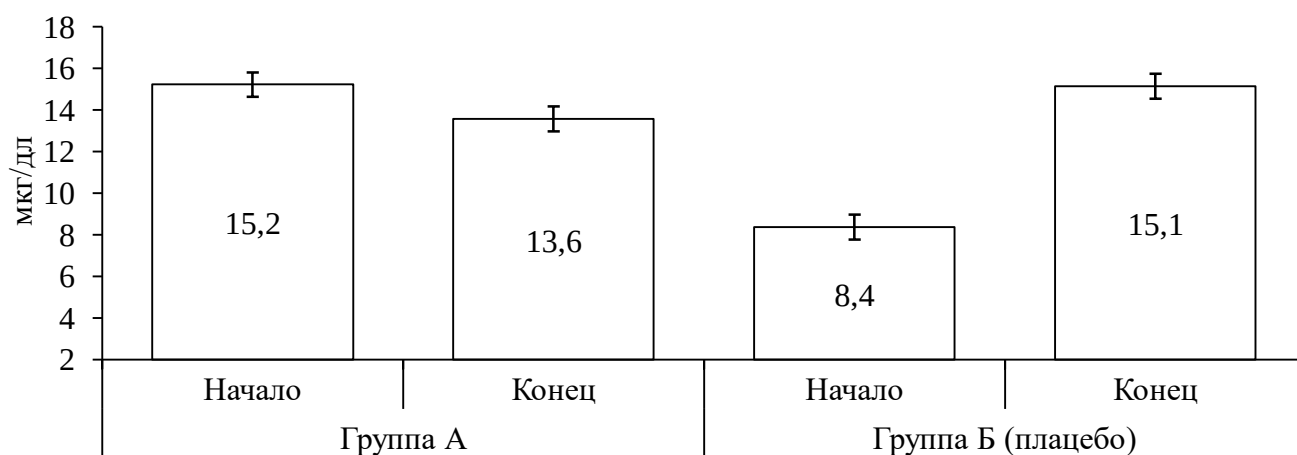


Рисунок 117 – Усредненные результаты определения кортизола в сыворотке крови добровольцев-волонтеров

Изменения клинического анализа показателей крови добровольцев-волонтеров оказали влияние на величину кортизола как в группе А, так и в группе Б. Для группы А характерно незначительное снижение данного показателя (в среднем на 10,8 %), тогда как для группы Б, наоборот, отмечался рост, который в среднем составил 80,9 %. Необходимо отметить, что все результаты исследований по данному показателю укладывались в рамки референсных значений (5–25 мкг/дл), т. е. выявленные изменения не представляли угрозы для здоровья испытуемых.

На основании представленных данных можно сказать, что в результате воздействия информационного поля средств массовой информации, освещающих вопросы мировой и российской динамики распространения пандемии коронавируса COVID-2019, большей тревожности были подвержены добровольцы-волонтеры группы Б (плацебо). При проведении опроса с применением анкеты для оценки качества жизни SF-36 были выявлены наиболее значимые различия между группами по показателю «суммарный психический компонент здоровья», который составил ($54,59 \pm 3,6$) для группы А и ($47,36 \pm 2,5$) для группы Б.

Результаты клинических исследований крови, динамика изменения лейкоцитарной формулы, рассчитанные лейкоцитарные индексы, а также изменение концентрации кортизола в крови добровольцев-волонтеров подтвердили выявленную зависимость. Следовательно, можно сказать, что регулярное употребление хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП за счет повышенного содержания γ -аминомасляной кислоты, витаминов группы В, а также антиоксидантных свойств сырьевого ингредиента позволит повысить резистентность организма человека к действию стрессовых факторов и стабилизировать здоровье населения в долгосрочной перспективе.

7.7 Разработка и анализ прогностической модели потребительского поведения в отношении хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы

Российский рынок хлебобулочных изделий для здорового питания в последние годы неуклонно растет. Несмотря на то, что многие ассортиментные позиции данной группы товаров имеют многообещающий потенциал с точки зрения благоприятного влияния на здоровье, без проведения предварительных исследований невозможно прогнозировать, будут ли они приняты, оценены и востребованы потребителями на рынке длительный период.

В своих исследованиях Т. Bech-Larsen, I. Siró, E. Van Kleef и их коллеги [199; 200; 205] подчеркивают, что восприятие пищевых продуктов для здорового питания зависит от ряда факторов, таких как внешний вид продукта, его потребительские характеристики, восприятие в целом, степень доверия к производителю, оценка потенциального риска при употреблении нового продукта, а также информация о пользе для здоровья. V. Bruschi, K. Shershneva и их коллеги [208] установили, что пищевая неофобия и недоверие к производителям новых пищевых продуктов довольно широко распространено и выражено среди российских потребителей. В исследованиях исследователи они делают вывод о том, что новые пищевые продукты для здорового питания в большинстве случаев принимаются только тогда, когда считаются натуральными и вписываются в традиционные рационы населения. Поэтому перед созданием продукта и его продвижением на потребительский рынок необходимо установить основные мотивирующие факторы потребительского выбора в пользу хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, а также барьерные факторы при их покупке.

В качестве основных направлений проводимого исследования были определены:

- выявление отношения потребителей к изделиям хлебобулочным, полученным с использованием ЦСМПЗП, в целом;

- установление уровня понимания потребителями полезных свойств данной группы товаров, полученных с использованием ЦСМПЗП;
- установление уровня доверия потребителей к производителям данного вида изделий.

В качестве инструментов для решения поставленных задач использовали факторный и регрессионный анализ с применением программного продукта Statistica 13.

На первом этапе были сформированы вопросы и рабочая модель факторов потребительского поведения, а также определены ожидаемые корреляции для установления факторов, влияющих на выбор потребителями хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП (рисунок 118).



Рисунок 118 – Прогностическая модель потребительского поведения и возможные корреляционные зависимости

Рабочая модель факторов потребительского поведения:

1. Потребление хлебобулочных изделий с добавлением ЦСМПЗП отрицательно связано с восприятием риска (Ф1) и положительно связано с пониманием пользы продукта (Ф2).

2. Понимание полезных свойств ЦСМПЗП для здоровья человека отрицательно связано с восприятием риска (Ф3) и положительно с восприятием продукта в целом (Ф4). При этом непонимание полезных свойств ЦСМПЗП для здоровья человека отрицательно связано с восприятием пользы (Ф5) и готовностью покупать хлебобулочные изделия с данным сырьевым ингредиентом в целом (Ф6).

3. Доверие к производителям хлеба и хлебобулочных изделий с добавлением ЦСМПЗП положительно связано с восприятием пользы (Ф7) и готовностью покупать хлебобулочные изделия в целом (Ф8). Тогда как недоверие к производителям хлебобулочных изделий положительно связано с восприятием риска (Ф9) и отрицательно – с готовностью покупать хлебобулочные изделия с добавлением ЦСМПЗП в целом (Ф10).

Для изучения потребительского восприятия хлебобулочных изделий, полученных с добавлением ЦСМПЗП, и установления основных формирующих его факторов разработана анкета и проведен опрос потенциальных покупателей (приложение Г).

Участники опроса были выбраны случайным образом на основе метода простой вероятностной выборки [208; 354]. Демографические и образцовые характеристики участников исследования представлены в таблице 58.

Таблица 58 – Характеристика респондентов, участвующих в опросе

Характеристика		Количество	
Критерий	Субкритерий	Номинальное	%
Пол	Мужской	256	48,0
	Женский	277	52,0
Возраст, лет	До 30	190	35,6
	30–45	152	28,5
	46–65	131	24,5
	Более 65	60	11,4
Образование	Среднее	30	5,6
	Среднее специальное	238	44,7
	Высшее	244	45,8
	Ученая степень	21	3,9
Субъективное состояние здоровья	Хорошее	257	48,2
	Среднее	208	39,0
	Плохое	68	12,8

Продолжение таблицы 58

Характеристика		Количество	
Критерий	Субкритерий	Номинальное	%
Частота употребления хлеба и хлебобулочных изделий в рационе питания в сутки	2 и более ломтика	251	47,1
	2 ломтика	110	20,6
	Менее 2 ломтиков	172	32,3
Частота занятий активными видами спорта	Несколько раз в месяц	154	28,9
	1–2 раза в неделю	38	7,1
	3–7 раз в неделю	79	14,8
	Отсутствует	262	49,2

В опросе приняло участие немного больше женщин (52,0 %), чем мужчин (48,0 %). 35,6 % участников были моложе 30 лет; 28,5 % – от 30 до 45 лет; 24,5 % – от 45 до 60 лет и 11,4 % – старше 60 лет. Высшее образование или ученую степень имели почти половина (49,7 %) респондентов. Оценивают свое состояние здоровья как «хорошее» или «среднее» 87,2 % опрошенных, при этом хуже субъективное восприятие здоровья у мужчин (t -критерий Стьюдента в оценках здоровья мужчин и женщин составляет 10,93, что говорит о высокой статистической значимости различия). Также статистически значимо ($t = 3,18$) женщины меньше употребляют хлеба и хлебобулочных изделий, меньше занимаются спортом ($t = 4,16$). Кроме того, частота употребления изделий данной группы находится в зависимости от частоты занятия спортом (занимающиеся спортом употребляют больше хлебобулочных изделий, что логично вследствие затрат энергии); коэффициент корреляции R равен 0,84, что является очень высоким значением для социологических исследований вследствие субъективности ответов). Что касается физической активности, то почти половина (49,2 %) опрошенных не занимаются спортом, 14,8 % – несколько раз в месяц, 7,1 % – 1–2 раза в неделю, а 28,9 % занимаются спортом более трех раз в неделю.

Проведенный факторный анализ в соответствии с методом главных компонент позволил выделить наиболее значимые факторы на основе анализа собственного вектора главной компоненты по критерию Кайзера и точек перегиба графика «каменистая осыпь» (рисунок 119).

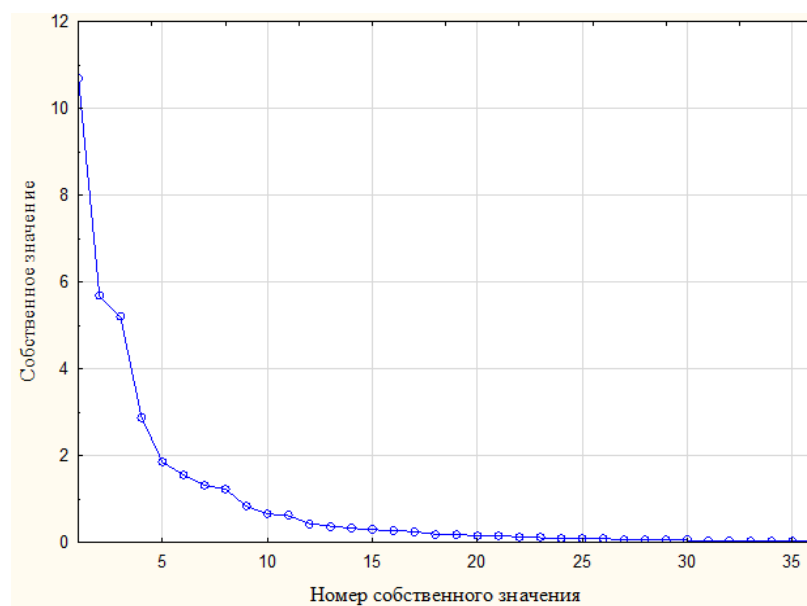


Рисунок 119 – График «каменистая осыпь» (Statistica 13)

Значения весов компонент весов факторов представлены в таблице 59.

Таблица 59 – Результаты анализа по методу главных компонент

№ компоненты	Собственное значение	% общей дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный % общей дисперсии	Веса факторов
1	10,68627	29,68408	10,68627	29,6841	0,46172
2	5,67486	15,76351	16,36113	45,4476	0,16047
3	5,19475	14,42986	21,55588	59,8774	0,84242
4	2,88663	8,01841	24,44251	67,8959	0,27222
5	1,84424	5,12288	26,28675	73,0187	0,66615
6	1,56158	4,33773	27,84833	77,3565	0,48924
7	1,31271	3,64641	29,16104	81,0029	0,81564
8	1,22531	3,40365	30,38636	84,4065	0,39444
9	0,82815	2,30040	31,21450	86,7069	0,65710
10	0,65775	1,82707	31,87225	88,5340	0,86146
11	0,61453	1,70703	32,48678	90,2410	0,12775
12	0,43181	1,19948	32,91859	91,4405	0,83911
13	0,37425	1,03959	33,29284	92,4801	0,73798
14	0,32603	0,90563	33,61887	93,3857	0,35851
15	0,29043	0,80675	33,90930	94,1925	0,78535
16	0,27408	0,76135	34,18338	94,9538	0,61625
17	0,24472	0,67979	34,42811	95,6336	0,71501
18	0,18876	0,52433	34,61687	96,1580	0,17891
19	0,17863	0,49618	34,79549	96,6541	0,00696
20	0,15418	0,42827	34,94967	97,0824	0,45345
21	0,14331	0,39809	35,09298	97,4805	0,34388

Продолжение таблицы 59

№ компоненты	Собственное значение	% общей дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный % общей дисперсии	Веса факторов
22	0,13182	0,36617	35,22480	97,8467	0,89453
23	0,10766	0,29905	35,33246	98,1457	0,08145
24	0,08988	0,24968	35,42234	98,3954	0,42519
25	0,08560	0,23777	35,50794	98,6332	0,28204
26	0,07925	0,22013	35,58719	98,8533	0,76678
27	0,07219	0,20051	35,65937	99,0538	0,51328
28	0,07096	0,19712	35,73034	99,2509	0,55048
29	0,05610	0,15584	35,78644	99,4068	0,22743
30	0,04599	0,12775	35,83243	99,5345	0,88013
31	0,04172	0,11590	35,87415	99,6504	0,51461
32	0,03605	0,10014	35,91020	99,7506	0,07082
33	0,02979	0,08275	35,93999	99,8333	0,09828
34	0,02276	0,06322	35,96275	99,8965	0,61198
35	0,02055	0,05708	35,98330	99,9536	0,09750
36	0,01670	0,04638	36,00000	100,0000	0,13023

Наиболее значимыми (статистически значимыми, в соответствии с критерием Фишера) были выявлены следующие вопросы.

1. Я считаю, что употребление хлеба и хлебобулочных изделий, полученных с использованием сырьевых ингредиентов из пророщенного зерна пшеницы, приносит больше пользы, чем вреда (0,89453).

2. Я обязательно куплю хлебобулочные изделие с маркировкой, содержащей фразу «полезен для здоровья» (0,88013).

3. Употребление продуктов с добавлением ЦСМПЗП приносит мне пользу (0,86146).

4. Я готов покупать хлеб и хлебобулочные изделия с добавлением ЦСМПЗП (0,84242).

5. Я готов изменить свои вкусовые предпочтения в области хлеба и хлебобулочных изделий ради получения полезных свойств продукта (0,83911);

6. Я предпочитаю приобретать продукты натурального происхождения (0,81564).

7. Производитель продуктов, полученных с использованием ЦСМПЗП, четко отслеживает нормы безопасности данных продуктов (0,78535).

8. Я думаю, что хлеб и хлебобулочные изделия, полученные с использованием ЦСМПЗП, возможно употреблять в качестве профилактики хронических заболеваний (0,76678).

9. Я думаю, что продукты из ЦСМПЗП абсолютно безопасны (0,73798).

10. Я думаю, что использование хлеба и хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, приведет к улучшению здоровья в долгосрочной перспективе (0,71501).

Поэтому при формировании маркетинговой кампании данной группы товаров основополагающим направлением должно стать осведомление потребителя о полезных свойствах изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, об их безопасности и отсутствии потенциальных рисков при соблюдении СМБП. Средние значения данных факторов, их стандартные отклонения, а также коэффициенты корреляции факторов между собой представлены в таблице 60.

Таблица 60 – Средние значения наиболее значимых факторов ($\bar{x}$), их стандартные отклонения (S), а также коэффициенты корреляции факторов между собой (R)

№ фактора	$\bar{x}$	S	R									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,25	0,82	1,000	0,794	0,826	0,697	0,792	0,655	0,643	0,671	0,608	0,632
2	4,02	1,18	0,794	1,000	0,757	0,741	0,763	0,658	0,673	0,649	0,642	0,560
3	4,08	0,93	0,826	0,757	1,000	0,596	0,760	0,548	0,523	0,705	0,694	0,655
4	3,89	1,29	0,697	0,741	0,596	1,000	0,597	0,736	0,798	0,600	0,546	0,451
5	3,60	1,07	0,792	0,763	0,760	0,597	1,000	0,715	0,457	0,712	0,646	0,724
6	3,72	1,34	0,655	0,658	0,548	0,736	0,715	1,000	0,626	0,611	0,592	0,668
7	3,48	1,31	0,643	0,673	0,523	0,798	0,457	0,626	1,000	0,506	0,528	0,306
8	3,75	1,03	0,671	0,649	0,705	0,600	0,712	0,611	0,506	1,000	0,731	0,642
9	3,62	1,07	0,608	0,642	0,694	0,546	0,646	0,592	0,528	0,731	1,000	0,540
10	3,91	0,87	0,632	0,560	0,655	0,451	0,724	0,668	0,306	0,642	0,540	1,000

Следует отметить, что готовность покупать хлебобулочные изделия, полученные с использованием ЦСМПЗП, зависит прежде всего от уверенности в том, что производитель данных сырьевых ингредиентов четко отслеживает нормы безопасности ($R = 0,79$). Затем респонденты обязательно купили бы хлеб и хлебобу-

лочные изделия с маркировкой, содержащей фразу «полезен для здоровья» ($R = 0,74$). Кроме того, готовность покупать изделия с добавлением ЦСМПЗП характерна для респондентов, предпочитающих приобретать продукты натурального происхождения.

Анализируя противоположные тенденции, следует отметить, что наименее готовы покупать хлеб и хлебобулочные изделия с добавлением ЦСМПЗП люди с низким субъективным восприятием своего здоровья ($R = 0,68$) и люди, считающие, что употребление данной группы изделий приносит больше вреда, чем пользы ($R = 0,59$). Респонденты, считающие, что употребление хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, приносит больше пользы, чем вреда ($R = 0,83$); знающие, что ЦСМПЗП обладает рядом полезных свойств ($R = 0,81$); готовые изменить свои вкусовые предпочтения в области данной группы товаров ради получения полезных свойств продукта ($R = 0,76$). Сомневаются, что употребление продуктов с добавлением ЦСМПЗП приносит пользу, мужчины и женщины, активно занимающиеся спортом, а также респонденты с низким субъективным восприятием здоровья.

В абсолютной безопасности продуктов, полученных с использованием ЦСМПЗП, уверены респонденты, считающие, что: хлеб и хлебобулочные изделия возможно употреблять в качестве профилактики хронических заболеваний ($R = 0,79$); употребление продуктов с добавлением ЦСМПЗП приносит им пользу ($R = 0,69$), а также респонденты, готовые изменить свои вкусовые предпочтения в данной области ради получения полезных свойств продукта ($R = 0,65$).

Респонденты, которые обращают свое внимание на здоровье, в чьей жизни существует понятие «мотивация здоровья», чувствуют себя хорошо, когда употребляют «не рафинированные» продукты ($R = 0,77$), предпочитают приобретать продукты натурального происхождения ($R = 0,67$), считают, что хлеб и хлебобулочные изделия, полученные с использованием ЦСМПЗП, возможно употреблять в качестве профилактики хронических заболеваний ($R = 0,64$). Модель гипотез, сформулированная на начальном этапе исследований, была соотнесена с коэффициентами корреляции факторов (рисунок 120). Следует отметить, что все приве-

денные коэффициенты корреляции статистически значимы по критерию Фишера с доверительной вероятностью $\geq 0,95$.



Рисунок 120 – Оценочная модель потребительского поведения в отношении хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП с коэффициентами корреляции факторов (доверительная вероятность $\geq 0,95$)

Наиболее важными из первоначально выдвинутых факторов являются доверие к производителям и восприятие пользы, которые резко повышают готовность покупать изделия, полученные с использованием ЦСМПЗП, а также непонимание роли и влияния ЦСМПЗП на здоровье человека, что снижает восприятие его пользы. Кроме того, в ходе исследования обнаружены дополнительные взаимосвязи, которые могут использоваться для продвижения продуктов на рынке и обеспечить более полезное питание для потребителей.

Таким образом, результаты, полученные при статистической обработке данных социологического опроса с участием более 500 чел., позволили сформировать ряд стратегий, направленных на продвижение хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП:

– для повышения спроса на данную группу товаров производителям необходимо предоставлять больше информации о полезных свойствах ЦСМПЗП, использовать маркировку, содержащую фразу «полезен для здоровья»;

– формировать доверие потребителей к производителям данных продуктов, путем отслеживания норм безопасности, а также внедрения, поддержания и актуализации СМБПП на предприятии.

Пищевая неофобия и недоверие к производителям обогащенных пищевых продуктов довольно широко распространены и выражены среди российских потребителей. Поэтому формирование модели факторов потребительского поведения, основанное на построении гипотезы и проверке ее адекватности, позволило оценить реакцию потенциальных потребителей на новые виды хлебобулочных изделий. С данной целью было проведено социологическое исследование с последующим факторным и регрессионным анализом с применением программного продукта Statistica 13. Были установлены основные мотивирующие и барьерные факторы покупки хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Определено, что для обеспечения положительного потребительского отклика необходимо формировать и поддерживать доверие к производителям данной группы товаров, а также предоставлять больше информации о полезных свойствах сырьевого ингредиента – ЦСМПЗП.

7.8 Определение расчетного экономического эффекта от внедрения в производство разработанных хлебобулочных изделий

Экономический эффект – обобщающий показатель экономической деятельности, характеризующийся разностью между денежным доходом от деятельности и денежными расходами на ее осуществление.

Годовой экономический эффект за счет влияния комплекса факторов рассчитывали по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{cp}} = \left(\frac{\Pi_{\text{н}} \times A_{\text{н}} - C_{\text{н}}}{A_{\text{н}}} - \frac{\Pi_{\text{б}} \times A_{\text{б}} - C_{\text{б}}}{A_{\text{б}}} \right) \times A_{\text{н}}, \quad (58)$$

где $\mathcal{E}_{\text{cp}}$ – годовой экономический эффект, р.; $\Pi_{\text{н}}$, $\Pi_{\text{б}}$ – розничная цена продукции по новому и базовому вариантам, тыс. р. за 1 т; $C_{\text{н}}$, $C_{\text{б}}$ – себестоимость производства всей продукции по новому и базовому вариантам, тыс. р.; $A_{\text{н}}$, $A_{\text{б}}$ – годовой объем производимой продукции по новому и базовому вариантам, т.

Экономический эффект от внедрения разработанного ассортимента хлебобулочных изделий рассчитан исходя из численности населения возрастной группы 20–65 лет в городах Российской Федерации (выбранной в качестве целевой как наиболее устойчивая группа потребителей).

В расчете экономического эффекта принято условие, что вырабатываемая продукция для людей будет потребляться на всей территории РФ возрастной группой 20–65 лет, проживающим в городах с численностью населения более 1 млн жителей, ведущей трудовую деятельность, включая работу по совместительству, а также личное подсобное хозяйство и сбережения, дивиденды и др. (таблица 61).

Таблица 61 – Данные Федеральной службы государственной статистики по численности населения и возрастным группам, полу и источникам средств к существованию, чел.

Возрастные группы	Все население	Население, указавшее источники средств к существованию
20–29	18 341 345	17 663 333
30–49	30 748 295	29 485 063
50–54	8 362 191	8 040 147
55–59	7 442 711	7 176 660
60–64	5 973 327	5 768 545
<i>Итого</i>	<i>70 867 869</i>	<i>68 133 748</i>

Для более пессимистического прогноза при расчете из числа потребителей исключены следующие группы населения: студенты, пенсионеры по возрасту и инвалидности, безработные и лица, находящиеся на иждивении, получающие

помощь других лиц. Таким образом, было определено число потенциальных потребителей хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП: 41 243 161 чел. Исходные данные для расчета планируемого объема потребления продукции представлены в таблице 62.

Таблица 62 – Исходные данные для расчета объема потребляемых хлебобулочных изделий

Городское население, тыс. чел.			Определение потенциальных потребителей хлебобулочных изделий				Планируемый объем потребления хлебобулочных изделий, кг		
Всего	Мужчины и женщины 20–65 лет	%	Мужчины и женщины 20–65 лет, тыс. чел.	Доля потребителей, %	Потребители, тыс. чел.	Процентное отношение к общему числу городских жителей	По России в год	По России, в сутки	В городе с населением 1 млн чел. (условно) в сутки
105 314	70 868	67	41 243	0,5	206	0,20%	11 290 271	30 932	294

Норма потребления хлебобулочных изделий для питания составляет 175 г в сутки на человека. При этом планируется, что новую продукцию будет потреблять ориентировочно 1,0 % людей, проживающих в городах России, в количестве около 11 290 271 кг в год (из расчета по 150 г (средний уровень потребления хлебобулочных изделий в сутки) 365 дней в году)), т. е. ориентировочно 294 кг хлебобулочных изделий в день на каждый миллион жителей, или 107 т в год.

Для оценки объема производства ЦСМПЗП для удовлетворения потребностей населения произведен расчет объемов ее расхода при производстве хлебобулочных изделий (таблица 63).

Объем производства ЦСМПЗП для изготовления хлебобулочных изделий и для удовлетворения потребностей населения страны составит ориентировочно 9 584 кг в сутки либо (при максимальном потреблении) 4 011,9 т в год.

Предварительно был произведен расчет лизинговых платежей по рекомендованному к приобретению необходимому оборудованию (таблица 64).

Таблица 63 – Расчет расхода ЦСМПЗП для выпечки хлебобулочных изделий

На 1 изделие, не более, %	На 1 кг, не более, %	В масштабах страны			На город (условно 1 млн жителей)		
		кг в сутки	С учетом потерь при реализации 2–14 %, кг в сутки		кг в сутки	С учетом потерь при реализации 2–14 %, кг в сутки	
			Минимум	Максимум		Минимум	Максимум
18	14	9 584	9 780	11 144	78	80	91

Таблица 64 – Расчет ежемесячных затрат на приобретение дорогостоящего дополнительного оборудования для производства ЦСМПЗП

Вид оборудования	Стоимость оборудования, р.
Аппарат по созданию потока холодной плазмы (процесс обеззараживания зерна)	900 000
Аппарат ультразвуковой проточный серии «Волна-П» УЗАП-1/22-ОПС (Ультразвуковая обработка зерна)	300 000
Верхнеприводная пропеллерная мешалка JUNIOR (для зерна при УЗВ)	45 000
Емкость для обработки УЗВ и замачивания зерна	40 000
Шкаф для проращивания семян ШПЗ	350 000
Сушильный шкаф с принудительной конвекцией воздуха SNOL 58/350	73 000
<i>Итого</i>	<i>1 285 000</i>
Размер лизингового платежа, р. в месяц (60 мес.)	33 834

Для расчета себестоимости и розничной цены ЦСМПЗП был произведен расчет затрат на ее производство для получения 1 т готовой продукции (таблица 65), при этом были учтены:

- затраты на сырье, основные и вспомогательные материалы;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды (страховые взносы);
- общепроизводственные расходы (затраты на содержание: электроэнергию, отопление, уборку помещений, охрану труда и др., а также амортизационные отчисления и текущий ремонт оборудования);
- общехозяйственные расходы;
- прочие расходы (связанные со сбытом продукции и расходы, не подходящие ни под одну статью сметы).

Таблица 65 – Расчет себестоимости и розничной цены ЦСМПЗП

Статьи затрат	Сумма затрат на 1 т ЦСМПЗП, р.
Прямые затраты, всего	11 664,22
Общепроизводственные расходы, всего	1 046,12
Общехозяйственные расходы, всего	159,32
Общие затраты на производство и сбыт продукции, всего	850,47
Коммерческие, транспортные расходы	565,65
Полная себестоимость	14 285,78
Прибыль	1 428,58
Отпускная цена	15 714,36
НДС	3 142,87
Отпускная цена с НДС	18 857,24
Наценка 20 %	3 771,45
Итоговая розничная цена	22 628,68

При производстве хлебобулочных изделий предложено проводить дополнительную водоподготовку, что позволит сократить время приготовления теста хлебобулочных изделий на 30 мин (таблица 66).

Таблица 66 – Расчет ежемесячных затрат на приобретение дорогостоящего дополнительного оборудования

Вид оборудования	Стоимость оборудования, р.
Ультразвуковая обработка воды (аппарат ультразвуковой проточный серии «Волна-П» Модель УЗАП-0,4/22-ОП)	110 000
Размер лизингового платежа, р. в месяц (60 мес.)	2668

В дальнейших расчетах для определения стоимости хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, были приняты рыночные показатели цены на пшеничную муку первого сорта и другие сырьевые ингредиенты, а также учтена определенная выше себестоимость ЦСМПЗП (таблицы 67, 68, 69).

В результате расчетов определено снижение себестоимости разработанных хлебобулочных изделий на максимальную сумму 0,45–0,53 рублей на 1 кг готовой продукции по отношению к себестоимости подобной продукции из пшеничной муки первого сорта.

Таблица 67 – Материально-техническое обеспечение производства хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП

Сырье	Цена сырья за 1 т, тыс. р.	ХБИк		ХБИц	
		Расход сырья, %	Стоимость сырья, тыс. р.	Расход сырья, %	Стоимость сырья, тыс. р.
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	18,03	100,00	18,03	82,00	14,78
ЦСМПЗП	14,29	–	–	18,00	2,57
Дрожжи прессованные хлебопекарные	39,52	1,50	0,59	1,50	0,59
Соль пищевая	6,09	1,30	0,08	1,30	0,08
Растительное масло (смазка формы)	55,91	0,15	0,08	0,15	0,08
<i>Итого</i>			18,79		18,11

Таблица 68 – Материально-техническое обеспечение производства мелкоштучных булочных изделий с ЦСМПЗП

Сырье	Цена сырья за 1 т, тыс. р.	МБИк		МБИц	
		Расход сырья, %	Стоимость сырья, тыс. р.	Расход сырья, %	Стоимость сырья, тыс. р.
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	18,03	100,00	18,03	86,00	15,51
ЦСМПЗП	14,29	–	–	14,00	2,00
Дрожжи прессованные хлебопекарные	39,52	1,00	0,39	1,00	0,39
Соль пищевая	6,09	1,50	0,09	1,50	0,09
Сахар белый	26,55	5,00	1,33	5,00	1,33
Маргарин столовый с массовой долей жира 60 %	69,03	2,50	1,73	2,50	1,73
Растительное масло (смазка формы)	55,91	0,15	0,08	0,15	0,08
<i>Итого</i>			21,65		21,13

Таблица 69 – Расчет себестоимости и розничной цены хлебобулочных изделий по новому и базовому вариантам, тыс. р/т

Статьи затрат	ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
Стоимость сырья	18,79	18,11	21,65	21,13
Расходы на доставку сырья	0,63	0,63	0,76	0,76
Прочие прямые затраты	7,27	7,57	9,62	9,82
Общепроизводственные расходы, всего	6,37	6,37	7,43	7,43
Общехозяйственные расходы, всего	4,94	4,98	5,01	5,05
Общие затраты на производство и сбыт продукции, всего	2,34	2,34	2,46	2,46
Расходы на упаковку продукции	1,13	1,13	1,33	1,33
Коммерческие расходы	0,53	0,53	0,53	0,53
Полная себестоимость	42,00	41,66	48,79	48,51

Продолжение таблицы 69

Статьи затрат	ХБИк	ХБИц	МБИк	МБИц
Прибыль	4,20	4,17	4,88	4,85
Отпускная цена	46,20	45,83	53,67	53,36
НДС	9,24	9,17	10,73	10,67
Отпускная цена с НДС	55,43	54,99	64,41	64,03
Наценка 20 %	11,09	11,00	12,88	12,81
Итоговая розничная цена	66,52	65,99	77,29	76,84

Применительно к производству хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, значение экономического эффекта на 1 т изделий составит не менее 1 339,81 тыс. р. для ХБИц и 1 140,14 тыс. р. для МБИц.

Внедрение результатов данной диссертационной работы даст возможность выпуска новых видов хлебобулочных изделий, что является стимулирующим фактором к расширению ассортимента продукции для здорового питания и получению дополнительной годовой прибыли предприятиями городов-миллионеров в размере не менее 1,14 млн р.

Учитывая направленность разработанного сырьевого ингредиента и хлебобулочных изделий, полученных его с использованием, кроме экономического возникает социальный эффект, оцениваемый так называемыми экстерналиями – внеэкономическими и экономическими результатами, которые возникают при производстве товаров и услуг во внешней среде, но не отражаются в рыночных ценах.

Экстерналии оцениваются величиной предотвращенного экономического ущерба от возникновения хронических заболеваний, нетрудоспособности людей вследствие болезней и др. Улучшения питания можно достичь за счет применения разработанных новых хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП.

При создании хлебобулочных изделий большую значимость имеет социально-экономический эффект, заключающийся в улучшении качества жизни, укреплении здоровья и снижении экономических потерь от заболеваний.

На базе разработанной и верифицированной методологии процесса получения безопасного сырьевого ингредиента и продуктов с повышенной пищевой ценностью сформированы рецептуры новых хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Предложено два вида хлебобулочных изделий: хлебобулочные изделия из пшеничной муки первого сорта массой 450 г и мелкоштучные булочные изделия из муки первого сорта массой 100 г. Математическое моделирование позволило оптимизировать разработанные рецептуры и получить опытные изделия отличного качества.

Комплексная товароведная оценка качества разработанных хлебобулочных изделий по расширенной номенклатуре показателей, включающая дегустационную оценку, физические, физико-химические показатели качества, пищевую ценность, антиоксидантную емкость (DPPH, мг TEAC/г), содержание ГАМК, в совокупности доказала эффективность разработанных технологических решений.

Внесение в рецептуру ЦСМПЗП способствует увеличению содержания пищевых волокон в опытных образцах хлебобулочных изделий, что позволяет повысить уровень обеспеченности суточной потребности в данной группе веществ до $(13,3 \pm 0,5) \%$ для детей и $(10,9 \pm 0,5) \%$ для взрослого населения.

Использование ЦСМПЗП позволило повысить уровень удовлетворения суточной потребности в тиамине, рибофлавине и пиридоксине. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении массовой доли флавоноидов и повышении антиоксидантной емкости. Содержание ГАМК имело максимальные значения в мякише изделий и составило в среднем $(11,2 \pm 0,12)$ мг/100 г для образцов ХБИц и $(10,9 \pm 0,09)$ мг/100 г для МБИц. Потенциальная биодоступность ГАМК опытных образцов была выше, чем у контрольных: для мякиша – в среднем на 44,2 % у ХБИц и на 51,2 % у МБИц; для корки и подкоркового слоя – на 36,1 и 47,3 % соответственно.

Безопасность разработанных изделий доказана путем оценки соответствия требованиям ТР ТС 021/2011, а также методом биотестирования с использованием двух культур инфузории: *Paramecium caudatum* и *Tetrahimena pyriformis*.

Вариативность изменения результатов определения органолептических и физико-химических показателей, реологических свойств, а также микроскопического анализа и форм связи воды в совокупности позволила доказать повышенную сохраняемость разработанных хлебобулочных изделий.

Результаты клинических исследований крови добровольцев-волонтеров, динамика изменения лейкоцитарной формулы, рассчитанные лейкоцитарные индексы, а также изменение концентрации кортизола в крови людей подтвердили, что регулярное употребление хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП позволит повысить резистентность организма человека к действию стрессорных факторов и стабилизировать здоровье населения в долгосрочной перспективе.

Сформированная модель факторов потребительского поведения, основанная на построении гипотезы и проверке ее адекватности, позволила оценить реакцию потенциальных потребителей на новые виды хлебобулочных изделий. В результате обработки данных при помощи факторного и регрессионного анализа с применением программного продукта Statistica 13 были выявлены предикторы выбора и барьерные факторы покупки хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Установлено, что для обеспечения положительного потребительского отклика необходимо формировать и поддерживать доверие к производителям данной группы товаров, а также предоставлять больше информации о полезных свойствах ЦСМПЗП.

Проведен расчет экономического эффекта от внедрения в производство предлагаемого ассортимента хлебобулочных изделий. Применительно к производству хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП, значение годового экономического эффекта (для предприятий, расположенных в городах с населением более 1 млн чел.) составит не менее 1 339,81 тыс. р. для ХБИц и 1 140,14 тыс. р. для МБИц.

Основой технологий разработанных хлебобулочных изделий является применение результатов практической реализации разработанной и верифицированной методологии процесса получения безопасного сырьевого ингредиента и продуктов с повышенной пищевой ценностью.

Результаты проведенных исследований реализованы в разработанных технических условиях (ТУ 10.61.21-005-75420719-2018, ТУ 10.71.11-008-75420719-2019), утвержденных ООО «Боровое». Технологии разработанных хлебобулочных изделий для здорового питания на их основе прошли апробацию и внедрение (приложение Ж).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований предложены для внедрения в практику технологические приемы в области снижения рисков контаминации и продовольственных потерь при переработке зерна пшеницы, на базе полученных новых данных сделаны следующие выводы:

1. На основе анализа современных научных данных обоснована необходимость разработки в продовольственной цепочке «зерно – мука – хлеб» новых технологических приемов, базирующихся на принципах безопасности, качества и пищевой полноценности получаемых изделий, позволяющих минимизировать продовольственные потери. Обобщены и систематизированы используемые в мировой практике подходы для снижения рисков контаминации зернового сырья, в том числе на основе физических методов воздействия, имеющие реальный потенциал для применения в технологии переработки растительного сырья и позволяющие обеспечить устойчивое развитие предприятий отрасли, в том числе хлебопекарной.

2. Разработан методологический подход в целях снижения рисков микробной контаминации сырья и продовольственных потерь на всех этапах технологической цепочки процесса получения безопасного сырьевого ингредиента с использованием в качестве инструмента модели системы проектирования IDEF0, обеспечивающей прослеживаемость процессов с обратной связью. Сформирована доказательная база для верификации методологического подхода к получению безопасного сырьевого ингредиента повышенной пищевой ценности, технологически пригодного для размещения в системе пищевого продукта.

3. Получены результаты комплексного исследования качества и микробиологической безопасности зернового сырья, определяющие риски продовольственных потерь за счет контаминации сырьевого ингредиента (цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы) микотоксинами токсигенных плесеней, среди которых наивысший показатель скоро имеют *Alternaria alternate* (2,312); *Aspergil-*

lus candidus (1,918); *Fusarium spp.* (1,854). Установлено, что для блокирования плесеней зерна пшеницы наиболее рациональным является способ, основанный на воздействии холодным плазменным излучением в режиме, определенном на основе математической обработки полученного массива данных: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, экспозиция 9 мин. Обеззараживание зерна пшеницы на основе воздействия холодного плазменного излучения обеспечивает снижение количества дрожжей и плесеней до минимальных значений – менее (10 ± 2) КОЕ/г.

4. Установлено влияние ультразвукового воздействия (в режиме: мощность 378 Вт, экспозиция 3 мин), применяемого на этапе замачивания в гидромодуле при соотношении зерна и воды 1:1, на интенсификацию процесса получения пророщенного зерна пшеницы при вариативности исходных параметров качества сырья. Математически на основе установления корреляционных зависимостей между показателями и с учетом обобщенного критерия оптимальности доказано, что в данных условиях возможно сократить длительность процессов замачивания (на 4,5 ч) и проращивания (на 2,5 ч). Разработана и апробирована шкала определения микрофенологических фаз для обеспечения контролируемого проращивания зерна пшеницы и установлена ее применимость для экспрессной оценки в практических целях. Сформирована графическая модель получения ЦСМПЗП с характеристикой рациональных режимов ведения процессов. Определен средневзвешенный размер частиц ЦСМПЗП – (170 ± 15) мкм, обеспечивающий эффективное встраивание сырьевого ингредиента в систему хлебобулочных изделий.

5. На основе системного подхода к управлению процессами получения ЦСМПЗП определены критические контрольные точки (на этапах обеззараживания зернового сырья и сушки пророщенного зерна пшеницы) для обеспечения безопасности сырьевого ингредиента, позволяющие рекомендовать его к использованию в технологиях простых и улучшенных по рецептуре хлебобулочных изделий. Подтверждено, что ЦСМПЗП, полученная по разработанным технологиям, сохраняет технологические свойства и пищевую ценность в течение 9 мес. хранения в вакуумной упаковке, что позволяет обеспечить сохранение химических компонентов на уровне первичных значений (содержание γ -аминомасляной кис-

лоты в количестве $(18,9 \pm 0,3)$ мг/100 г и общую антиоксидантную емкость – $(6,9 \pm 0,3)$ мг ТЕАС/г), обуславливающих в совокупности высокую пищевую ценность сырьевого ингредиента.

6. На основе установленной взаимосвязи гранулометрических составов ЦСМПЗП и основного сырья, используемых в технологии хлебобулочных изделий, дополненной результатами оценки систем, полученных с помощью СЭМ, доказано, что сырьевой ингредиент может эффективно встраиваться в структуру конечного продукта. Это также подтверждают результаты комплексной оценки технологических свойств по расширенной номенклатуре показателей модельных смесей муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП, теста и образцов изделий. Доказана эффективность ультразвукового воздействия (мощность 400 Вт, экспозиция 5 мин) применительно к процессу водоподготовки на этапе замеса теста для минимизации возникновения и коррекции технологических рисков (в частности, ухудшения реологических свойств теста). Установлено, что ультразвуковое воздействие в технологии хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП обеспечивает интенсификацию процесса брожения теста (повышает ТЭБ на $(43,1 \pm 0,7)$ %, интенсифицирует кислотонакопление на $(28,2 \pm 0,3)$ %, стабилизирует значения показателя качества фаринографа на уровне (200 ± 4) мм), а также способствует формированию более развитого белкового каркаса, что подтверждается результатами СЭМ и ДСК опытных образцов теста.

7. На основе математического моделирования, исходя из принципов оптимизации технологического процесса, установлены оптимальные количества замены сортовой муки на ЦСМПЗП: для простых изделий – 18 % (хлебобулочные изделия) и улучшенных по рецептуре – 14 % (мелкоштучные булочные изделия).

На основании результатов комплексной оценки образцов хлебобулочных изделий (простых и улучшенных по рецептуре), получены данные, подтверждающие адекватность разработанных рецептур для обеспечения повышения пищевой ценности изделий. Наблюдаются явные отличия по отношению к контролю, в частности:

- увеличение количества пищевых волокон с учетом установленных норм потребления до уровня $(10,9 \pm 0,5) \%$ относительно суточной потребности;
- увеличение массовой доли γ -аминомасляной кислоты в мякише изделий: $(11,2 \pm 0,12)$ мг/100 г у образцов ХБИц и $(10,9 \pm 0,09)$ мг/100 г у МБИц;
- повышение антиоксидантной емкости опытных образцов ХБИц и МБИц в 1,87 и 1,68 раза соответственно.

Установлено, что все исследуемые образцы в соответствии с требованиями ТР ТС 0121/2011 являлись безопасными.

В процессе хранения определена незначительная вариативность органолептических и физико-химических показателей хлебобулочных изделий, полученных с использованием ЦСМПЗП. Установлено минимальное изменение деформационных характеристик мякиша, результаты СЭМ не фиксируют явных различий, в конце хранения в опытных образцах определено высокое суммарное содержание осмотически и адсорбционно связанной воды $((54,5 \pm 0,6) \%$ в ХБИц и $(62,9 \pm 0,5) \%$ в МБИц), что в совокупности подтверждает замедление процессов черствения при использовании ЦСМПЗП в технологии хлебобулочных изделий.

8. Исследовано влияние ЦСМПЗП в составе хлебобулочных изделий с применением моделей *in vitro* и *in vivo*, полученные результаты доказывают:

- потенциальную биодоступность γ -аминомасляной кислоты в пищевой системе хлебобулочных изделий: после проведения процедуры переваривания индекс биодоступности для корки и подкоркового слоя составлял $(97,2 \pm 0,4) \%$ для образцов ХБИц и $(103,1 \pm 0,5) \%$ для МБИц, для мякиша $(99,1 \pm 0,5) \%$ и $(102,8 \pm 0,4) \%$ для ХБИц и МБИц соответственно;
- результаты биотестирования опытных образцов хлебобулочных изделий с использованием двух культур инфузории: *Paramecium caudatum* и *Tetrahimena pyriformis* (количественный прирост простейших составил $(122,6 \pm 2,4) \%$ и $(146,3 \pm 3,2) \%$ соответственно), подтвердили высокую пищевую ценность и безопасность;
- на основе модели *in vivo* получены результаты, доказывающие, что введение в рацион хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП позволит повысить резистент-

ность организма человека к действию стрессорных факторов. Это подтверждается снижением динамики роста лейкоцитарного индекса интоксикации Я. Я. Кальфа ($6,6 \pm 1,8$) % для контрольной группы и ($37,2 \pm 1,6$) % для группы плацебо), большим значением индекса сдвига лейкоцитов крови по И. И. Яблучанскому (на ($26,1 \pm 1,6$) %), изменением уровня концентрации кортизола в крови (снижение на ($10,8 \pm 3,6$) %) по отношению к результатам, полученным в группе плацебо. Суммарный психический компонент здоровья, определенный с использованием опросника SF-36, составил ($54,59 \pm 3,6$) балла, что на 15,3 % больше, чем у группы плацебо.

9. Для определения устойчивости на потребительском рынке и востребованности хлебобулочных изделий с ЦСМПЗП потенциальными потребителями на основе факторного и регрессионного анализа получена прогностическая модель, отражающая недостаточную информированность потребителя по ряду характеристик (гарантии безопасности при потреблении, стресс-протекторные свойства), что позволило сформулировать рекомендации для предприятий по выстраиванию политики продвижения данных продуктов на потребительском рынке.

Проведен расчет экономического эффекта от внедрения в производство предлагаемого ассортимента хлебобулочных изделий. С учетом затрат на дополнительное оборудование для получения сырьевого ингредиента и хлебобулочных изделий по разработанным рецептурам значение годового экономического эффекта в расчете на 1 т изделий (для предприятий, функционирующих в городах с населением более 1 млн чел.) составит не менее 1 339,81 тыс. р. для ХБИц и 1 140,14 тыс. р. для МБИц.

Результаты исследования апробированы и внедрены в условиях производства: ООО «Боровое», ООО «Агрофирма Ариант», ООО «Черновской хлеб», ИП Акопян Г. С. «Хлебный дом». Разработан комплект технической документации на новые виды хлебобулочных изделий, утвержденный ООО «Боровое».

Основой технологий разработанных хлебобулочных изделий является применение результатов практической реализации разработанной и верифицирован-

ной методологии процесса получения безопасного сырьевого ингредиента и продуктов с повышенной пищевой ценностью.

Таким образом, предложенные в работе концептуальные подходы, инструментарий и результаты верификации методологического подхода к процессу получения безопасного сырьевого ингредиента и хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности развивают перспективное научное направление, связанное с минимизацией рисков контаминации и снижением продовольственных потерь. Предложенный подход к получению сырьевого ингредиента – цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы может быть рекомендован к применению в отношении других зерновых культур, а также для предприятий пищевой индустрии различной направленности производства.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

УЗВ – ультразвуковое воздействие.

УЗ – ультразвук.

НЭМИ – наносекундные электромагнитные импульсы.

ХПИ – холодное плазменное излучение.

ЦСМПЗП – цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы.

ГАМК – γ -аминомасляная кислота.

И_{БД} – индекс биодоступности.

R_k – коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений.

St. err. – стандартное отклонение.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

ЗП-1 – пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Любава», выращенная в степной зоне Брединского муниципального района Челябинской области.

ЗП-2 – Пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта «Эритроспериум 59», выращенная в степной зоне Брединского муниципального района Челябинской области.

ЗПк – контрольные образцы зерна пшеницы, которые обеззараживались ХПИ и проращивались согласно методологии эксперимента без УЗВ.

ЗПузв – опытные образцы, которые после обеззараживания ХПИ помещались в гидромодуль для замачивания и подвергались УЗВ мощностью 378 Вт при экспозиции 3 мин.

КПЗП – контролируемое проращивание зерна пшеницы.

ПЗП – пророщенное зерно пшеницы.

ЦСМ – цельносмолотая мука.

ФН – фаза набухания.

ФТР – фаза точки роста.

ФР – фаза ростка.

ФФОР – фаза формирования органов ростка.

МПХ – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, производитель – ООО «Объединение „Союзпищепром“», г. Челябинск.

СМ-1 – модельные смеси муки, полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в соотношении 90:10.

СМ-2 – модельные смеси муки, полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в соотношении 80:20.

СМ-3 – модельные смеси муки, полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в соотношении 70:30.

СМ-4 – модельные смеси муки, полученные путем смешивания муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и ЦСМПЗП в соотношении 60:40.

ПТк – пшеничное тесто из муки первого сорта, полученное по стандартной рецептуре и технологии, согласно ГОСТ 27669.

ПТузв-1 – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии, согласно ГОСТ 27669, полученное путем замены 10 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ.

ПТузв-2 – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии, согласно ГОСТ 27669, полученное путем замены 20 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ.

ПТЦузв – пшеничное тесто из муки первого сорта, произведенное по стандартной рецептуре и технологии, согласно ГОСТ 27669, полученное путем замены 18 % сортовой муки на ЦСМПЗП и воды, обработанной УЗВ.

ХБИк – хлебобулочное изделие из пшеничной муки первого сорта (контроль).

ХБИц – хлебобулочное изделие из пшеничной муки первого сорта с заменой 18 % муки на ЦСМПЗП и предварительной подготовкой воды посредством УЗВ.

МБИк – мелкоштучное булочное изделие из пшеничной муки первого сорта (контроль).

МБИц – мелкоштучное булочное изделие из пшеничной муки первого сорта с заменой 14 % муки на ЦСМПЗП и предварительной подготовкой воды посредством УЗВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авылов, Ч. Влияние стресс-факторов на резистентность организма свиней / Ч. Авылов // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2006. – № 3. – С. 46–47.
2. Агеева, Н. В. Производство конкурентоспособной кондитерской продукции на основе комплексного внедрения схем управления качеством и безопасностью готовых изделий / Н. В. Агеева, В. К. Кочетов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – № 4 (364). – С. 76–80.
3. Аксенов, В. В. Снижение микробиологической зараженности зерновых крахмалоносов обработкой коронным разрядом / В. В. Аксенов, Е. Г. Порсев // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 12. – С. 175–180.
4. Алехина, Н. Н. Хлеб повышенной пищевой ценности на основе закваски из биоактивированного зерна пшеницы : монография / Н. Н. Алехина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева. – Воронеж : ВГУИТ, 2016. – 228 с. – ISBN 978-5-00032-167-6.
5. Амирджанова, В. Н. Популяционные показатели качества жизни по опроснику SF-36 (результаты многоцентрового исследования качества жизни «МИРАЖ») / В. Н. Амирджанова, Д. В. Горячев, Н. И. Коршунов [и др.] // Научно-практическая ревматология. – 2008. – № 1. – С. 36–48.
6. Анисимова, Л. В. Реологические свойства теста из смеси пшеничной и люпиновой муки / Л. В. Анисимова, Е. С. Серебrenикова, В. Е. Бондаренко, В. Ю. Басов // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 40–44.
7. Байгарин, Е. К. Содержание пищевых волокон в пищевых продуктах растительного происхождения / Е. К. Байгарин, Ю. В. Ведищева, В. В. Бессонов, А. В. Селифанов // Вопросы питания. – 2006. – № 3. – С. 42–44.
8. Барышникова, Н. И. Разработка системы управления безопасностью на основе принципов ХАССП при производстве хлеба из пшеничной муки / Н. И. Барышникова, И. Ю. Резниченко, Е. С. Вайскрובה. – DOI: 10.21603/2074-

9414-2017-4-115-122 // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 47, № 4. – С. 115–122.

9. Бастриков, Д. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании / Д. Бастриков, Г. Панкратов // Хлебопродукты. – 2006. – № 1. – С. 40–41.

10. Бегеулов, М. Ш. Применение амарантовой муки в хлебопечении / М. Ш. Бегеулов. – DOI: 10.32462/0235-2508-2019-30-8-41-45 // Хлебопродукты. – 2019. – № 8. – С. 41–45.

11. Бегеулов, М. Ш. Рационализация питания человека путем расширения ассортимента хлебобулочных изделий / М. Ш. Бегеулов // Хлебопечение России. – 2002. – № 2. – С. 24–25.

12. Белокурова, Е. В. Способы оценки угроз безопасности конфиденциальной информации для информационно-телекоммуникационных систем / Е. В. Белокурова, А. А. Дерканосова, А. А. Змеев, А. П. Сидельников // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – № 2. – С. 86–91.

13. Богатырева, Т. Г. Влияние пшеничных заквасок на микроструктуру теста / Т. Г. Богатырева, Е. В. Белавцева, С. С. Маненков // Хлебопечение России. – 2003. – № 11. – С. 13–14.

14. Боев, В. Ф. Использование акустических колебаний для интенсификации процессов обработки воды в системах водоподготовки / В. Ф. Боев // Ультразвуковые технологические процессы – 98 : тез. докл. науч.-техн. конф. – Москва : МАДИ(ТУ), 1998. – С. 73–76.

15. Болтенко, Ю. А. Определение реологических свойств мякиша хлебобулочных изделий / Ю. А. Болтенко // Хлебопродукты. – 2008. – № 12. – С. 58–59.

16. Буданина, Л. Н. Применение методов термического анализа для идентификации состава эмульсионных жировых продуктов / Л. Н. Буданина, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 103–108.

17. Быкова, Н. Ю. Оценка технологических свойств зерна ржи и продуктов его переработки / Н. Ю. Быкова, В. Я. Черных, А. В. Осипова, А. Д. Терехов // Хлебопродукты. – 2016. – № 6. – С. 42–47.

18. Валишина, Г. Л. Расширение ассортимента пищевых продуктов путем применения муки функционального назначения / Г. Л. Валишина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 11. – С. 30–32.

19. Верещагин, А. Л. Влияние кислот цикла Кребса на свойства хлебопекарных дрожжей и качество хлеба / А. Л. Верещагин, В. В. Ерёмина, А. Н. Паседкина [и др.] // Хлебопродукты. – 2016. – № 7. – С. 66–67.

20. Верещагин, А. Л. О механизме ростостимулирующего действия сверхмалых доз природных органических кислот / А. Л. Верещагин, В. В. Кропоткина, А. Н. Хмелева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1(63). – С. 46–48.

21. Верхотуров, В. В. Роль низкомолекулярных антиоксидантов и пероксидазы в механизме прорастания семян пшеницы / В. В. Верхотуров, Г. В. Пинигина // Научное сопровождение образовательного процесса агровуза : сб. материалов науч.-практ. конф. – Якутск : ЯГСХА, 2001. – С. 42–43.

22. Верхотуров, В. В. Состояние антиоксидантной системы ячменя при замачивании и солодоращении / В. В. Верхотуров, В. К. Топорищева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 9. – С. 26–30.

23. Веселова, А. Ю. Интенсификация предварительной подготовки злаковых культур в условиях разработки новой технологии / А. Ю. Веселова // Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т. 2, № 6(7). – С. 27–37.

24. Вигмор, Э. Проростки – пища жизни / Э. Вигмор. – Санкт-Петербург : ВЕСЬ, 2001. – 208 с. – ISBN 5-266-00131-3.

25. Виноградов, А. Хлеб в торговле / А. Виноградов // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2019. – № 9–10. – С. 14–21.

26. Волохова, Т. П. Влияние ультразвуковой обработки зерна и воды в мукомольном процессе на хлебопекарные свойства пшеничной муки / Т. П. Волохова

ва, С. Д. Шестаков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – № 5. – С. 32–34.

27. Галочкина, Н. А. Современные подходы и механизмы биоактивации растительных культур при проращивании / Н. А. Галочкина, М. А. Клиновая, Е. А. Лаптиёва // Студенческий научный форум : материалы V Междунар. студенч. электрон. науч. конф. – Москва : Российская академия естествознания, 2014. – URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632> (дата обращения: 03.02.2014).

28. Гинзбург, А. С. Влага в зерне / А. С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Козаков, Г. С. Окунь, В. А. Резчиков. – Москва : Колос, 1969. – 224 с.

29. Глотова, И. А. Влияние источников селена на биохимические процессы при набухании и прорастании зерна пшеницы / И. А. Глотова, Н. А. Галочкина. – DOI: 10.14258/jscrpm.2017041849 // Химия растительного сырья. – 2017. – № 4. – С. 211–216.

30. Гончаров, Ю. В. Совершенствование технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы / Ю. В. Гончаров, С. Я. Корячкина, Е. А. Кузнецова // Современные аспекты и проблемы рациональной экономики : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. : в 4 кн. / под ред. Н. И. Лыгиной. – Орел : ГИЭТ, 2005. – Кн. 4. – С. 61–63.

31. Горячева, А. Ф. Сохранение свежести хлеба / А. Ф. Горячева, Р. В. Кузьминский. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 240 с.

32. Губаненко, Г. А. Технология переработки ростков пшеницы с получением порошка из выжимок с высоким содержанием биологически активных веществ / Г. А. Губаненко, Е. А. Речкина, Л. В. Наймушина [и др.]. – DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-154-161 // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81, № 2 (80). – С. 154–161.

33. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации : [утверждена указом Президента Рос. Федерации от 30 января 2010 г. № 120] // Гарант: информационно-правовой портал. – URL: <https://base.garant.ru/12172719> (дата обращения: 03.02.2014).

34. Долгов, В. А. Оценка и взаимосвязь параметров токсичности различных веществ для инфузорий тетрахимена пириформис и белых крыс / В. А. Долгов, С. А. Лавина, Д. В. Никитченко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2014. – № 2. – С. 58–65.

35. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. : [утверждена распоряжением Правительства Рос. Федерации от 10 августа 2019 г. № 1796-р] // Гарант: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72522534> (дата обращения: 03.02.2014).

36. Донченко, Л. В. Обогащение хлеба биологически активными веществами профилактического назначения / Л. В. Донченко, Н. В. Сокол, Л. Г. Влащик. – DOI: 10.21515/1990-4665-125-041 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. – № 125. – С. 597–610. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/41.pdf> (дата обращения: 27.08.2019).

37. Дудко, М. А. Биотехнологические приемы повышения качества зернового хлеба / М. А. Дудко, Н. В. Сокол // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. ст. по материалам II Науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / отв. за вып. А. А. Нестеренко. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 233–238.

38. Дудко, М. А. Разработка технологии зернового хлеба повышенной пищевой и биологической ценности на основе новых высокобелковых сортов и линий пшеницы селекции КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко / М. А. Дудко, Н. В. Сокол // Якаевские чтения 2016 : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. Ю. Г. Макаренко. – Краснодар : ИМСИТ, 2016. – С. 215–218.

39. Евдокимов, А. П. Воздействие бактерицидного ультрафиолетового излучения на микрофлору зерна пшеницы / А. П. Евдокимов, И. Ю. Подковыров, Т. А. Кузнецова // Стратегическое ориентиры инновационного развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. : в 5 ч. – Волгоград : Волгогр. гос. аграр. ун-т, 2016. – Ч. 2. – С. 320–326.

40. Елисеева, Л. Г. Формирование показателей качества и пищевой ценности пшеничного хлеба с применением муки киноа / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 2–3 (368–369). – С. 35–38.

41. Елисеева, С. И. Контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на хлебозаводах / С. И. Елисеева. – Москва : Агропроиздат, 1987. – 192 с.

42. Ефимочкина, Н. Р. Токсигенные свойства микроскопических грибов / Н. Р. Ефимочкина, И. Б. Седова, С. А. Шевелева, В. А. Тутельян. – DOI: 10.17223/19988591/45/1 // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2019. – № 45. – С. 6–33.

43. Жиркова, Е. В. Исследование биодоступности пищевых веществ хлеба из пшеничной муки с добавлением овощных порошков / Е. В. Жиркова, И. Б. Леонова, Т. И. Крячко [и др.]. – DOI: 10.32462/0235-2508-2019-29-7-42-45 // Хлебопродукты. – 2019. – № 7. – С. 42–45.

44. Зверева, Л. Ф. Технология и технохимический контроль хлебопекарного производства / Л. Ф. Зверева, З. С. Немцова, Н. П. Волкова. – Москва : Пищевая промышленность, 1983. – 143 с.

45. Игнатьев, А. Д. Использование инфузории тетрахимены пириформис как тест-объекта при биологических исследованиях в сельском хозяйстве / А. Д. Игнатьев, В. Я. Шаблий. – Москва : ВНИИТЭИСХ, 1978. – 51 с.

46. Казаков, Е. Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е. Д. Казаков, Г. П. Карпиленко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2005. – 512 с. – ISBN 5-901065-82-4.

47. Казакова, А. С. Физиологические основы особенностей прорастания семян различающихся по устойчивости к засухе сортов ярового ячменя / А. С. Казакова, М. В. Гайдаш, С. Ю. Козяева // Современная физиология растений: от молекул до экосистем : материалы докл. междунар. конф. : в 3 ч. – Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2007. – Ч. 1. – С. 165–166.

48. Казённова, Н. К. Изменение химического состава зерновых продуктов при проращивании / Н. К. Казённова, Д. В. Шнейдер, И. В. Казёнов // Хлебопродукты. – 2013. – № 10. – С. 55–57.

49. Калинина, И. В. Применение эффектов ультразвукового кавитационного воздействия как фактора интенсификации извлечения функциональных ингредиентов / И. В. Калинина, Р. И. Фаткуллин. – DOI: 10.14529/food160108 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 64–70.

50. Козьмина, Н. П. Биохимия хлебопечения / Н. П. Козьмина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Пищевая промышленность, 1978. – 278 с.

51. Корячкин, В. П. Разработка технологий производства мучных кондитерских изделий из песочного теста на ржаной муке с учетом реологических свойств полуфабрикатов / В. П. Корячкин, С. Я. Корячкина, В. В. Румянцева // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 7. – С. 68–74.

52. Корячкина, С. Я. Контроль хлебопекарного производства : учеб. пособие для вузов / С. Я. Корячкина, Н. В. Лабутина, Н. А. Березина, Е. В. Хмелёва. – Орел : ОрелГТУ, 2010. – 705 с. – ISBN 978-5-93932-240-9.

53. Корячкина, С. Я. Совершенствование технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы / С. Я. Корячкина, Е. А. Кузнецова, Ю. В. Гончаров, Г. И. Конова // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2006. – № 5. – С. 372–376.

54. Косован, А. П. Анализ и перспективы развития рынка хлебобулочных изделий в России и за рубежом / А. П. Косован, И. И. Шапошников // Хлебопродукты. – 2015. – № 7. – С. 8–10.

55. Кочетов, В. К. Критерии оценки риска потенциальных опасностей сырьевых компонентов / В. К. Кочетов, Н. В. Агеева // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2019. – № 3–4 (180). – С. 16–18.

56. Краус, С. В. Обзор хлебопекарной отрасли России / С. В. Краус // Хлебопродукты. – 2017. – № 2. – С. 4–7.

57. Кузнецова, Л. И. Разработка биотехнологии пшеничного хлеба высокого качества и микробиологической стойкости для условий дискретного производства / Л. И. Кузнецова, О. А. Савкина, О. И. Парахина [и др.]. – DOI: 10.32462/0235-2508-2018-0-12-38-41 // Хлебопродукты. – 2018. – № 12. – С. 38–41.

58. Курганова, Е. В. Разработка технологии функциональных продуктов на основе пророщенного зерна / Е. В. Курганова, А. Л. Ишевский // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 3. – С. 114–122. – URL: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10436.pdf> (дата обращения: 03.08.2018).

59. Лабораторный практикум по общей технологии пищевых производств / [А. А. Виноградова и др.] ; под ред. Л. П. Ковальской. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 334 с. – ISBN 5-10-002282-5.

60. Леонова, С. Разработка технологии национального крупяного продукта из пророщенного зерна / С. Леонова, А. Нигматьянов, М. Фазылов // Хлебопродукты. – 2010. – № 9. – С. 48–49.

61. Максимова, И. Г. Проростки зерна – лекарство от рака / И. Г. Максимова. – Санкт-Петербург : Невский проспект, 2002. – 124 с. – ISBN 5-94371-072-8.

62. Марадудин М. С. Влияние концентрации муки фасоли на хлебопекарные свойства теста из композитной смеси на основе муки пшеничной высшего сорта / М. С. Марадудин, И. В. Симакова, Я. И. Шелкова // Технологии и продукты здорового питания : сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – С. 69–76.

63. Матвеева, Т. В. Влияние кукурузной и рисовой муки на качество изделий из бисквитного теста / Т. В. Матвеева, С. Я. Корякина, В. П. Корякин, Е. И. Стручкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2008. – № 4. – С. 32–34.

64. Матвеева, Т. В. Реологические свойства бисквитного теста из ячменной и овсяной муки / Т. В. Матвеева, В. П. Корякин, С. Я. Корякина, Е. В. Агаркова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 10. – С. 30–32.

65. Матвеева, Т. В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий : монография / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2012. – 947 с. – ISBN 978-5-93932-457.

66. Мачехина, Л. И. Научное обоснование развития перспективных технологий хранения зерна / Л. И. Мачехина // Хлебопродукты. – 2012. – № 2. – С. 36–39.

67. Медведев, П. В. Информационные технологии для повышения точности оценки качества продуктов переработки зерна / П. В. Медведев, С. С. Тарасенко, В. А. Федотов. – DOI: 10.32462/0235-2508-2019-30-8-54-57 // Хлебопродукты. – 2019. – № 8. – С. 54–57.

68. Медведев, П. В. Методологические подходы к управлению качеством хлебобулочных изделий / П. В. Медведев, В. А. Федотов. – DOI: 10.32462/0235-2508-2019-28-12-55-59 // Хлебопродукты. – 2019. – № 12. – С. 55–59.

69. Медведев, П. В. Системный подход к управлению качеством хлебобулочных изделий / П. В. Медведев, В. А. Федотов // Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург : ОГУ, 2018. – С. 16–22.

70. Медведев, П. В. Совершенствование методологии оценки технологических свойств зерна и прогнозирования качества хлебобулочных изделий / П. В. Медведев, В. А. Федотов. – DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10307 // Новые технологии. – 2019. – № 3 (49). – С. 73–85.

71. Мелешкина, Е. П. Актуальные вопросы качества зерна / Е. П. Мелешкина. – DOI: 10.32462/0235-2508-2018-0-10-42-44 // Хлебопродукты. – 2018. – № 10. – С. 42–45.

72. Мелешкина, Е. П. Некоторые вопросы определения в зерне вредной примеси, начиная с 1 июля 2018 г. / Е. П. Мелешкина // Хлебопродукты. – 2018. – № 9. – С. 16–17.

73. Мелешкина, Е. П. О необходимости производства зерна пшеницы-улучшителя / Е. П. Мелешкина. – DOI: 10.32462/0235-2508-2018-0-12-18-20 // Хлебопродукты. – 2018. – № 12. – С. 18–20.

74. Мелешкина, Е. П. Современные требования, предъявляемые к качеству зерна пшеницы и пшеничной муки / Е. П. Мелешкина. – DOI: 10.32462/0235-2508-2018-0-10-14-15 // Хлебопродукты. – 2018. – № 10. – С. 14–15.

75. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека : [сайт]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 (дата обращения: 01.12.2015).

76. МР 2.3.2.2571-10. Обогащение витаминно-минеральными комплексами массовых сортов хлебобулочных изделий, вырабатываемых по национальным стандартам // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека : [сайт]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4597 (дата обращения: 01.12.2015).

77. МР 5.1.0096-14. Методические подходы к организации оценки процессов производства (изготовления) пищевой продукции на основе принципов ХАССП. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. – 35 с.

78. Муртазина, И. Р. Качество жизни и личностные характеристики взрослых в контексте здорового образа жизни / И. Р. Муртазина // Мир науки. Педагогика и психология. – 2019. – № 1. – URL: <https://mir-nauki.com/PDF/03PSMN-119.pdf> (дата обращения: 10.10.2019).

79. Нилова, Л. П. Влияние технологических факторов на качество и антиоксидантную активность обогащенных хлебобулочных изделий / Л. П. Нилова. – DOI: 10.14529/food160107 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 55–63.

80. Нилова, Л. П. Инновационные пищевые продукты в формировании региональных товарных систем / Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова. – DOI: 10.12731/2070-7568-2016-5-161-174 // Наука Красноярья. – 2016. – № 5(38). – С. 161–174.

81. Нилова, Л. П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учебное пособие / Л. П. Нилова. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2005. – 416 с. – ISBN 5-901065-88-3.

82. О безопасности зерна : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011. – URL: http://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n_24/tr-ts-0152011 (дата обращения: 30.10.2019).

83. О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 027/2012. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения: 30.10.2019).

84. О безопасности пищевой продукции : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. – URL: http://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n_2/tr-ts-0212011 (дата обращения: 30.10.2019).

85. О безопасности упаковки : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011. – URL: http://www.tsouz.ru/kts/kts30/documents/p_769_1.pdf (дата обращения: 30.10.2019).

86. Общая технология пищевых производств / [Л. П. Ковальская, Г. М. Мелькина, Г. Г. Дубцов, В. И. Дробот] ; под ред. Л. П. Ковальской. – Москва : Колос, 1993. – 384 с. – ISBN 5-10-002846-7.

87. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г. : [утверждены распоряжением Правительства Рос. Федерации от 25 октября 2010 г. № 1873-р] // Гарант: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12079847/> (дата обращения: 10.10.2019).

88. Падерина, А. П. Инновационная технология получения функциональных ингредиентов для мучных кондитерских изделий / А. П. Падерина // Научный вклад молодых ученых в развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК : сб. науч. тр. / ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии. – Москва : Интеллект-Центр, 2013. – С. 325–328.

89. Паландова, Р. Д. Применение пищевых добавок в хлебопечении / Р. Д. Паландова // Хлебопечение России. – 1996. – № 1. – С. 10–12.

90. Паседкина, А. Н. Влияние ультразвуковой обработки и янтарной кислоты в сверхмалых концентрациях на активность прессованных хлебопекарных дрожжей / А. Н. Паседкина, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // Товарный консалтинг и аудит потребительского рынка : материалы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. – Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2016. – С. 166–170.

91. Пастушкова, Е. В. Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов / Е. В. Пастушкова, Н. В. Заворохина, А. В. Вяткин. – DOI: 10.14529/food160412 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 4. – С. 105–113.

92. Патент № 2707944 Российская Федерация, МПК А21D 8/02 (2006.01). Способ обеззараживания зерна : № 2019124649 ; заявл. 31.07.2019 ; опубл. 02.12.2019 / Потороко И. Ю., Наumenко Н. В., Лейви А. Я., Калинина И. В. – 10 с.

93. Патент № 2171568 Российская Федерация, МПК А01F 25/00, В02В 1/08, 1/04, 1/06, А23L 3/30. Способ обработки зерна перед его закладкой на хранение либо при переработке зерна в муку : № 2000105145/13 ; заявл. 01.03.2000 ; опубл. 10.08.2001/ Волохова Т. П., Шестаков С. Д. – 10 с.

94. Патент № 2181106 Российская Федерация, МПК С02F 1/46, 1/48 (2006.01). Способ электрохимической обработки водосодержащих сред и устройство для его осуществления : № 2000108604/12 ; заявл. 05.04.2000 ; опубл. 10.04.2002 / Плитман В. Л., Крымский В. В., Смолко В. А., Шатин А. Ю. – 8 с.

95. Патент № 2216175 Российская Федерация, МПК А21D 13/02, 2/00 (2006.01). Способ производства зернового хлеба : № 2000125970/13 ; заявл. 18.10.2000 ; опубл. 20.10.2002 / Черных В. Я., Лабутина Н. В., Фазлутдинова А. Н. – 7 с.

96. Патент № 2266654 Российская Федерация, МПК А21D 13/02 (2006.01), А21D 8/02(2006.01). Способ приготовления хлеба из различных видов зерновых

культур : № 2004123819/13 ; заявл. 05.08.2004 ; опубл. 27.12.2005 / Санина Т. В., Алехина Н. Н., Скорынина В. В. – 5 с.

97. Патент № 2330393 Российская Федерация, МПК H05H 1/00 (2008.07). Устройство для получения потока плазмы : № 2007104602/06 ; заявл. 06.02.2007 ; опубл. 27.07.2008 / Воронин А. В. – 11 с.

98. Патент № 2668096 Российская Федерация, МПК A21D 8/02 (2006.01). Способ производства хлеба : № 22017141350 ; заявл. 27.11.2017 ; опубл. 26.09.2018 / Худяков В. В., Потороко И. Ю., Науменко Н. В. [и др.]. – 6 с.

99. Патент № 2690486 Российская Федерация, МПК A01C 1/00 (2006.01). Способ стимулирования прорастания зерна : № 2018134834 ; заявл. 01.10.2018 ; опубл. 03.06.2019 / Потороко И. Ю., Науменко Н. В., Калинина И. В. [и др.]. – 6 с.

100. Патент № 2723957 Российская Федерация, МПК A21D 2/36 (2006.01). Способ производства хлеба с использованием пророщенного зерна пшеницы : № 2019133259 ; заявл. 17.10.2019 ; опубл. 18.06.2020 / Потороко И. Ю., Науменко Н. В., Калинина И. В. – 12 с.

101. Патент РФ № 2373676 Российская Федерация, МПК A01C 1/00 (2006.01). Способ предпосевной обработки семян горчицы электромагнитным полем сверхвысокой частоты : № 2008117268/13% ; заявл. 29.04.2008 ; опубл. 27.11.2009 / Мещеряков А. В., Бастрон А. В., Цугленок Н. В. [и др.]. – 7 с.

102. Пащенко, Л. П. Технология хлебобулочных изделий / Л. П. Пащенко, И. М. Жаркова. – Москва : Колос, 2006. – 389 с.

103. Пащенко, Л. П. Электрохимия в технологии хлеба, макаронных и кондитерских изделий / Л. П. Пащенко, Т. В. Санина, А. И. Бывальцев. – Воронеж : ВГТА, 2001. – 233 с.

104. Перечень пищевых ингредиентов, необходимых для производства основных видов пищевой продукции : [утвержден приказом Минсельхоза России от 19 февраля 2018 г. № 70 // КонсультантПлюс: справочно-правовой портал. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291644 (дата обращения: 03.02.2014).

105. Петриченко, В. В. Июньский прогноз урожая зерна 2018 г. – 115,6 млн т / В. В. Петриченко // Хлебопродукты. – 2018. – № 7. – С. 4–5.

106. Пищевая химия / [А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова и др.]; под ред. А. П. Нечаева. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2007. – 640 с. – ISBN 5-98879-011-9.

107. Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий : монография / [А. П. Косован и др.]. – Москва : ДеЛи плюс, 2013. – 526 с. – ISBN 978-5-905170-46-1.

108. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания : сб. ст. / под ред. В. А. Тутельяна, А. П. Нечаева. – Москва : ДеЛи плюс, 2013. – 520 с. – ISBN 978-5-905170-59-1.

109. Погожаева, А. В. Пищевые добавки в лечебно-профилактическом питании / А. В. Погожаева // Вопросы питания. – 1998. – № 1. – С. 39–42.

110. Позднякова, О. Г. Разработка технологии производства хлеба с добавлением солодовой муки / О. Г. Позднякова, Р. С. Клявзо, А. С. Романов // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово : Кемеровский ГСХИ, 2018. – С. 338–342. – URL: <http://ksai.ru/upload/files/sborniki/tendencii/2018/files/assets/basic-html/page338.html> (дата обращения: 03.08.2019).

111. Позняковский, В. М. Гигиенические основы питания и экспертизы продовольственных товаров / В. М. Позняковский. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1996. – 370 с. – ISBN 5-7615-0370-0.

112. Покровский, А. А. О биологической и пищевой ценности продуктов питания / А. А. Покровский // Вопросы питания. – 1975. – № 3. – С. 25–39.

113. Поландова, Р. Д. Картофельная болезнь хлеба: проблемы и современные способы предупреждения / Р. Д. Поландова, Т. Г. Богатырева, А. А. Атаев // Хлебопечение России. – 1998. – № 4. – С. 13–14.

114. Политика здорового питания. Федеральный и региональный уровни / [В. И. Покровский, Г. А. Романенко, В. А. Княжев и др.]. – Новосибирск : Сибирское унив. изд-во, 2002. – 344 с. – ISBN 5-94087-009-0.

115. Полякова, П. С. Методы и средства повышения микробиологической безопасности хлебобулочных изделий / П. С. Полякова // Хлебопечение России. – 2003. – № 6. – С. 3–5.
116. Попова, Е. П. Микроструктура зерна и семян / Е. П. Попова. – Москва : Колос, 1979. – 130 с.
117. Потороко, И. Ю. Использование возможностей регулирования состава микрофлоры продовольственных товаров электрофизическими методами воздействия / И. Ю. Потороко, Н. В. Науменко // Товаровед продовольственных товаров. – 2011. – № 2. – С. 6–10.
118. Потороко, И. Ю. Системный подход в технологии водоподготовки для пищевых производств / И. Ю. Потороко, Р. И. Фаткуллин, Л. А. Цирульниченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 153–158.
119. Потороко, И. Ю. Электрофизические методы в формировании потребительских свойств, качества и безопасности продовольственных товаров : монография / И. Ю. Потороко, Н. В. Науменко. – Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2011. – 159 с. – ISBN 978-5-696-04265-7.
120. Продовольственные потери и пищевые отходы в контексте устойчивых продовольственных систем : доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности. – Рим : ФАО, 2014. – 141 с. – URL: <http://www.fao.org/3/a-i3901r.pdf> (дата обращения: 04.09.2019).
121. Пугачев, С. И. Особенности акустических технологий, реализуемых в тонких слоях жидкости / С. И. Пугачев, Н. Г. Семенова // Ультразвуковые технологические процессы – 98 : тез. докл. науч.-техн. конф. – Москва : МАДИ(ТУ), 1997. – С. 33–36.
122. Работкин, Ю. В. Еще раз о цельносмолотой муке / Ю. В. Работкин, И. И. Шапошников // Хлебопродукты. – 2019. – № 8. – С. 10–11.

123. Речкина, Е. А. Перспективы использования пищевых волокон в пищевом производстве / Е. А. Речкина, Г. А. Губаненко, А. И. Машанов // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 1 (112). – С. 91–97.

124. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров : учебник / Т. Г. Родина. – Москва : Academia, 2004. – 208 с. – ISBN 5-7695-1380-2.

125. Роль пищевых волокон в питании человека / под ред. В. А. Тутельяна, А. В. Погожевой, В. Г. Высоцкого. – Москва : Фонд «Новое тысячелетие», 2008. – 326 с. – ISBN 5-86947-013-7.

126. Романов, А. Объективные признаки завершения процесса пропекания мякиша хлебобулочных изделий / А. Романов, Н. Мартыненко, В. Богер // Хлебопродукты. – 2011. – № 8. – С. 52–54.

127. Романова Х. С. Возрождение культуры питания – сохранение здоровья нации / Х. С. Романова, И. В. Симакова // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма : материалы VI Междунар. интернет-конф. – Орел : ОГУ, 2016. – С. 100–104. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27221762> (дата обращения: 03.08.2018).

128. Романова, Х. С. Исследование свойств муки сортовой фасоли селекции Омского ГАУ на основе ее микроструктуры / Х. С. Романова, И. В. Симакова, М. С. Марадудин, В. Н. Стрижевская // Пищевая промышленность. – 2018. – № 10. – С. 90–93.

129. Ростовская, М. Ф. Динамика азотистых веществ в процессе солодоращения зерна пшеницы с различным содержанием белка / М. Ф. Ростовская, А. Н. Извекова, Б. А. Алябьев, Ю. В. Приходько // Химия растительного сырья. – 2014. – № 2. – С. 261–266.

130. Румянцева, В. Хлебопекарное пшеничное тесто с применением нетрадиционного сырья / В. Румянцева, В. Корячкин, Т. Новикова, О. Миллер // Хлебопродукты. – 2009. – № 9. – С. 46–48.

131. Рябыкина, Н. В. Исследование апоптоза клеток белой крови и изменение лейкоцитарной формулы у старых самцов мышей при действии гипогидрата-

ционного стресса и α -токоферолацетата / Н. В. Рябыкина // Молодой ученый. – 2010. – № 12-1. – С. 57–59.

132. Санина, Т. В. Медико-биологическая оценка хлеба из биоактивированного зерна пшеницы / Т. В. Санина, М. И. Чубирко, Ю. С. Козлов [и др.] // Вопросы питания. – 2004. – № 2. – С. 25–28.

133. Сафронова, Т. Н. Новый вид функциональной добавки в пищевые продукты / Т. Н. Сафронова, О. М. Евтухова, И. В. Фаринкова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6. – С. 183–189.

134. Сафронова, Т. Н. Разработка технологических параметров проращивания зерна пшеницы / Т. Н. Сафронова, В. В. Казина, К. В. Сафронова. – DOI: 10.21179/2074-9414-2017-1-37-43 // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 44, № 1. – С. 37–43.

135. Сборник рецептур и технологических инструкций по приготовлению диетических и профилактических сортов хлебобулочных изделий. – Москва : Пищепромиздат, 1997. – 190 с.

136. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия / [сост. П. С. Ершов]. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1998. – 191 с. – ISBN 5-286-01365-1.

137. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия / сост. П. С. Ершов. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2000. – 191 с. – ISBN 5-286-01365-1.

138. Седова, И. Б. Анализ результатов мониторинга загрязнения микотоксинами продовольственного зерна урожаев 2005–2016 гг. / И. Б. Седова, М. Г. Киселева, З. А. Чалый [и др.] // Успехи медицинской микологии. – 2018. – Т. 19. – С. 329–330.

139. Седова, И. Б. Фузариотоксины и афлатоксин В1 в продовольственном зерне кукурузы в Российской Федерации / И. Б. Седова, Л. П. Захарова, М. Г. Киселева [и др.] // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 21. – С. 129–137.

140. Селезнева, А. А. Рециклинг отходов сокового производства витграсс / А. А. Селезнева, Д. В. Брошко, Г. А. Губаненко // Современная наука и инновации. – 2017. – № 4 (20). – С. 213–215.

141. Совершенствование технологий хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий функционального назначения : монография / [С. Я. Корячкина, Г. А. Осипова, Е. В. Хмелёва и др.], под ред. С. Я. Корячкиной. – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2012. – 262 с. – ISBN 978-5-93932-448-9.

142. Соглашение о единых принципах и правилах технического регулирования в Республике Беларусь, Республике Казахстан и Российской Федерации от 18 ноября 2010 г. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902253396> (дата обращения: 30.10.2019).

143. Сокол, Н. В. Технологические и хлебопекарные качества мягкой пшеницы для зернового хлеба / Н. В. Сокол, М. Лихобабина // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения : сб. тез. по материалам III Нац. конф. / отв. за вып. А. Г. Коцаев. – Краснодар : Кубанский гос. аграр. ун-т, 2019. – С. 112.

144. Солодников С. Ю. Оценка биологических свойств сока из ростков пшеницы. Разработка технологии его получения / С. Ю. Солодников, Г. А. Люшина, О. В. Колесова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38, № 3. – С. 63–69.

145. Сотникова, Е. Д. Изменения в системе крови при стрессе / Е. Д. Сотникова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2009. – № 1. – С. 50–55.

146. Спиричев, В. Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В. Б. Спиричев, Л. Н. Шатнюк, В. М. Позняковский ; под общ. ред. В. Б. Спиричева. – 2-е изд., стер. – Новосибирск : Сибирское унив. изд-во, 2005. – 548 с. – ISBN 5-94087-043-0.

147. Старовойтова, Я. Ю. Разработка национальных булочных изделий с овсяной мукой и растительными добавками / Я. Ю. Старовойтова, О. В. Чугунова, М. Н. Школьников, Е. А. Струпан // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 3 (138). – С. 181–188.

148. Степанова, Э. Ф. Использование экспресс-методов оценки биологической активности на культуре клеток при разработке фитопрепаратов адаптогенно-

го действия / Э. Ф. Степанова, И. Н. Андреева, М. А. Огай // Фармация на современном этапе – проблемы и достижения : науч. тр. НИИФ, т. XXXIX, ч. 1. – Москва, 2000. – С. 299–302.

149. СТО 46429990-116-2019. Хлебобулочные изделия с добавлением зерна и продуктов его переработки.

150. Стратегия повышения качества пищевой продукции Российской Федерации до 2030 г. : [утверждена распоряжением Правительства Рос. Федерации от 29 июня 2016 г. № 1364-р]. – URL: <http://government.ru/docs/all/107508/> (дата обращения: 30.10.2019).

151. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 г. : [утверждена распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17 апреля 2012 г. № 559-р]. – URL: <https://ssl.mcx.ru/upload/iblock/b82/b8214d389313777d6ece77e0d6d21824.pdf> (дата обращения: 30.10.2019).

152. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков, О. Н. Красуля, В. И. Бугуш, И. Ю. Потороко. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2013. – 152 с. – ISBN 978-5-98879-160-7.

153. Трисвятский, Л. А. Товароведение зерна и продуктов его переработки / Л. А. Трисвятский, И. С. Шатилов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1992. – 52 с. – ISBN 5-10-001453-9.

154. Трисвятский, Л. А. Хранение зерна / Л. А. Трисвятский. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

155. Тутельян, В. А. Здоровое питание – основа здорового образа жизни и профилактики хронических неинфекционных заболеваний / В. А. Тутельян, Д. Б. Никитюк, Х. Х. Шарафетдинов // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы : монография : в 5 т. / под ред. Н. Ф. Герасименко, П. В. Глыбочко, И. Э. Есауленко [и др.]. – Москва : Научная книга, 2019. – Т. 3. – С. 203–227.

156. Тутельян, В. А. Микотоксины (медицинские и биологические объекты) / В. А. Тутельян, Л. В. Кравченко. – Москва : Медицина, 1985. – 320 с.

157. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / [В. Н. Хмелев, Г. В. Леонов, Р. В. Барсуков и др.] ; науч. ред. А. Г. Овчаренко. – Барнаул : Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова, 2007. – 400 с. – ISBN 978-5-9257-0104-1.

158. Флин, Г. Физика акустической кавитации в жидкостях / Г. Флин // Физическая акустика : в 8 т. / под ред. У. Мэзона. – Москва : Мир, 1966–1970. – Т. 1, ч. Б : Методы и приборы ультразвуковых исследований. – 1967. – С. 7–138.

159. Хлесткина, Е. К. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно – мука – хлеб» / Е. К. Хлесткина, Т. А. Пшеничникова, Н. И. Усенко, Ю. С. Отмахова. – DOI: 10.18699/VJ15.140 // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 511–527.

160. Хмелев, В. Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве : монография / В. Н. Хмелев, О. В. Попова. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 1997. – 160 с. – ISBN 5-7568-0078-6.

161. Хмелев, В. Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В. Н. Хмелев, Г. В. Леонов, Р. В. Барсуков [и др.]. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с. – ISBN 978-5-9257-0104-1.

162. Хосни, Р. К. Зерно и зернопереработка / Р. К. Хосни ; пер. с англ. под общ. ред. Н. П. Черняева. – Санкт-Петербург : Профессия, 2006. – 330 с. – ISBN 5-93913-085-2.

163. Храпко, О. П. Исследование технологических свойств высокобелкового зерна пшеницы / О. П. Храпко, Н. В. Сокол, Н. С. Санжаровская, Ф. А. Колесников // Новые технологии. – 2019. – № 2. – С. 137–148.

164. Цугленок, Н. В. Система защиты зерновых и зернобобовых культур от семенных инфекций / Н. В. Цугленок, Г. И. Цугленок, А. П. Халанская. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2003. – 242 с. – ISBN 5-94617-010-4.

165. Цыганова, Т. Б. Предварительные мероприятия при внедрении принципов ХАССП на хлебопекарных предприятиях – основа качества и безопасности пищевой продукции / Т. Б. Цыганова, С. О. Смирнов // Хлебопечение России. – 2015. – № 6. – С. 34–36.

166. Цыганова, Т. Б. Программы предварительных требований ХАССП как основа обеспечения безопасного производства пищевой продукции / Т. Б. Цыганова, С. О. Смирнов // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство : сб. материалов II Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж : ВГУИТ, 2015. – С. 589–597.

167. Цыганова, Т. Б. Рациональные подходы к обеспечению безопасности продукции хлебопекарных предприятий на основе принципов ХАССП / Т. Б. Цыганова, Н. Г. Семенкина // Хлебопечение России. – 2015. – № 3. – С. 14–17.

168. Черемных, Е. Г. Инфузории пробуют пищу / Е. Г. Черемных, Е. И. Симбирева // Химия и жизнь. – 2009. – № 1. – С. 28–31.

169. Черных, В. Я. Влияние дисперсности пшеничной муки на ее технологические свойства и параметры замеса теста / В. Я. Черных, О. Н. Бердышникова, Е. В. Жирнова, В. Ю. Митин // Хлебопродукты. – 2015. – № 7. – С. 56–58.

170. Черных, В. Я. Изменение вязкости крахмального геля крупы и хлопьев из зерна пшеницы при тепловой обработке / В. Я. Черных, А. Ф. Доронин, С. Н. Панфилова, М. А. Ширшиков // Качество и безопасность продовольственного сырья и продуктов питания : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 18–19 декабря 2002 г.). – Москва : МГУПП, 2002. – С. 141–143.

171. Черных, В. Я. Управление хлебопекарными свойствами пшеничной муки / В. Я. Черных, Е. В. Жирнова // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2014. – № 10. – С. 12–14.

172. Шапошников, И. И. Анализ тенденций развития российского и зарубежного рынков хлебобулочных изделий / И. И. Шапошников, В. В. Мартиросян // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2018. – № 11–12. – С. 33–35.

173. Шапошников, И. И. Основные тенденции классификации развития мирового рынка снековых и экструзионных изделий / И. И. Шапошников, В. В. Мартиросян, А. П. Косован // Хлебопечение России. – 2019. – № 1. – С. 8–11.

174. Шестаков, С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков. – Москва : ЕВА-пресс, 2001. – 173 с. – ISBN 5-93262-022-1.

175. Шилкина, Е. Ингредиенты для улучшения качества хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Е. Шилкина // Хлебопродукты. – 2007. – № 12. – С. 40–42.

176. Шлеленко, Л. А. Современный ассортимент хлебобулочных изделий для профилактического и лечебного питания / Л. А. Шлеленко // Хлебопечение России. – 2005. – № 2. – С. 17–18.

177. Шнейдер, Д. Макароны из цельносмолотого и пророщенного зерна пшеницы / Д. Шнейдер // Хлебопродукты. – 2010. – № 8. – С. 46–47.

178. Шнейдер, Д. В. Метод определения биодоступности безглютенового сырья, макаронных и хлебобулочных изделий на тест-объектах – инфузориях *Tetrahymena pyriformis* / Д. В. Шнейдер, Н. К. Казёнова, И. В. Казёнов // Хлебопродукты. – 2012. – № 7. – С. 36–37.

179. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность : учеб.-справ. пособие / А. С. Романов, Н. И. Давыденко, Л. Н. Шатнюк [и др.] ; под общ. ред. В. М. Позняковского. – 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Сибирское унив. изд-во, 2009. – 280 с. – ISBN 978-5-379-01223-6.

180. Эльпинер, И. Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И. Е. Эльпинер. – Москва : Физматгиз, 1963. – 420 с.

181. Юсупова, Г. Г. Обеспечение микробиологической безопасности зернового хлеба / Г. Г. Юсупова, О. В. Синельникова // Хлебопечение России. – 2011. – № 1. – С. 22–23.

182. Яблучанский, Н. И. Индекс сдвига лейкоцитов крови как маркер реактивности организма при остром воспалении / Н. И. Яблучанский, В. А. Пилипенко, П. Г. Кондратенко // Лабораторное дело. – 1983. – № 1. – С. 60–61.

183. Яшин, Я. И. Антиоксиданты против болезней / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин, Н. И. Черноусова // Химия и жизнь – XXI век. – 2007. – № 11. – С. 24–27.

184. A review of human carcinogens. Part F: Chemical agents and related occupations / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. – Lyon : International Agency for Research on Cancer, 2012. – 599 p. – (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 100F). – ISBN 978-92-832-1323-9.

185. AACC Approved Methods of Analysis, 11th edition / Cereals & Grains Association (AACC). – URL: <http://methods.aaccnet.org/default.aspx> (last access: 01.07.2018).

186. Abdou, A. M. Relaxation and immunity enhancement effects of γ -Aminobutyric acid (GABA) administration in humans / A. M. Abdou, S. Higashiguchi, K. Horie [et al.]. – DOI: 10.1002/biof.5520260305 // BioFactors. – 2006. – Vol. 26. – P. 201–208.

187. Abe, Y. Effect of green tea rich in gamma-aminobutyric-acid on blood-pressure of Dahl salt-sensitive rats / Y. Abe, S. Umemura, K. Sugimoto [et al.]. – DOI: 10.1016/0895-7061(94)00141-w // American journal of hypertension. – 1995. – Vol. 8, iss. 1. – P. 74–79.

188. Adeghate, E. GABA in the endocrine pancreas: Cellular localization and function in normal and diabetic rats / E. Adeghate, A. S. Ponery. – DOI: 10.1054/tice.2002.0217 // Tissue cell. – 2002. – Vol. 34, iss. 1. – P. 1–6.

189. Adom, K. K. Antioxidant activity of grains / K. K. Adom, R. H. Liu. – DOI: 10.1021/jf0205099 // Journal of agricultural and food chemistry. – 2002. – Vol. 50. – P. 6182–6187.

190. Akins-Lewenthal, D. Supply chain management to maintain microbiological integrity of processed grain ingredients / D. Akins-Lewenthal. – DOI: 10.1094/cfw-57-3-0115 // Cereal foods world. – Vol. 57, iss. 3. – P. 115–117.

191. Akram, N. A. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance / N. A. Akram, F. Shafiq, M. Ashraf. – DOI: 10.3389/fpls.2017.00613 // *Frontiers in plant science*. – 2017. – Vol. 8. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00613/full> (дата обращения: 01.05.2019).

192. Andersen, G. Metabolic effects of bread fortified with wheat sprouts and bioavailability of ferulic acid from wheat bran / G. Andersen, P. Koehler, V. Somoza. – DOI: 10.1016/B978-0-12-380886-8.10046-7 // *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* / ed. by V. R. Preedy [et al.]. – London : Academic Press, 2011. – P. 507–517.

193. Aoshima, H. Modulation of GABA receptors expressed in *Xenopus* oocytes by 13-L-hydroxylinoleic acid and food additives / H. Aoshima, Y. Tenpaku // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. – 1997. – Vol. 61, iss. 12. – P. 2051–2057.

194. Araguás, C. Study on ochratoxin A in cereal-derived products from Spain / C. Araguás, E. González-Peñas, A. López de Certain. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.08.012 // *Food chemistry*. – 2005. – Vol. 92, iss. 3. – P. 459–464.

195. Ashokkumar, M. Applications of ultrasound in food and bioprocessing / M. Ashokkumar. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.012 // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2015. – Vol. 25. – P. 17–23.

196. Baier, M. Non-thermal atmospheric pressure plasma: screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce / M. Baier, M. Görgen, J. Ehlbeck [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ifset.2014.01.011 // *Innovative Food science & emerging technologies*. – 2014. – Vol. 22. – P. 147–157.

197. Baranzelli, J. Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination / J. Baranzelli, D. Hüttner Kringel, R. Colussi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.lwt.2017.12.070 // *LWT*. – 2018. – Vol. 90. – P. 483–490.

198. Basaran, P. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment / P. Basaran, N. Basaran-Akgul, L. Oksuz. –

DOI: 10.1016/j.fm.2007.12.005 // Food microbiology. – 2008. – Vol. 25, iss. 4. – P. 626–632.

199. Bech-Larsen, T. The perceived healthiness of functional foods / T. Bech-Larsen, K. G. Grunert. – DOI: 10.1016/S0195-6663(02)00171-X // Appetite. – 2003. – Vol. 40, iss. 1. – P. 9–14.

200. Bellaio, S. Partially germinated ingredients for naturally healthy and tasty products / S. Bellaio, S. Kappeler, E. Z. Rosenfeld, M. Jacobs. – DOI: 10.1094/cfw-58-2-0055 // Cereal foods world. – 2014. – Vol. 58, iss. 2. – P. 231–233.

201. Bermúdez-Aguirre, D. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce / D. Bermúdez-Aguirre, E. Wemlinger, P. Pedrow [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.04.022 // Food control. – 2013. – Vol. 34, iss. 1. – P. 149–157.

202. Bewley, J. D. Seed germination and dormancy / J. D. Bewley. – DOI: 10.1105/tpc.9.7.1055 // Plant cell. – 1997. – Vol. 9. – P. 1055–1066.

203. Bogaerts, P. Use of the ciliated protozoan *Tetrahymena pyriformis* for the assessment of toxicity and quantitative structure-activity relationships of xenobiotics: comparison with the microtox test / P. Bogaerts, J. Bohatier, F. Bonnemoy. – DOI: 10.1006/eesa.2001.2074 // Ecotoxicology and environmental safety. – 2001. – Vol. 49, iss. 3. – P. 293–301.

204. Bonnet, J. L. Assessment of the potential toxicity of herbicides and their degradation products to nontarget cells using two microorganisms, the bacteria *Vibrio fischeri* and the ciliate *Tetrahymena pyriformis* / J. L. Bonnet, F. Bonnemoy, M. Dusser, J. Bohatier. – DOI: 10.1002/tox.20237 // Environmental toxicology. – 2007. – Vol. 22, iss. 1. – P. 78–91

205. Boukroufa, M. Development of a green procedure of citrus fruits waste processing to recover carotenoids / M. Boukroufa, C. Boutekedjiret, F. Chemat. – DOI: 10.1016/j.reffit.2017.08.007 // Resource-efficient technologies. – 2017. – Vol. 3, iss. 3. – P. 252–262.

206. Bourdichon, F. Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use / F. Bourdichon, S. Casarégola, C. Farrokh [et al.]. – DOI:

10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.030 // International journal of food microbiology. – 2011. – Vol. 154. – P. 87–97.

207. Bressiani, J. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size / J. Bressiani, T. Oro, G. S. Santetti [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcs.2017.05.001 // Journal of cereal science. – 2017. – Vol. 75. – P. 269–277.

208. Bruschi, V. Consumer perception of organic food in emerging markets: Evidence from Saint Petersburg / V. Bruschi, K. Shershneva, D. Dolgoplova [et al.]. – DOI: 10.1002/agr.21414 // Agribusiness. – 2015. – Vol. 31, iss. 3. – P. 414–432.

209. Bushnell, W. Histology and physiology of *Fusarium* head blight / W. Bushnell, B. Hazen, C. Pritsch, K. Leonard // Fusarium head blight of wheat and barley / ed. by K. J. Leonard, W. R. Bushnell. – St. Paul, MN : APS Press, 2003. – P. 44–83.

210. Cai, L. Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation / L. Cai, I. Choi, J.-N. Hyun [et al.]. – DOI: 10.1094/cchem-02-13-0026-r // Cereal chemistry. – 2014. – Vol. 91. – P. 65–71.

211. Caputo, F. Gamma hydroxybutyric acid (GHB) for the treatment of alcohol dependence: a review / F. Caputo, T. Vignoli, I. Maremmanni [et al.]. – DOI: 10.3390/ijerph6061917 // International journal of environmental research and public health. – 2009. – Vol. 6, iss. 6. – P. 1917–1929.

212. Cereals and cereal products // Microbial ecology of foods, vol. 2: Food commodities / International Commission of Microbiological Specification for Foods (ICMSF). – New York : Academic press, 1980. – P. 699–730.

213. Cevallos-Casals, B. A. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species / B. A. Cevallos-Casals, L. Cisneros-Zevallos. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.030 // Food chemistry. – 2010. – Vol. 119, iss. 4. – P. 1485–1490.

214. Chalermchaiwat, P. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process / P. Chalermchaiwat, K. Jangchud,

A. Jangchud [et al.]. – DOI: 10.1016/J.LWT.2015.04.066 // LWT – Food science and technology. – 2015. – Vol. 64, iss. 1. – P. 490–496.

215. Champenois, Y. Influence of alpha-amylases on bread staling and on retrogradation of wheat starch models / Y. Champenois, G. della Valle, V. Planchot [et al.] // Sciences des aliments. – 1999. – Vol. 19. – P. 471–486.

216. Chebib, M. The ‘ABC’ of GABA receptors: a brief review / M. Chebib, G. A. R. Johnston. – DOI: 10.1046/j.1440-1681.1999.03151.x // Clinical and experimental pharmacology and physiology. – 1999. – Vol. 26, iss. 11. – P. 937–940.

217. Chemat, F. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction / F. Chemat, Zill-e-Huma, M. K. Khan. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023 // Ultrasonic sonochemistry. – 2011. – Vol. 18. – P. 813–835.

218. Chen, Z. Changes of phenolic profiles and antioxidant activity in canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) during germination / Z. Chen, L. Yu, X. Wang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.08.060 // Food chemistry. – 2016. – Vol. 194. – P. 608–618.

219. Chiu, K. Y. Use of ultrasonication to enhance pea seed germination and microbial quality of pea sprouts / K. Y. Chiu, J. M. Sung. – DOI: 10.1111/ijfs.12476 // International journal of food science and technology. – 2014. – Vol. 49, iss. 7. – P. 1699–1706.

220. Cornejo, F. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads / F. Cornejo, P. J. Cáceres, C. M. Villaluenga [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.037 // Food chemistry. – 2015. – Vol. 173. – P. 298–304.

221. Dasan, B. G. A new and simple approach for decontamination of food contact surfaces with gliding arc discharge atmospheric non-thermal plasma / B. G. Dasan, B. Onal-Ulusoy, J. Pawlat [et al.]. – DOI: 10.1007/s11947-016-1847-2 // Food and bio-process technology. – 2017. – Vol. 10, iss. 4. – P. 650–661.

222. De Roma, A. A survey on the aflatoxin M1 occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from southern Italy / A. De Roma, C. Rossini, A. Ritieni

[et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.05.034 // Food control. – 2017. – Vol. 81. – P. 30–33.

223. Delcour, J. A. Principles of cereal science and technology / J. A. Delcour, R. C. Hoseney. – 3rd ed. – St. Paul, MN : Association of cereal chemists, 2009. – 280 p. – ISBN 978-1891127632.

224. Devi, Y. Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts / Y. Devi, R. Thirumdas, C. Sarangapanu [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.02.019 // Food control. – 2017. – Vol. 77. – P. 187–191.

225. Diana, M. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review / M. Diana, J. Quílez, M. Rafecas. – DOI: 10.1016/j.jff.2014.07.004 // Journal of functional foods. – 2014. – Vol. 10. – P. 407–420.

226. Dietary guidelines for Americans 2015–2020 / U. S. Department of Health and Human Services, U. S. Department of Agriculture. – 8th ed. – URL: <http://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines> (last access 10.04.2019).

227. Ding, J. 5-Controlled germination for enhancing the nutritional value of sprouted grains / J. Ding, H. Feng. – DOI: 10.1016/B978-0-12-811525-1.00005-1 // Sprouted grains: nutritional value, production and applications / ed. by H. Feng [et al.]. – St. Paul, MN : Woodhead Publishing, 2019. – P. 91–112.

228. Ding, J. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication / J. Ding, G. G. Hou, B. V. Nemzer [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.128 // Food chemistry. – 2018. – Vol. 243. – P. 214–221.

229. Ding, J. Enhancement of gamma-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication / J. Ding, A. V. Ulanov, M. Dong [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.08.029 // Ultrasonics sonochemistry. – 2018. – Vol. 40. – P. 791–797.

230. Ding, J. Enhancement of γ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa* L.) treated with and without power ultrasound / J. Ding, J. Johnson, Y. F. Chu, H. Feng. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.136 // Food chemistry. – 2019. – Vol. 283. – P. 239–247.

231. Ding, J. Enhancing contents of γ -aminobutyric acid (GABA) and other micronutrients in dehulled rice during germination under normoxic and hypoxic conditions / J. Ding, T. Yang, H. Feng [et al.]. – DOI: 10.1021/acs.jafc.5b04859 // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2016. – Vol. 64. – P. 1094–1102.

232. Ding, J. Physicochemical properties of germinated dehulled rice flour and energy requirement in germination as affected by ultrasound treatment / J. Ding, G. G. Hou, M. Dong [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.10.010 // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2018. – Vol. 41. – P. 484–491.

233. Diosi, G. Role of the farinograph test in the wheat our quality determination / G. Diosi, M. More, P. Sipos. – DOI: 10.1515/ausal-2015-0010 // *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. – 2015. – Vol. 8, iss. 1. – P. 104–110.

234. Donkor, O. N. Germinated grains – sources of bioactive compounds / O. N. Donkor, L. Stojanovska, P. Ginn [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.058 // *Food chemistry*. – 2012. – Vol. 135, iss. 3. – P. 950–959.

235. Dornez, E. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels / E. Dornez, K. Gebruers, I. J. Joye [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcs.2007.03.008 // *Journal of cereal science*. – 2008. – Vol. 47, iss. 2. – P. 180–189.

236. Egmond, H. P. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003 / H. P. Egmond, P. van Hans, M. A. Jonker. – Rome : FAO, 2004. – ISBN 92-5-105162-3. – URL: <http://www.fao.org/3/y5499e/y5499e00.htm> (last access 02.08.2019).

237. Elez-Martínez, P. Effects of pulsed electric fields processing strategies on health-related compounds of plant-based foods / P. Elez-Martínez, I. Odriozola-Serrano, G. Oms-Oliu [et al.]. – DOI: 10.1007/s12393-017-9162-x // *Food engineering reviews*. – 2017. – Vol. 9. – P. 213–225.

238. Elleuch, M. Date flesh: chemical composition and characteristics of the dietary fibre / M. Elleuch, S. Besbes, O. Roiseux [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.036 // *Food chemistry*. – 2008. – Vol. 111, iss. 3. – P. 676–682.

239. Erdő, S. L. Peripheral GABAergic mechanisms / S. L. Erdő. – DOI: 10.1016/0165-6147(85)90096-3 // Trends in pharmacological sciences. – 1985. – Vol. 6. – P. 205–208.

240. Fardet, A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? / A. Fardet. – DOI: 10.1017/S0954422410000041 // Nutrition research reviews. – 2010. – Vol. 23. – P. 65–134.

241. Fernandez, A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology / A. Fernandez, E. Noriega, A. Thompson. – DOI: 10.1016/j.fm.2012.08.007 // Food microbiology. – 2013. – Vol. 33, iss. 1. – P. 24–29.

242. Figuerola, F. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment / F. Figuerola, M. L. Hurtado, A. M. Estévez [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.04.036 // Food chemistry. – 2005. – Vol. 91, iss. 3. – P. 395–401.

243. Gangadharappa, G. H. Chemical and scanning electron microscopic studies of wheat whole-meal and its streams from roller flour mill / G. H. Gangadharappa, R. Ramakrishna, P. Prabhasankar. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.07.018 // Journal of food engineering. – 2008. – Vol. 85. – P. 366–371.

244. Ganjian, E. Application of power ultrasound to cementitious materials: Advances issues and perspectives / E. Ganjian, A. Ehsani, T. J. Mason, M. Tyrer. – DOI: 10.1016/j.matdes.2018.09.043 // Materials & Design. – 2018. – Vol. 160. – P. 503–513.

245. García-Cela, E. Emerging risk management metrics in food safety: FSO, PO. How do they apply to the mycotoxin hazard? / E. García-Cela, A. J. Ramos, V. Sanchis, S. Marin. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2011.12.009 // Food control. – 2012. – Vol. 25. – P. 797–808.

246. Giacco, R. Whole grain intake in relation to body weight: from epidemiological evidence to clinical trials / R. Giacco, G. M. Della Pepa, D. Luongo, G. Riccardi. – DOI: 10.1016/j.numecd.2011.07.003 // Nutrition metabolism and cardiovascular diseases. – 2011. – Vol. 21. – P. 901–908.

247. Gooding, M. J. The wheat crop / M. J. Gooding // Wheat: chemistry and technology / ed. by K. Khan, P. R. Shewry. – 4th ed. – St. Paul, MN : AACC International, 2009. – P. 25–38.

248. Goussous, S. J. Enhancing seed germination of four crop species using an ultrasonic technique / S. J. Goussous, N. H. Samaram, A. M. Alqudah, M. O. Othman. – DOI: 10.1017/S0014479709991062 // Experimental agriculture. – 2010. – Vol. 46, iss. 2. – P. 231–242.

249. Goyal, A. Effects of ultraviolet irradiation, pulsed electric field, hot water and ethanol vapours treatment on functional properties of mung bean sprouts / A. Goyal, S. Siddiqui, N. Upadhyay, J. Soni. – DOI: 10.1007/s13197-011-0538-2 // Journal of food science and technology. – 2014. – Vol. 51, iss. 4. – P. 708–714.

250. Granados-Chinchilla, F. Aflatoxins occurrence through the food chain in Costa Rica: applying the one health approach to mycotoxin surveillance / F. Granados-Chinchilla, A. Molina, G. Chavarría [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.023 // Food control. – 2017. – Vol. 82. – P. 217–226.

251. Gray, J. A. Bread staling: molecular basis and control / J. A. Gray, J. N. Bemiller. – DOI: 10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x // Reviews in food science and food safety. – 2003. – Vol. 2. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x> (last access 03.08.2019).

252. Hackenberger, D. The effect of addition of bran into flour on composition and quality of wheat bread / D. Hackenberger, P. Grgesina, M. Serner // Znan. u proizvod. – 1992. – № 3. – P. 18–19.

253. Hagiwara, H. The effect of pre-germinated brown rice intake on blood glucose and PAI-1 levels in streptozotocin-induced diabetic rats / H. Hagiwara, T. Seki, T. Ariga. – DOI: 10.1271/bbb.68.444 // Bioscience, biotechnology and biochemistry. – 2004. – Vol. 68, iss. 2. – P. 444–447.

254. Han, H. M. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread / H. M. Han, B. K. Koh. – DOI: 10.1002/jsfa.4499 // Journal of the science of food and agriculture. – 2011. – Vol. 91, iss. 13. – P. 2495–2499.

255. Hathorna, C. S. Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers / C. S. Hathorna, M. A. Biswasb, P. N. Gichuhia, A. C. Bovell-Benjamin. – DOI: 10.1016/j.lwt.2007.06.020 // LWT. – 2008. – Vol. 41, iss. 5. – P. 803–815.

256. Hayakawa, K. Effect of γ -aminobutyric acid-enriched dairy product on the blood pressure of spontaneously hypertensive and normotensive Wistar-Kyoto rats / K. Hayakawa, M. Kimura, K. Kasaha [et al.]. – DOI: 10.1079/bjn20041221 // The British journal of nutrition. – 2004. – Vol. 92, iss. 3. – P. 411–417.

257. Hayakawa, K. Mechanism underlying gamma-aminobutyric acid-induced antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats / K. Hayakawa, M. Kimura, K. Kamata. – DOI: 10.1016/s0014-2999(02)01294-3 // European journal of pharmacology. – 2002. – Vol. 438, iss. 1–2. – P. 107–113.

258. Hellmann, H. Vitamin B6: a molecule for human health? / H. Hellmann, S. Mooney. – DOI: 10.3390/molecules15010442 // Molecules. – 2010. – Vol. 15, iss. 1. – P. 442–459.

259. Hemdane, S. Wheat milling by-products and their impact on bread making / S. Hemdane, S. Leys, P. J. Jacobs [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.048 // Food chemistry. – 2015. – Vol. 187. – P. 280–289.

260. Hoseney, R. C. Principles of cereal science and technology / R. C. Hoseney. – 2nd ed. – St. Paul, MN : American association of cereal chemists, 1994. – 378 p. – ISBN 978-0913250792.

261. Hübner, F. Germination of cereal grains as a way to improve the nutritional value: a review / F. Hübner, E. K. Arendt. – DOI: 10.1080/10408398.2011.562060 // Critical reviews in food science and nutrition. – 2013. – Vol. 53, iss. 8. – P. 853–861.

262. Hübner, F. The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley / F. Hübner, T. O’Neil, K. D. Cashman, E. K. Arendt. – DOI: 10.1007/s00217-010-1247-1 // European food research and technology. – 2010. – Vol. 231, iss. 1. – P. 27–35.

263. Hung, P. V. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities

/ P. V. Hung, D. W. Hatcher, W. Barker. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015 // Food chemistry. – 2011. – Vol. 126, iss. 4. – P. 1896–1901.

264. Inoue, K. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing gamma-aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives / K. Inoue, T. Shirai, H. Ochiai [et al.]. – DOI: 10.1038/sj.ejcn.1601555 // European journal of clinical nutrition. – 2003. – Vol. 57, iss. 3. – P. 490–495.

265. Jacobs, D. R. Whole-grain intake and cancer: an expanded review and meta-analysis / D. R. Jacobs, L. Marquart, J. Slavin, L. H. Kushi. – DOI: 10.1080/01635589809514647 // Nutrition and cancer. – 1998. – Vol. 30, iss. 2. – P. 85–96.

266. Jacobs, D. R. Whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in postmenopausal women: The Iowa Women's Health Study 2018 / D. R. Jacobs Jr., K. A. Meyer, L. H. Kushi, A. R. Folsom. – DOI: 10.1093/ajcn/68.2.248 // American journal of clinical nutrition. – 1998. – Vol. 68, iss. 2. – P. 248–257.

267. Jiménez, T. Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality / T. Jiménez, M. A. Martínez-Anaya. – DOI: 10.1106/7u5g-5akq-hvbq-4xa0 // Food science and technology international. – 2001. – Vol. 7, iss. 1. – P. 5–14.

268. Jiménez-Munguía, M. T. Mold spore inactivation during cavitation due to ultrasound treatments / M. T. Jiménez-Munguía, M. R. Arce-García, A. Argáiz [et al.] // Institute of Food Technologists Annual Meeting: technical program abstracts. – New Orleans : IFT, 2001. – P. 154.

269. Jonnalagadda, S. S. Putting the whole grain puzzle together: health benefits associated with whole grains – summary of American society for nutrition 2010 satellite symposium / S. S. Jonnalagadda, L. Harnack, R. H. Liu [et al.]. – DOI: 10.3945/jn.110.132944 // Journal of nutrition. – 2011. – Vol. 141, iss. 5. – P. 1011S–1022S.

270. Joye, I. J. In situ production of γ -aminobutyric acid in breakfast cereals / I. J. Joye, L. Lamberts, K. Brijs, J. A. Delcour. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.04.090 // Food chemistry. – 2011. – Vol. 129. – P. 395–401.

271. Kara, G. N. Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in cereal flours commercialised in Turkey / G. N. Kara, F. Ozbey, B. Kabak. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.02.014 // Food control. – 2017. – Vol. 54. – P. 275–281.

272. Karunakaran, C. Safe storage time of high moisture wheat / C. Karunakaran, W. E. Muir, D. S. Jayas [et al.]. – DOI: 10.1016/S0022-474X(00)00033-3 // Journal of stored products research. – 2001. – Vol. 37, iss. 3. – P. 303–312.

273. Khlangwiset, P. Aflatoxins and growth impairment: a review / P. Khlangwiset, G. S. Shephard, F. Wu. – DOI: 10.3109/10408444.2011.575766 // Critical reviews in toxicology. – 2011. – Vol. 41, iss. 9. – P. 740–755.

274. Khmelev, V. N. Ultrasonic drying and pre sowing treatment of seeds / V. N. Khmelev, A. N. Lebedev, M. V. Khmelev. – DOI: 10.1109/sibedm.2006.231294 // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM-2006. – Novosibirsk, 2006. – P. 251–253.

275. Kihlberg, I. Sensory qualities of whole wheat a bread e influence of farming system, milling, and baking technique / I. Kihlberg, L. Johansson, A. Kohler, E. Risvik. – DOI: 10.1016/s0733-5210(03)00067-5 // Journal of cereal science. – 2004. – Vol. 39, iss. 1. – P. 67–84.

276. Komyshev, E. Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping / E. Komyshev, M. Genaev, D. Afonnikov. – DOI: 10.3389/fpls.2016.01990 // Frontiers in plant science. – 2017. – Vol. 7. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01990/full> (last access: 04.08.2019).

277. Kook, M. C. Production of GABA (gamma amino butyric acid) by lactic acid bacteria / M. C. Kook, S. C. Cho. – DOI: 10.5851/kosfa.2013.33.3.377 // Korean journal for food science of animal resources. – 2013. – Vol. 33, iss. 3. – P. 377–389.

278. Kovalsky, P. Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize – an extensive survey / P. Kovalsky, G. Kos, K. Nährer [et al.]. – DOI: 10.3390/toxins8120363 // Toxins. – 2016. – Vol. 8, iss. 12. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6651/8/12/363> (last access: 04.08.2019).

279. Krasulya, O. Impact of acoustic cavitation on food emulsions / O. Krasulya, V. Bogush, V. Trishina [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.013 // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2016. – Vol. 30. – P. 98–102.

280. Kruger, J. E. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking / J. E. Kruger, R. R. Matsuo // *Cereal chemistry*. – 1982. – Vol. 59, iss. 1. – P. 26–31.

281. Kuriyama, K. Blood-brain barrier to H³- γ -aminobutyric acid in normal and amino oxyacetic acid-treated animals / K. Kuriyama, P. Y. Sze. – DOI: 10.1016/0028-3908(71)90013-X // *Neuropharmacology*. – 1971. – Vol. 10, iss. 1. – P. 103–108.

282. Laca, A. Distribution of microbial contamination within cereal grains / A. Laca, Z. Mousia, M. Díaz [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.12.012 // *Journal of food engineering*. – 2006. – Vol. 72, iss. 4. – P. 332–338.

283. Lacombe, A. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes / A. Lacombe, B. A. Niemira, J. B. Gurtler [et al.]. – DOI: 10.1016/j.fm.2014.09.010 // *Food microbiology*. – 2015. – Vol. 46. – P. 479–484.

284. Lai, C. S. Effects of wheat bran in breadmaking / C. S. Lai, R. C. Hoseney, A. B. Davis // *Cereal chemistry*. – 1989. – Vol. 66, iss. 3. – P. 217–219.

285. Lamberts, L. Dynamics of γ -aminobutyric acid in wheat flour bread making / L. Lamberts, I. Joye, T. Beliën, J. Delcour. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.004 // *Food chemistry*. – 2012. – Vol. 130, iss. 4. – P. 896–901.

286. Le-Bail, A. Impact of the chilling conditions on the kinetics of staling of bread / A. Le-Bail, G. Leray, A. Perronnet, G. Roelens. – DOI: 10.1016/j.jcs.2010.10.007 // *Journal of cereal science*. – 2011. – Vol. 54, iss. 1. – P. 13–19.

287. Lee, S. W. Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and Tartary buckwheat sprouts / S. W. Lee, J. M. Seo, M. K. Lee [et al.]. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.01.024 // *Industrial crops and products*. – 2014. – Vol. 54. – P. 320–326.

288. Leong, S. Y. Electropriming of wheatgrass seeds using pulsed electric fields enhances antioxidant metabolism and the bioprotective capacity of wheatgrass shoots /

S. Y. Leong, D. J. Burritt, I. Oey. – DOI: 10.1038/srep25306 // Scientific reports. – 2016. – Vol. 6. – Art. 25306. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep25306> (last access: 04.08.2019).

289. Li, S. Aflatoxin M1 contamination in raw milk from major milk-producing areas of China during four seasons of 2016 / S. Li, L. Min, P. Wang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.036 // Food control. – 2017. – Vol. 82. – P. 121–125.

290. Linares, D. *Streptococcus thermophilus* APC151 strain is suitable for the manufacture of naturally GABA-enriched bioactive yogurt / D. Linares, T. O’Callaghan, P. O’Connor [et al.]. – DOI: 10.3389/fmicb.2016.01876 // Frontiers in microbiology. – 2016. – Vol. 7. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01876/full> (last access: 05.08.2019).

291. Liu, R.H. Whole grain phytochemicals and health / R. H. Liu. – DOI: 10.1016/j.jcs.2007.06.010 // Journal of cereal science. – 2007. – Vol. 46, iss. 3. – P. 207–219.

292. Liu, T. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution / T. Liu, G. G. Hou, M. Cardin [et al.]. – DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.017 // LWT. – 2017. – Vol. 77. – P. 1–7.

293. Lopez-Malo, A. *Penicillium digitatum* spores inactivation by combining thermoultrasonication treatments and antimicrobial agents / A. Lopez-Malo, M. Jimenez-Fernandez, E. Palou // Institute of Food Technologists Annual Meeting: technical program abstracts. – New Orleans : IFT, 2001. – P. 151.

294. Luzardo, O. P. Estimated exposure to EU regulated mycotoxins and risk characterization of aflatoxin-induced hepatic toxicity through the consumption of the toasted cereal flour called “gofio”, a traditional food of the Canary Islands (Spain) / O. P. Luzardo, M. D. M. Bernal-Suárez, M. Camacho [et al.]. – DOI: 10.1016/j.fct.2016.04.022 // Food and chemical toxicology. – 2017. – Vol. 93. – P. 73–81.

295. Martins, Z. E. Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products / Z. E. Martins, O. Pinho, I. Ferreira. – DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.003 // Trends in food science & technology. – 2017. – Vol. 67. – P. 106–128.

296. Marx, H. Comparative investigations on bacterial and mycological status of both alternatively and conventionally grown crops / H. Marx, B. Gedek, B. Kollarczik. – DOI: 10.1007/bf01610789 // Zeitschrift für Ernährungswissenschaft. – 1994. – Vol. 33, iss. 3. – P. 239–243.

297. Matsushita, K. The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes / K. Matsushita, D. M. Santiago, T. Noda [et al.]. – DOI: 10.3136/fstr.23.403 // Food science and technology research. – 2017. – Vol. 23, iss. 3. – P. 403–410.

298. McCleary, B. V. Measurement of α -amylase in cereal, food, and fermentation products / B. V. McCleary, R. Sturgeon // Cereal foods world. – 2002. – Vol. 47, iss. 7. – P. 299–310.

299. McClurkin-Moore, J. D. The effect of high-voltage atmospheric cold plasma treatment on the shelf-life of distillers wet grains / J. D. McClurkin-Moore, K. E. Ileleji, K. M. Keener. – DOI: 10.1007/s11947-017-1903-6 // Food and bioprocess technology. – 2017. – Vol. 10, iss. 8. – P. 1431–1440.

300. Mellen, P. B. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis / P. B. Mellen, T. F. Walsh, D. M. Herrington. – DOI: 10.1016/j.numecd.2006.12.008 // Nutrition metabolism and cardiovascular diseases. – 2008. – Vol. 18. – P. 283–290.

301. Meng, Y. Enhancement of germination and seedling growth of wheat seed using dielectric barrier discharge plasma with various gas sources / Y. Meng, G. Qu, T. Wang [et al.]. – DOI: 10.1007/s11090-017-9799-5 // Plasma chemistry and plasma processing. – 2017. – Vol. 37, iss. 4. – P. 1–15.

302. Miano, A. C. Enhancing mung bean hydration using the ultrasound technology: Description of mechanisms and impact on its germination and main components / A. C. Miano, J. da C. Pereira, N. Castanha [et al.]. – DOI: 10.1038/srep38996 // Scientific reports. – 2016. – Vol. 6. – Art. 38996. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep38996> (last access: 06.08.2019).

303. Microbiological safety evaluations and recommendations on fresh produce / National advisory committee on microbiological criteria for foods. – DOI: 10.1016/

s0168-1605(99)00135-x // International journal of food microbiology. – 1999. – Vol. 53, iss. 3. – P. 123–153.

304. Miller, B. S. A comparison of cereal, fungal and bacterial alpha-amylases as supplements for breadmaking / B. S. Miller, J. A. Johnson, D. L. Palmer // Food technology. – 1953. – Vol. 7, iss. 1. – P. 38–42.

305. Miret, J. A. Plant amino acid-derived vitamins: biosynthesis and function / J. A. Miret, S. Munne-Bosch. – DOI: 10.1007/s00726-013-1653-3 // Amino acids. – 2014. – Vol. 46. – P. 809–824.

306. Misra, N. N. Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems / N. N. Misra, S. K. Pankaj, A. Segat, K. Ishikawa. – DOI: 10.1016/j.tifs.2016.07.001 // Trends in food science & technology. – 2016. – Vol. 55. – P. 39–47.

307. Misra, N. N. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries / N. N. Misra, S. Patil, T. Moiseev [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023 // Journal of food engineering. – 2014. – Vol. 125. – P. 131–138.

308. Mitra, A. Inactivation of surface-borne microorganisms and increased germination of seed specimen by cold atmospheric plasma / A. Mitra, Y. F. Li, T. G. Klämpfl [et al.]. – DOI: 10.1007/s11947-013-1126-4 // Food and bioprocess technology. – 2014. – Vol. 7, iss. 3. – P. 645–653.

309. Moder, G. J. Bread-making potential of straight-grade and whole-wheat flours of Triumph and Eagle-plainsman V hard red winter wheats / G. J. Moder, K. F. Finney, B. L. Bruinsma [et al.] // Cereal chemistry. – 1984. – Vol. 61. – P. 269–273.

310. Mody, I. Bridging the cleft at GABA synapses in the brain / I. Mody, Y. Dekoninck, T. S. Otis, I. Soltesz. – DOI: 10.1016/0166-2236(94)90155-4 // Trends in neurosciences. – 1994. – Vol. 17, iss. 12. – P. 517–525.

311. Morales de la Peña, M. Novel technologies to improve food safety and quality / M. Morales de la Peña, J. Welte-Chanes, O. Martín-Belloso. – DOI: 10.1016/j.cofs.2018.10.009 // Current opinion in food science. – 2019. – Vol. 30. – P. 1–7.

312. Murashiki, T. C. Levels and daily intake estimates of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in maize consumed by rural households in Shamva and Makoni districts

of Zimbabwe / T. C. Murashiki, C. Chidewe, M. A. Benhura [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.07.040 // Food control. – 2017. – Vol. 72, pt. A. – P. 105–109.

313. Nagaoka, H. Treatment of germinated wheat to increase levels of GABA and IP6 catalyzed by endogenous enzymes / H. Nagaoka. – DOI: 10.1021/bp0496777 // Biotechnology progress. – 2005. – Vol. 21, iss 2. – P. 405–410.

314. Nakagawa, K. Accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) in the rice germ / K. Nakagawa, A. Onota // Shokuhin kaihatsu. – 1996. – Vol. 31. – P. 43–46.

315. Nelson, K. Germinated grains: a superior whole grain functional food? / K. Nelson, L. Stojanovska, T. Vasiljevic, M. Mathai. – DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351 // Canadian journal of physiology and pharmacology. – 2013. – Vol. 91, iss. 6. – P. 429–441.

316. Nilova, L. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis / L. Nilova, N. Naumenko, I. Kalinina // Agronomy research. – 2017. – Vol. 15, iss. S2. – P. 1386–1398.

317. Noort, M. W. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – evidence for fibre-protein interactions / M. W. J. Noort, D. V. Haaster, Y. Hemery [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcs.2010.03.003 // Journal of cereal science. – 2010. – Vol. 52, iss. 1. – P. 59–64.

318. Noots, I. From field barley to malt: detection and specification of microbial activity for quality aspects / I. Noots, J. A. Delcour, C. W. Michiels. – DOI: 10.1080/10408419991299257 // Critical reviews in microbiology. – 1999. – Vol. 25, iss. 2. – P. 121–153.

319. Oh, C.-H. Brown rice extracts with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid inhibit cancer cell proliferation / C.-H. Oh, S.-H. Oh // Faseb journal. – 2003. – Vol. 17, iss. 5. – Art. A1157.

320. Oh, C.-H. Effects of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis / C.-H. Oh, S.-H. Oh. – DOI: 10.1089/109662004322984653 // Journal of medicinal food. – 2004. – Vol. 7, iss. 1. – P. 19–23.

321. Oh, S.-H. Germinated brown rice extract shows a nutraceutical effect in the recovery of chronic alcohol-related symptoms / S.-H. Oh, J.-R. Soh, Y.-S. Cha. – DOI: 10.1089/109662003322233512 // Journal of medicine food. – 2003. – Vol. 6, iss. 2. – P. 115–121.

322. Oh, S.-H. γ -Aminobutyric acid (GABA) content of selected uncooked foods / S.-H. Oh, Y.-J. Moon, C.-H. Oh. – DOI: 10.3746/jfn.2003.8.1.075 // Journal of food sciences and nutrition. – 2003. – Vol. 8, iss. 1. – P. 75–78.

323. Ohm, J.-B. Germinated wheat: phytochemical composition and mixing characteristics / J.-B. Ohm, C. W. Lee, K. Cho. – DOI: 10.1094/cchem-01-16-0006-R // Cereal chemistry. – 2016. – Vol. 93, iss. 6. – P. 612–617.

324. Olaerts, H. Impact of preharvest sprouting of wheat (*Triticum aestivum*) in the field on starch, protein and arabinoxylan properties / H. Olaerts, C. Roye, L. J. A. Derde [et al.]. – DOI: 10.1021/acs.jafc.6B03140 // Journal of agricultural and food chemistry. – 2016. – Vol. 64, iss. 44. – P. 8324–8332.

325. Palmer, L. M. The cellular basis of GABA_B-mediated interhemispheric inhibition / L. M. Palmer, J. M. Schulz, S. C. Murphy [et al.]. – DOI: 10.1126/science.1217276 // Science. – 2012. – Vol. 335. – P. 989–993.

326. Park, B. J. Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure / B. J. Park, K. Takatori, Y. Sugita-Konishi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.07.092 // Surface and coatings technology. – 2007. – Vol. 201, iss. 9. – P. 5733–5737.

327. Park, J.-K. Influence of ginsenosides on the kainic acid-induced seizure activity in immature rats / J.-K. Park, S.-H. Jin, J.-H. Ko [et al.] // BMB reports. – 1999. – Vol. 32, iss. 4. – P. 339–344.

328. Petersson, S. Growth of *Penicillium roqueforti*, *P. carneum*, and *P. paneum* during malfunctioning airtight storage of high-moisture grain cultivars / S. Petersson, J. Schnürer. – DOI: 10.1016/s0925-5214(99)00031-9 // Postharvest biology and technology. – 1999. – Vol. 17, iss. 1. – P. 47–54.

329. Piyasena, P. Inactivation of microbes using ultrasound / P. Piyasena, E. Mohareb, R. C. McKellar. – DOI: 10.1016/s0168-1605(03)00075-8 // International journal of food microbiology. – 2003. – Vol. 87, iss. 3. – P. 207–216.

330. Plaza, L. Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean (*Glycine max*), wheat (*Triticum aestivum*.L) and alfalfa (*Medicago sativa*) treated by a new drying method / L. Plaza, B. de Ancos, P. Cano. – DOI: 10.1007/s00217-002-0640-9 // European food research and technology. – 2003. – Vol. 216. – P. 138–144.

331. Poudel, R. Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end use properties of the resulting whole wheat flour / R. Poudel, S. Finnie, D. J. Rose. – DOI: 10.1016/j.jcs.2019.01.004 // Journal of cereal science. – 2019. – Vol. 86. – P. 33–40.

332. Pradeep, S. R. Germinated millets and legumes as a source of gamma-aminobutyric acid / S. R. Pradeep, G. Manisha, N. G. Malleshi // World applied sciences journal. – 2011. – Vol. 14, iss. 1. – P. 108–113.

333. Prasada Rao, U. J. S. Enzymes / U. J. S. Prasada Rao, M. S. Hemalata. – DOI: 10.1002/9781118792001.ch15 // Bakery products: science and technology / ed. by Weibiao Zhou [et al.]. – 2nd ed. – Chichester : John Wiley & Sons, 2014. – P. 275–294.

334. Price, T. V. Seed sprout production for human consumption – a review / T. V. Price. – DOI: 10.1016/s0315-5463(88)70718-x // Canadian institute of food science and technology journal. – 1988. – Vol. 21, iss. 1. – P. 57–65.

335. Pulsed electric fields technology for the food industry: fundamentals and applications / ed. by J. Raso, V. Heinz. – Boston, MA : Springer, 2006. – 245 p. – ISBN 978-0-387-31053-4. – DOI: 10.1007/978-0-387-31122-7.

336. Ramesh, S. A. GABA signalling modulates plant growth by directly regulating the activity of plant-specific anion transporters / S. A. Ramesh, S. D. Tyerman, B. Xu [et al.]. – DOI: 10.1038/ncomms8879 // Nature communications. – 2015. – Vol. 6. – Art. 7879. – URL: <https://www.nature.com/articles/ncomms8879> (last access: 06.08.2019).

337. RASFF – Food and Feed Safety Alerts / European Commission. – URL: http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/rasff_publications_en.htm (last access: 03.08.2018).

338. Rathjen, J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain / J. Rathjen, E. Strounina, D. Mares. – DOI: 10.1093/jxb/erp037 // Journal of experimental botany. – 2009. – Vol. 60, iss. 6. – P. 1619–1631.

339. Reddy, K. R. N. Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities / K. R. N. Reddy, H. K. Abbas, C. A. Abel [et al.]. – DOI: 10.1080/15569540903092050 // Toxin reviews. – 2009. – Vol. 28, iss. 2–3. – P. 154–168.

340. Reis, J. A. Lactic acid bacteria antimicrobial compounds: characteristics and applications / J. A. Reis, A. T. Paula, S. N. Casarotti, A. L. B. Penna. – DOI: 10.1007/s12393-012-9051-2 // Food engineering reviews. – 2012. – Vol. 4. – P. 124–140.

341. Richter, K. Wheat sprouting enhances bread baking performance / K. Richter, K. Christiansen, G. Guo. – DOI: 10.1094/cfw-59-5-0231 // Cereal foods world. – 2014. – Vol. 59, iss. 5. – P. 231–233.

342. Rosa-Sibakov, N. How does wheat grain, bran and aleurone structure impact their nutritional and technological properties? / N. Rosa-Sibakov, K. Poutanen, V. Micard. – DOI: 10.1016/j.tifs.2014.10.003 // Trends in food science & technology. – 2015. – Vol. 41, iss. 2. – P. 118–134.

343. Różyło, R. Effect of process modifications in two cycles of dough mixing on physical properties of wheat bread baked from weak flour / R. Różyło. – DOI: 10.1007/s11947-013-1100-1 // Food and bioprocess technology. – 2013. – Vol. 7. – P. 774–783.

344. Rudolf, J. L. Optimization of trans-resveratrol concentration and sensory properties of peanut kernels by slicing and ultrasound treatment, using response surface methodology / J. L. Rudolf, A. V. A. Resurreccion. – DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00467.x // Journal of food science. – 2007. – Vol. 72, iss. 7. – P. S450–S462.

345. Rustom, I. Y. S. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods / I. Y. S. Rustom. – DOI: 10.1016/S0308-8146(96)00096-9 // Food chemistry. – 1997. – Vol. 59, iss. 1. – P. 57–67.

346. Sadhu, S. Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*) / S. Sadhu, R. Thirumdas, R. R. Deshmukh, U. S. Annappure. – DOI: 10.1016/j.lwt.2016.12.026 // LWT. – 2016. – Vol. 78. – P. 97–104.

347. Safety evaluation of certain food additives and contaminants : prepared by the sixty-eighth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JEFCA). – Geneva : World Health Organization, 2008. – 471 p. – (WHO food additives series, 59). – ISBN 978-92-4-166059-4.

348. Sales, J. M. Phenolic profile, antioxidants, and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV / J. M. Sales, A. V. A. Resurreccion. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.03.058 // Food chemistry. – 2010. – Vol. 122, iss. 3. – P. 795–803.

349. Scott-Taggart, C. P. Regulation of gamma-aminobutyric acid synthesis in situ by glutamate availability / C. P. Scott-Taggart, O. R. van Cauwenberghe, M. D. McLean, B. J. Shelp. – DOI: 10.1034/j.1399-3054.1999.106402.x // Physiologia plantarum. – 1999. – Vol. 106, iss. 4. – P. 363–369.

350. Sharma, S. Using combined optimization, GC–MS and analytical technique to analyze the germination effect on phenolics, dietary fibers, minerals and GABA contents of Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) / S. Sharma, D. C. Saxena, C. S. Riar. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.099 // Food chemistry. – 2017. – Vol. 233. – P. 20–28.

351. Shelp, B. J. Strategies and tools for studying the metabolism and function of γ -aminobutyrate in plants. II. Integrated analysis / B. J. Shelp, G. G. Bozzo, A. Zarei [et al.]. – DOI: 10.1139/B2012-041 // Botany. – 2012. – Vol. 90, iss. 9. – P. 781–793.

352. Shuib, N. S. Natural occurrence of aflatoxin M1 in fresh cow milk and human milk in Penang, Malaysia / N. S. Shuib, A. Makahleh, S. M. Salhimi, B. Saad. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.10.013 // Food control. – 2017. – Vol. 73. – P. 966–970.

353. Sikora, E. The sources of natural antioxidants / E. Sikora, E. Cieřlik, K. Toporska // *Acta scientiarum polonorum technologia alimentaria*. – 2008. – Vol. 7, iss. 1. – P. 5–17.

354. Singh, A. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour / A. Singh, S. Sharma, B. Singh. – DOI: 10.1016/j.jcs.2017.06.003 // *Journal of cereal science*. – 2017. – Vol. 76. – P. 131–139.

355. Singh, P. Aflatoxin contamination of dried red chilies: contrasts between the United States and Nigeria, two markets differing in regulation enforcement / P. Singh, P. J. Cotty. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.05.014 // *Food control*. – 2017. – Vol. 80. – P. 374–379.

356. Singh, A. B. Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review / A. B. Singh, A. K. Singh, J. Rehal [et al.]. – DOI: 10.1080/10408398.2012.706661 // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2015. – Vol. 55, iss. 11. – P. 1575–1589.

357. Siragusa, S. Synthesis of γ -aminobutyric acid by lactic acid bacteria isolated from a variety of Italian cheeses / S. Siragusa, M. De Angelis, R. Di Cagno [et al.]. – DOI: 10.1128/aem.01064-07 // *Applied and environmental microbiology*. – 2007. – Vol. 73. – P. 7283–7290

358. Siró, I. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – a review / I. Siró, E. Kápolna, B. Kápolna, A. Lugasi. – DOI: 10.1016/j.appet.2008.05.060 // *Appetite*. – 2008. – Vol. 51, iss. 3. – P. 456–467.

359. Slade, L. A food polymer science approach to selected aspects of starch gelatinization and retrogradation / L. Slade, H. Levine // *Frontiers in carbohydrate research* – 1 / ed. by R. P. Millane [et al.]. – London : Elsevier Applied Science, 1989. – P. 215–270.

360. Slavin, J. Whole grains and human health / J. Slavin. – DOI: 10.1079/nrr200374 // *Nutrition research reviews*. – 2004. – Vol. 17, iss. 1. – P. 99–110.

361. Sluková, M. Application of amylographic method for determination of the staling of bakery products / M. Sluková, M. Kubín, ř. Horářková, J. Příhoda. – DOI:

10.17221/184/2015-cjfs // Czech journal of food sciences. – 2015. – Vol. 33, iss. 6. – P. 507–512.

362. Souza, A. M. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants / A. M. Souza, D. Garcí, L. Sueiro [et al.]. – DOI: 10.1002/bem.20206 // BioElectroMagnetics. – 2006. – Vol. 27, iss. 4. – P. 247–257.

363. Streit, E. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: long-term analysis with special focus on Europe and Asia / E. Streit, K. Naehrer, I. Rodrigues, G. Schatzmayr. – DOI: 10.1002/jsfa.6225 // Journal of the science of food and agriculture. – 2013. – Vol. 93, iss. 12. – P. 2892–2899.

364. Sudha, Apple pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making / M. L. Sudha, V. Baskaran, K. Leelavathi. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.12.016 // Food chemistry. – 2007. – Vol. 104. – P. 686–692.

365. Tajiri, T. Studies on production and keeping quality of bean sprouts. III. Effect of conditions of storage, soaking and sprinkling of seed of beans on the sprouting and growth of the bean sprouts / T. Tajiri // Journal of the Japanese society for food science and technology. – 1980. – Vol. 27, iss. 4. – P. 166–171.

366. Tančinová, D. Natural occurrence of fungi in feeding wheat after harvest and during storage in the agricultural farm facilities / D. Tančinová, S. Javoreková, M. Kačániová // Biologia. – 2001. – Vol. 56, iss. 3. – P. 247–250.

367. Teissié, J. Mechanisms of cell membrane electroporation: a mini-review of our present (lack of?) knowledge / J. Teissié, M. Golzio, M. P. Rols. – DOI: 10.1016/j.bbagen.2005.05.006 // Biochimica et biophysica acta (BBA) – general subjects. – 2005. – Vol. 1724, iss. 3. – P. 270–280.

368. The State of Food Insecurity in the World. 2001: Food insecurity: when people must live with hunger and fear starvation. – Rome : FAO, 2001. – 58 p. – ISBN 92-5-104628-X. – URL: <http://www.fao.org/3/y1500e/y1500e00.htm> (last access: 03.08.2019).

369. Thirumdas, R. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing / R. Thirumdas, C. Sarangapani, U. S. Annapure. – DOI: 10.1007/s11483-014-9382-z // Food biophysics. – 2015. – Vol. 1. – P. 1–11.

370. Thirumdas, R. Cold plasma: An alternative technology for the starch modification / R. Thirumdas, D. Kadam, U. S. Annapure. – DOI: 10.1007/s11483-017-9468-5 // Food biophysics. – 2017. – Vol. 12. – P. 129–139.

371. Thirumdas, R. Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch / R. Thirumdas, A. Trimukhe, R. R. Deshmukh, U. S. Annapure. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.11.050 // Carbohydrate polymers. – 2017. – Vol. 157. – P. 1723–1731.

372. Thirumdas, R. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice / R. Thirumdas, C. Saragapani, M. T. Ajinkya [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009 // Innovative food science & emerging technologies. – 2016. – Vol. 37, pt. A. – P. 53–60.

373. Tian, B. Physicochemical changes of oat seeds during germination / B. Tian, B. Xie, J. Shi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.08.035 // Food chemistry. – 2010. – Vol. 119, iss. 3. – P. 1195–1200.

374. Tuan, P. A. Effects of white, blue, and red light-emitting diodes on carotenoid biosynthetic gene expression levels and carotenoid accumulation in sprouts of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) / P. A. Tuan, A. A. Thwe, Y. B. Kim [et al.]. – DOI: 10.1021/jf4039937 // Journal of agricultural and food chemistry. – 2013. – Vol. 61, iss. 50. – P. 12356–12361.

375. Van Gelder, N. M. Disposition of gamma-aminobutyric acid administered to mammals / N. M. van Gelder, K. A. C. Elliott. – DOI: 10.1111/j.1471-4159.1958.tb12620.x // Journal of neurochemistry. – 1958. – Vol. 3, iss. 2. – P. 139–143.

376. Van Kleef, E. Functional foods: health claim-food product compatibility and the impact of health claim framing on consumer evaluation / E. van Kleef, H. C. M. van Trijp, P. Luning. – DOI: 10.1016/j.appet.2005.01.009 // Appetite. – 2005. – Vol. 44, iss. 3. – P. 299–308.

377. Vashisth, A. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field / A. Vashisth, S. Nagarajan. – DOI: 10.1016/j.jplph.2009.08.011 // Journal of plant physiology. – 2010. – Vol. 167, iss. 2. – 149–156.

378. Vashisth, A. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) / A. Vashisth, S. S. Nagarajan. – DOI: 10.1002/bem.20426 // BioElectroMagnetics. – 2008. – Vol. 29, iss. 7. – P. 571–578.

379. Vergara-Valencia, N. Fibre concentrate from mango fruit: characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient / N. Vergara-Valencia, E. Granados-Pereza, E. Agama-Acevedo [et al.]. – DOI: 10.1016/j.lwt.2006.02.028 // LWT – food science and technology. – 2007. – Vol. 40, iss. 4. – P. 722–729.

380. Waissi, G. R. Automation of strategy using IDEF0 – a proof of concept / G. R. Waissi, M. Demir, J. E. Humble, B. Lev. – DOI: 10.1016/j.orp.2015.05.001 // Operations research perspectives. – 2015. – Vol. 2. – P. 106–113.

381. Wang, J. Hepatocellular carcinoma and aflatoxin exposure in Zhuqing village, Fusui County, People's Republic of China / J. Wang, T. Huang, J. Su [et al.] // Cancer epidemiology, biomarkers & prevention. – 2001. – Vol. 10. – P. 143–146.

382. Wang, J. Inactivation of spoilage bacteria in package by dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma – treatment time effects / J. Wang, H. Zhuang, J. Zhang. – DOI: 10.1007/s11947-016-1746-6 // Food and bioprocess technology. – 2016. – Vol. 9, iss. 10. – P. 1648–1652.

383. Wang, Q. Modeling analysis on germination and seedling growth using ultrasound seed pretreatment in switchgrass / Q. Wang, G. Chen, H. Yersaiyiti [et al.]. – DOI: 10.1371/journal.pone.0047204 // PLOS ONE. – 2012. – Vol. 7, iss. 10. – Art. e47204. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0047204> (last access: 03.08.2019).

384. Weitbrecht, K. First off the mark: early seed germination / K. Weitbrecht, K. Müller, G. Leubner-Metzger. – DOI: 10.1093/jxb/err030 // Journal of experimental botany. – 2011. – Vol. 62, iss. 10. – P. 3289–3309.

385. Whole Grain: Building a Consensus for a Global Whole Grain Ingredient Definition / Cereals & Grains Association (AACC). – URL: <http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/pages/wholegrain.aspx> (last access: 01.07.2018).

386. Wu, Z. Food grade fungal stress on germinating peanut seeds induced phytoalexins and enhanced polyphenolic antioxidants / Z. Wu, L. Song, D. Huang. – DOI: 10.1021/jf200776w // Journal of agricultural and food chemistry. – 2011. – Vol. 59. – P. 5993–6003.

387. Xu, L. Microbial inactivation and quality changes in orange juice treated by high voltage atmospheric cold plasma / L. Xu, A. L. Garner, B. Tao, K. M. Keener. – DOI: 10.1007/s11947-017-1947-7 // Food and bioprocess technology. – 2017. – Vol. 10. – P. 1778–1791.

388. Yamakoshi, J. Antihypertensive and natriuretic effects of less-sodium soy sauce containing gamma-aminobutyric acid in spontaneously hypertensive rats / J. Yamakoshi, S. Fukuda, T. Satoh [et al.]. – DOI: 10.1271/bbb.60424 // Bioscience, biotechnology, and biochemistry. – 2007. – Vol. 71, iss. 1. – P. 165–173.

389. Yang, F. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain / F. Yang, T. K. Basu, B. Ooraikul. – DOI: 10.1080/09637480120057567 // International journal of food sciences and nutrition. – 2001. – Vol. 52, iss. 4. – P. 319–330.

390. Yang, H. The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts / H. Yang, J. Gao, A. Yang, H. Chen. – DOI: 10.1016/j.foodres.2015.01.011 // Food research international. – 2015. – Vol. 77, pt. 4. – P. 704–710.

391. Ye, E. Q. Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain / E. Q. Ye, S. A. Chacko, E. L. Chou [et al.]. – DOI: 10.3945/jn.111.155325 // Journal of nutrition. – 2012. – Vol. 142. – P. 1304–1313.

392. Yong, H. I. Evaluation of the treatment of both sides of raw chicken breasts with an atmospheric pressure plasma jet for the inactivation of *Escherichia coli* / H. I. Yong, H. J. Kim, S. Park [et al.]. – DOI: 10.1089/fpd.2013.1718 // Foodborne pathogens and disease. – 2014. – Vol. 11, iss. 8. – P. 652–657.

393. Yu, J. Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat / J. Yu, S. Wang, J. Wang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.070 // Food chemistry. – 2015. – Vol. 172. – P. 504–514.

394. Yu, J. High intensity ultrasound as an abiotic elicitor – Effects on antioxidant capacity and overall quality of romaine lettuce / J. Yu, N. J. Engeseth, H. Feng. – DOI: 10.1007/s11947-015-1616-7 // Food and bioprocess technology. – 2016. – Vol. 9. – P. 262–273.

395. Zhang, J. J. Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes / J. J. Zhang, J. O. Jo, D. L. Huynh [et al.]. – DOI: 10.1038/srep41917 // Scientific reports. – 2017. – Vol. 7. – Art. 41917. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep41917.pdf> (last access: 03.08.2019).

396. Zhou, K. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran / K. Zhou, L. Su, L. L. Yu. – DOI: 10.1021/jf049214g // Journal of agricultural and food chemistry. – 2004. – Vol. 52. – P. 6108–6114.

397. Zimmermann, U. Dependence of the electrical breakdown voltage on the charging time in *Valonia utricularis* / U. Zimmermann, R. Benz. – DOI: 10.1007/bf01871170 // The journal of membrane biology. – 1980. – Vol. 43. – P. 33–43.

398. Ziuzina, D. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce / D. Ziuzina, S. Patil, P. J. Cullen [et al.]. – DOI: 10.1016/j.fm.2014.02.007 // Food microbiology. – 2014. – Vol. 42. – P. 109–116.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Шкала оценки органолептических показателей качества хлебобулочных изделий

Показатель	Значение коэффициента весомости	Уровень качества	Характеристика уровней качества
Внешний вид (форма изделия, состояние поверхности)	0,5	5	Форма правильная, соответствующая форме формовых и подовых изделий, со значительно выпуклой верхней коркой; поверхность гладкая, без единых трещин и подрывов, исключительно глянцеватая
		4	Правильной формы, соответствующей форме формовых и подовых изделий с несколько выпуклой коркой достаточно гладкой. Единичные мелкие пузыри, едва заметны мелкие трещины и подрывы
		3	Правильной формы формовых и подовых изделий. Поверхность слегка пузырчатая шероховатая, заметны не крупные трещины и подрывы, едва заметны рубцы, глянец слабый
		2	Неправильной формы и с плоской верхней коркой. Поверхность заметно пузырчатая, бугорчатая, не глянцевая, морщинистая, крупные трещины и подрывы, заметны рубцы
		1	Мятая форма с выплывами. Поверхность с разорванной коркой и выплывами мякиша
Цвет корок	0,3	5	От светло-золотистого до золотистого
		4	От темно золотистого до светло коричневого
		3	Желтая или коричневая
		2	Бледно-желтая или серая, покрытая «сединой»
		1	Совершенно бледная или горелая
Характер пористости (крупность и равномерность пор, толщина стенок пор)	0,4	5	Равномерная, поры мелкие, тонкостенные
		4	Достаточно равномерная, поры мелкие и средние или только средние, тонкостенные
		3	Неравномерная, поры различной величины и средней толщины
		2	Поры очень мелкие, недоразвитые или крупные, толстостенные, незначительное количество плотных беспористых участков, незначительные пустоты
		1	Значительное количество плотных (беспористых) участков, мякиш оторван от верхней корки, закал, значительные пустоты
Цвет мякиша	0,3	5	Очень светлый или белый, с возможными вкраплениями оболочечных частиц
		4	Светлый с кремоватым оттенком, с возможными вкраплениями оболочечных частиц

Продолжение приложения А

Показатель	Значение коэффициента весомости	Уровень качества	Характеристика уровней качества
		3	Светлый с сероватым оттенком, с возможными вкраплениями оболочечных частиц
		2	Сероватый или желтоватый, с возможными вкраплениями оболочечных частиц
		1	Сероватый или желтовато-темный, с возможными вкраплениями оболочечных частиц
Эластичность	0,5	5	Очень мягкий, нежный, эластичный
		4	Мягкий, эластичный
		3	Средней (удовлетворительной) мягкости, эластичный
		2	Заметно уплотненный, недостаточно эластичный, слегка заминающийся
		1	Сильно заминающийся, влажный на ощупь, липкий
Аромат	0,8	5	Аромат хорошо пропеченного изделия из хорошо выброженного теста, ярко выражен
		4	Выраженный, хлебный
		3	Дрожжевой, кислый, тестовой, хлебный, но слабо выраженный
		2	«Пустой», спиртовой, хлебный, но не выраженный
		1	Запах горелой корки хлебобулочного изделия, невыброженного теста, плесневелый, затхлый, посторонний, неприятный
Вкус	0,8	5	Вкус хорошо пропеченного хлебобулочного изделия из хорошо выброженного теста, ярко выражен
		4	Сладковатый, хлебный, выражен
		3	«Пустой», пресный, хлебный слабо выраженный
		2	Слегка тестовой, хлебный не выражен, кислый, недосоленный
		1	Дрожжевой, пересолённый, горький, вкус прогорклой муки, не хлебный, посторонний
Разжевываемость	0,4	5	Хорошо разжевывается, очень нежное ощущение во рту
		4	Хорошо разжевывается, достаточно нежное ощущение во рту
		3	Слегка комкуется, немного грубый, немного крошиться
		2	Заметно комкуется, слегка мажется, заметно грубый, немного крошиться
		1	Сильно комкуется, сильно крошиться, мажется, клейкий, хруст от минеральных примесей

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Договор на проведение клинико-диагностических исследований
с ООО «ДокторЛаб»¹

ДОГОВОР № 68
НА ПРОВЕДЕНИЕ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

г. Челябинск

26.02.2020г.

Общество с ограниченной ответственностью «ДокторЛаб», именуемое в дальнейшем «Исполнитель», в лице Генерального директора Зурочка Владимир Александрович, действующего на основании Устава, имеющее лицензию ЛО-74-01-004264 от 27.09.17 г., выданную Министерством здравоохранения Челябинской области с одной стороны и

Науменко Наталья Владимировна, 
именуемая в дальнейшем «Заказчик», с другой стороны, далее совместно именуемые «Стороны», а по отдельности – «Сторона», заключили настоящий Договор (далее «Договор») о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. На условиях Договора Исполнитель принимает на себя обязательства по оказанию следующих услуг:

– Проведение клинико-диагностических исследований, а Заказчик обязуется оплатить оказанные Услуги

1.2. Виды, перечень, стоимость, содержание и объем оказываемых Исполнителем по Договору Услуг определяется Приложением №1 к Договору, которое является неотъемлемой частью Договора.

1.3. Услуги по Договору оказываются Исполнителем в соответствии с Приложением №1 к Договору, условиями Договора, действующим в Российской Федерации законодательством, требованиями нормативных правовых актов, правил и стандартов (нормативов), устанавливающих требования к оказанию Услуг и регулирующих условия и порядок оказания Услуг, являющихся предметом Договора.

2. ПОРЯДОК, УСЛОВИЯ СРОКИ И МЕСТО ОКАЗАНИЯ УСЛУГ

2.1. Услуги по Договору оказываются в порядке и на условиях, предусмотренных в Приложении №1 к Договору.

2.2. Место оказания Услуг: г. Челябинск, ул. Каслинская, д. 5 (4 этаж) ООО «ДокторЛаб».

2.3. Результаты анализов передаются на электронную почту: naumenko_natalya@mail.ru

3. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ СТОРОН

3.1. Права и обязанности Исполнителя:

3.1.1 Исполнитель оказывает качественные медицинские услуги в соответствии с требованиями, предъявляемыми действующим законодательством.

¹ Здесь и далее персональные данные заретушированы.

3.1.2. Клинико-диагностические исследования проводятся на основании утверждённого Заказчиком Направления на исследования, содержащему перечень клинико-диагностических исследований и являющегося неотъемлемой частью договора (Приложение № 2).

3.1.3. Исполнитель направляет Заказчику Акт сдачи приемки выполненных работ и выставляет счёт.

3.1.4. Стоимость услуг не может быть увеличена в течение срока действия настоящего договора.

3.2. Права и обязанности Заказчика:

3.2.1. Заказчик обязуется выдавать направления на клинико-диагностические исследования (Приложение №2).

3.2.2. Заказчик обязуется подписать акт сдачи приемки выполненных работ. В случае отказа от подписания Акта сдачи приемки выполненных работ, Заказчик обязуется в течение 5 (Пяти) рабочих дней предоставить Исполнителю мотивированный отказ от подписания Акта. В случае не получения Исполнителем в течение 5 (Пяти) рабочих дней мотивированного отказа, работы считаются принятыми.

3.2.3. Заказчик обязуется оплатить услуги Исполнителя на основании акта приёма-сдачи оказанных услуг, а также выставленного счёта в порядке, указанном в разделе 5 настоящего Договора.

4. СДАЧА-ПРИЕМКА ОКАЗАННЫХ УСЛУГ

4.1. В подтверждение оказания Услуг Стороны подписывают акты сдачи-приёмки оказанных услуг.

4.2. По окончании оказания Услуг (этапов Услуг), Исполнитель извещает (уведомляет) Заказчика о факте оказания Услуг и готовности их к сдаче-приёмке.

Вместе с извещением (уведомлением) Исполнитель предоставляет (направляет) Заказчику следующие документы, оформленные надлежащим образом:

- (1) оригинал счета в 1 (одном) экземпляре;
- (2) Акт сдачи-приёмки оказанных услуг в 2 (двух) экземплярах;
- (3) документы, предусмотренные Техническим заданием, а так же иные документы, обычно передаваемые для данного вида Услуг в соответствии с законом.

4.3. Документы, указанные в пункте 4.2. Договора должны быть оформлены в соответствии с действующим законодательством РФ и условиями Договора, должны быть подписаны (заверены) Исполнителем или его уполномоченным представителем и скреплены печатью Исполнителя (при наличии). Подписи Исполнителя (уполномоченного представителя Исполнителя) и печати (при наличии) должны быть проставлены в специально отведенных для этого графах.

В случае если указанные документы подписаны уполномоченным представителем Исполнителя, то помимо перечисленных документов Исполнитель передает Заказчику заверенную копию документа, подтверждающего право лица на подписание указанных документов.

4.4. Заказчик осуществляет приёмку оказанных Услуг и передает (направляет) Исполнителю 1 (один) экземпляр акта сдачи-приёмки оказанных услуг или мотивированный отказ от приёмки Услуг.

4.5. Основаниями для отказа Заказчика в приёмки оказанных Услуг являются:

- (1) наличие отступлений от условий Договора при оказании Услуг;
- (2) отсутствие всех необходимых, в том числе установленных Договором документов, которые Исполнитель должен был передать Заказчику для приёмки Услуг, а равно не соответствие переданных документов условиям Договора, в том числе нарушение формы документов и/или отсутствие в документах ссылки на дату и номер Договора, а так же наличие в документах недостоверных и/или противоречивых сведений;
- (3) иные основания, установленные действующим законодательством РФ.

В случае если оказанные Услуги, не соответствуют условиям Договора, они считаются не оказанными.

4.6. В случае отказа Заказчика от приёмки оказанных Услуг Стороны оформляют (составляют) акт выявленных недостатков.

При обнаружении недостатков оказанных Услуг после сдачи-приёмки оказанных Услуг Заказчик извещает Исполнителя об обнаруженных недостатках в течение 30 (тридцати) календарных дней со дня следующего за днем когда Заказчик обнаружил или должен был обнаружить указанные недостатки.

Акт выявленных недостатков подписывается уполномоченными представителями Сторон, с указанием перечня необходимых к устранению недостатков и замечаний и сроков их устранения.

4.7. Исполнитель собственными и/или привлеченными силами и за свой счет устраняет недостатки и замечания указанные в акте выявленных недостатков, в срок согласованный Сторонами в акте, а если такой срок не согласован, то в разумный срок, с момента оформления (составления) акта выявленных недостатков. Моментом оформления (составления) акта выявленных недостатков является дата его подписания или дата получения акта Исполнителем.

4.8. Моментом сдачи-приёмки оказанных Услуг (этапов Услуг) является дата двустороннего подписания Сторонами соответствующего акта сдачи-приёмки оказанных Услуг, указанная в самом акте. В случае отсутствия даты в акте, датой сдачи-приёмки оказанных Услуг является дата получения Исполнителем подписанного акта сдачи-приёмки оказанных Услуг.

5. СТОИМОСТЬ УСЛУГ И ПОРЯДОК РАСЧЁТОВ

5.1. Цена Договора включает общую стоимость всех Услуг, в объеме, предусмотренном Договором, а так же прочие издержки Исполнителя по Договору и причитающееся ему вознаграждение, которая определяется на основании ежемесячного акта выполненных работ по ценам указанным в Приложении №1.

5.2. Цена Договора является твердой и не подлежит изменению в течение срока действия Договора, за исключением случаев, предусмотренных действующим законодательством Российской Федерации и/или Договором, что оформляется Сторонами дополнительным соглашением к Договору.

5.3. Исполнитель самостоятельно несет расходы, связанные с оказанием Услуг по Договору.

5.4. Оплата по Договору, осуществляется в российских рублях в безналичной форме с расчетного счета Заказчика на расчетный счет Исполнителя. Моментом оплаты по Договору (моментом исполнения обязательства по оплате) считается дата списания

денежных средств со счета Заказчика.

5.5. Оплата выполненных Работ осуществляется Заказчиком в течение 10 (десяти) банковских дней с момента сдачи-приёмки результатов выполненных работ, после предоставления Подрядчиком Заказчику надлежащим образом оформленных документов, указанных в пункте 4.2 Договора.

5.6. Положения статьи 823 ГК РФ к обязательствам Сторон, возникающим из Договора, не применяются.

6. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН

6.1. В случае нарушения условий Договора Стороны несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации и Договором.

6.2. Стороны должны исполнить свои обязательства надлежащим образом, оказывая друг другу всевозможное содействие в исполнении обязательств. Сторона, нарушившая свои обязательства по Договору, должна без промедления устранить эти нарушения, возместить причиненные таким неисполнением и/или ненадлежащим исполнением обязательств убытки.

6.3. В случае нарушения Исполнителем сроков оказания Услуг, предусмотренных Договором, Исполнитель уплачивает Заказчику неустойку в размере 0.1% (ноль целых одна десятая процента) от цены Договора за каждый день просрочки до момента оказания Услуг.

6.4. Исполнитель несет ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств соисполнителями, заключившими договоры с Исполнителем.

6.5. Исполнитель несет ответственность за полноту и достоверность сведений содержащихся в исполнительных (отчетных) документах и иных документах передаваемых (направляемых) Заказчику.

6.6. В случае нарушения Заказчиком сроков оплаты, предусмотренных Договором, Заказчик уплачивает Исполнителю неустойку в размере 0.1% (ноль целых одна десятая процента) от суммы подлежащей оплате и не оплаченной в срок, за каждый день просрочки до фактической оплаты.

6.7. Сторона освобождается от уплаты неустойки если докажет что неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств произошло по вине другой Стороны.

7. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

7.1. Спорные вопросы, возникающие в ходе исполнения Договора, разрешаются Сторонами путем ведения переговоров (претензионный порядок).

7.2. Претензия предъявляется в письменной форме.

7.2.1. В претензии обязательно указываются:

- (1) дата предъявления претензии;
- (2) обстоятельства, являющиеся основанием для предъявления претензии; доказательства, подтверждающие изложенные в претензии обстоятельства;
- (3) требования заявителя, с указанием при необходимости суммы претензии;

(4) перечень прилагаемых к претензии документов, а также других доказательств.

7.2.2. Сторона, получившая претензию, обязана в течение 15 (пятнадцати) календарных дней направить ответ на претензию.

7.2.3. Претензия и ответ на претензию подписывается уполномоченным лицом.

7.3. Все споры, разногласия или требования, возникающие из Договора или в связи с ним, в том числе касающиеся его исполнения, нарушения, изменения, прекращения или недействительности, подлежат разрешению в Арбитражном суде по месту нахождения истца.

8. ОБСТОЯТЕЛЬСТВА НЕПРЕОДОЛИМОЙ СИЛЫ

8.1. Стороны освобождаются от ответственности за частичное или полное неисполнение обязательств по Договору в случаях, установленных законодательством Российской Федерации, в том числе при возникновении обстоятельств непреодолимой силы (форс-мажор).

8.2. О возникновении и прекращении действия обстоятельств непреодолимой силы Стороны уведомляют друг друга письменно в течение 3 (трех) рабочих дней с момента их возникновения и прекращения. После прекращения действия обстоятельств непреодолимой силы, Сторона, прекратившая исполнение обязательств по Договору, незамедлительно возобновляет их исполнение.

8.3. Факт возникновения обстоятельств непреодолимой силы должен быть документально удостоверен уполномоченным органом государственной или муниципальной власти.

8.4. Факт прекращения действия обстоятельств непреодолимой силы в случае отсутствия уведомления от соответствующей Стороны может быть подтвержден документально уполномоченным органом государственной или муниципальной власти.

8.5. В случае если действие обстоятельств непреодолимой силы продолжается более 30 (тридцати) календарных дней, любая из Сторон вправе инициировать расторжение Договора.

9. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

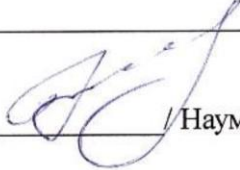
9.1. Стороны берут на себя взаимные обязательства по соблюдению режима конфиденциальности в отношении информации, полученной при исполнении условий настоящего Договора. Передача информации третьим лицам или иное разглашение информации, признанной конфиденциальной, может осуществляться только с письменного согласия другой стороны.

9.2. Конфиденциальной по настоящему Договору признается информация:

9.2.1. О содержании Договора

9.2.2. Сведения о заболеваниях сотрудников Заказчика.

10. СРОК ДЕЙСТВИЯ, ИЗМЕНЕНИЕ И РАСТОРЖЕНИЕ ДОГОВОРА

Исполнитель:	Заказчик:
ООО «ДокторЛаб» 454084, г. Челябинск, ул. Каслинская, д. 5, оф. 22; ИНН\КПП 7447271081\744701001; ОГРН 1177456019190 ОКПО 12410275; р/с 40702810607180009109 в Калининском филиале ПАО «Челиндбанк»; к/с 301018104000000000711;2 БИК 047501711	Науменко Наталья Владимировна, XXXXXXXXXXXXXXXX паспорт XXXXXXXXXXXXXXXX выдан XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
Генеральный директор  _____/Зурочка В.А./	 _____/Науменко Н.В./

Прейскурант

5.Лабораторная диагностика			
501 Забор материала для исследований			
Код	Наименование медицинской услуги	Ед.изм	Цена
50107	Забор крови	1 манип.	50.00р.
502 Общеклинические методы исследований			
Код	Наименование медицинской услуги	Ед.изм	Цена
50201	Клинический анализ крови (общий анализ, лейкоформула, СОЭ)	1 исслед.	150.00р.
50322	Липидограмма (6 параметров)	1 исслед.	330.00р.
505 Исследование уровня гормонов			
Код	Наименование медицинской услуги	Ед.изм	Цена
50520	Кортизол	1 исслед.	300.00р.

Генеральный директор



/Зурочка В.А./

/ Наumenко Н.В./

Направляется в ООО «ДокторЛаб»
454084, г. Челябинск, ул. Каслинская, д.5, оф.22.
ОГРН 117745601919

1. Ф.И.О. _____
2. Дата рождения _____

	Наименование	Количество	Заказ*
50107	Забор крови	1 исслед.	
50201	Клинический анализ крови (общий анализ, лейкоформула, СОЭ)	1 исслед.	
50520	Кортизол	1 исслед.	

** - При каждом заборе крови отдельно ЗАМОРОЗИТЬ СЫВОРОТКУ

Уполномоченный представитель _____
Подпись _____ Фамилия И.О. _____

Дата «_____» _____ 20____ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Образцы документов, заполняемых участниками клинических исследований

Информированное согласие на участие в исследовании

Настоящим я даю согласие на участие в исследовании свойств хлебобулочных изделий с цельносмолотой мукой из пророщенного зерна пшеницы.

Руководитель исследования Науменко Наталья Владимировна.

Место проведения исследования **кафедра пищевые и биотехнологии ФГАОУ ВО НИУ Южно-Уральского государственного университета, по адресу: г. Челябинск ул. Пр. Ленина 85, ауд. 245.**

Телефон исследователя _____

Я был осведомлен о следующем:

*о целях данного исследования;

*о тестах, которые будут произведены с целью определения эффекта исследуемого продукта;

*о возможных рисках.

Мною в письменном виде была получена вышеназванная информация и ответы на все мои вопросы.

Я даю согласие на обработку своих персональных данных исследовательской группой при условии сохранения ими конфиденциальности.

Мною были получены гарантии того, что я имею право прекратить участие в испытании и о выбывании из исследования при пропуске приема продукта.

Я даю согласие на то, чтобы данные обо мне были занесены в компьютерный файл, обеспечивающий гарантию защиты лицами, определенными законодательством.

Ф.И.О. участника исследования _____

Возраст _____

Факультет, группа _____

Телефон 1. _____

2. (если есть) _____

Дата «__» _____ 2020 г.

Подпись _____

ФИО исследователя _____

Дата «__» _____ 2020 г.

Подпись _____

**Индивидуальная Регистрационная Карта
Протокол 3**

Дата отчета:
Подготовлено:

Информация в данном документе содержит секреты, ноу-хау и коммерческую информацию, которая является привилегированной или конфиденциальной и не может разглашаться, кроме случаев, когда такое разглашение требуется действующим законодательством или правилами. В любом случае, лица, которым разглашается информация, должны быть информированы, что информация является привилегированной или конфиденциальной и не может разглашаться ими дальше. Эти ограничения на разглашение будут равным образом применяться ко всей будущей информации, предоставленной Вам, которая обозначена как привилегированная или конфиденциальная.

ID исследователя: [][][][][][][][][][][][][][][]

ДОГОВОР № об оказании медицинских услуг

г.Челябинск

04 марта 2020 г.

ООО "ДокторЛаб", действующее на основании лицензии № ЛО-74-01-004264 от 27.09.17г., выданной Министерством здравоохранения Челябинской области, именуемое и дальнейшем "Исполнитель" или "Медицинское учреждение", в лице генерального директора Зурочки Владимира Александровича, действующей на основании Устава, с одной стороны, и гр.



именуемая(ый) в дальнейшем Пациент, с другой стороны, заключили настоящий договор о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Медицинское учреждение обязуется оказывать Пациенту в течении всего срока действия договора медицинские услуги, отвечающие требованиям предъявляемым к методам диагностики, профилактики и лечения, разрешенным на территории Российской Федерации по видам деятельности, указанным в лицензии Исполнителя, а Пациент обязуется своевременно оплатить их в полном объеме и выполнять требования медицинской организации (лечащего врача), необходимые для качественного предоставления медицинской услуги, в том числе, сообщение необходимых сведений, предоставление медицинской документации, выполнение рекомендаций лечащего врача.

1.2. Объем и условия оказания Пациенту конкретных медицинских услуг определяются заданием Пациента, оформляемом при каждом обращении в виде заявки/акта сдачи-приемки оказанных услуг, и/или добровольным информированным согласием пациента на оказание медицинских услуг.

1.3. Перечень и стоимость медицинских услуг, оказываемых ООО «ДокторЛаб», Пациенту устанавливаются в соответствии с прейскурантом, действующим на момент оплаты Пациентом медицинской услуги. По медицинским показаниям и/или с согласия Пациента ему могут быть оказаны и иные услуги, стоимость которых согласовывается Исполнителем с Пациентом или его представителем дополнительно.

1.4. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания. Срок действия настоящего Договора – год с момента его заключения. Если не менее чем за 30 (тридцать) дней до окончания срока действия настоящего Договора ни одна из сторон не заявит о необходимости его изменения или расторжения, данный Договор считается пролонгированным на неопределенный срок.

1.5. Расторжение настоящего договора допускается по соглашению сторон, а также в случаях предусмотренных п. 2.1.1, 2.3.1. настоящего договора.

2. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ СТОРОН

2.1. Пациент имеет права, предусмотренные Федеральным Законом № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).

2.1.1. В любое время отказаться от исполнения настоящего договора при условии выполнении обязанностей, предусмотренных п. 3.4. настоящего договора.

2.2. Пациент обязуется:

2.2.1. Предоставить Исполнителю все документы, необходимые для оказания медицинских услуг.

2.2.2. Сообщить Исполнителю полную и достоверную информацию о состоянии своего здоровья, которая необходима для оказания медицинских услуг (в т.ч. аллергические реакции, непереносимость лекарственных средств, результаты обследований и консультаций в других учреждениях, употребление алкоголя, наркотических, психотропных препаратов, наличие или отсутствие наследственных, венерических, психических заболеваний в семье, ВИЧ-контактов, ВИЧ-инфицирования, туберкулеза, вирусных гепатитов и других заболеваний, представляющих угрозу для жизни и здоровья пациентов и работников медицинского учреждения). При необходимости пациент обязуется пройти (повторить) обследование (ВИЧ, сифилис, гепатит).

2.2.3. Точно выполнять все требования и назначения врача, следовать рекомендациям, своевременно сообщать об изменении самочувствия в ходе лечения и нарушениях в схемах лечения.

2.2.4. Соблюдать правила внутреннего распорядка и правила поведения в медицинском учреждении, в том числе проявлять уважение к медицинскому и административно-хозяйственному персоналу.

2.2.5. Бережно относиться к имуществу медицинского учреждения. В случае причинения вреда возмещать ущерб в соответствии с законодательством РФ.

2.2.6. Принять по акту и оплатить оказанные медицинские услуги в порядке и на условиях, определенных разделом 3 настоящего договора.

2.3. Исполнитель имеет право:

2.3.1. Отказать пациенту в оказании медицинской услуги, в случае неисполнения или ненадлежащего исполнения пациентом обязанностей, предусмотренных п. 2.2. настоящего договора. В соответствии с п.3 ст. 450 ГК РФ настоящий договор считается расторгнутым.

2.4. Исполнитель обязуется:

2.4.1. Оказать медицинские услуги надлежащего качества, т.е. в соответствии с требованиями, предъявляемыми к методам лечения, разрешенным на территории Российской Федерации.

2.4.2. Предоставить Пациенту бесплатную, доступную, достоверную информацию о предоставляемых медицинских услугах.

2.4.3. Соблюдать правила санитарно-эпидемиологического режима.

2.4.4. Использовать в процессе оказания услуг расходные материалы и оборудование только надлежащего качества.

2.4.5. Хранить информацию о Пациенте в течение сроков, установленных Приказом Минздрава СССР «Об утверждении форм первичной медицинской документации учреждений здравоохранения» № 1030 от 04.10.1980 г.: 5 лет - для амбулаторных больных, 25 лет - для стационарных больных.

2.4.6. В соответствии со ст. 22 ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» № 323-ФЗ от 21.11.2011 разъяснить пациенту результаты оказанных медицинских услуг. По требованию Пациента выдать на руки копии медицинских документов, отражающих его здоровье, если в них не затрагиваются интересы третьей стороны.

2.4.7. Соблюдать конфиденциальность сведений, полученных в ходе оказания медицинских услуг (врачебную тайну).

2.4.8. При отсутствии обстоятельств, препятствующих началу оказания медицинских услуг, приступить к оказанию этих услуг в сроки, согласованные с Пациентом.

3. СТОИМОСТЬ УСЛУГ И ПОРЯДОК ОПЛАТЫ

3.1. Стоимость медицинских услуг по заявленным Пациентом позициям, определяется исходя из прейскуранта цен Исполнителя, действующего на момент предоставления услуг, и указывается в заявке/акте сдачи-приемки оказанных услуг или в добровольном информированном согласии пациента на оказание медицинских услуг.

3.2. Оплата медицинских услуг осуществляется до начала их оказания.

3.3. Объем медицинских услуг может изменяться в зависимости от особенностей течения заболевания, и индивидуальных физиологических особенностей пациента (каждый клинический случай рассматривается отдельно).

3.4. В случае невозможности оказания услуги, возникшей по обстоятельствам, за которые ни одна из сторон не отвечает, а также в случае одностороннего отказа Исполнителя от исполнения настоящего договора (расторжение договора) по основаниям, предусмотренным п. 2.3.1. услуга подлежит оплате Пациентом в размере фактически понесенных Исполнителем расходов.

3.5. В случае одностороннего отказа Пациента от заказанных медицинских услуг Пациент возмещает Исполнителю фактически понесенные им расходы.

4. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН

4.1. Стороны несут ответственность в случаях, предусмотренных настоящим договором и действующим законодательством.

4.2. Исполнитель освобождается от ответственности за неисполнение или ненадлежащее исполнение платной медицинской услуги, если докажет, что неисполнение или ненадлежащее исполнение произошло вследствие непреодолимой силы, а также по иным основаниям, предусмотренным законом.

4.3. Исполнитель не несет ответственности за последствия, связанные с неисполнением или ненадлежащим исполнением Пациентом обязанностей, предусмотренных п.п. 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3. настоящего договора.

4.4. Исполнитель не несет ответственности за последствия, связанные с биологическими особенностями организма, побочными эффектами и осложнениями, если медицинская услуга оказана с соблюдением всех необходимых требований.

5. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1. Все разногласия, возникающие в ходе оказания услуги, стороны разрешают путем переговоров. При не достижении согласия спор разрешается в судебном порядке. До передачи спора в суд сторонами должен быть соблюден претензионный порядок его урегулирования. Претензия должна быть составлена в письменном виде и направлена заказным письмом или иным способом, позволяющим фиксировать факт ее получения адресатом. Срок рассмотрения претензий составляет 30 дней.

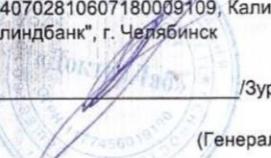
5.2. Основания для расторжения договора определяются настоящим договором и действующим законодательством.

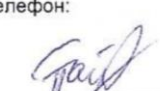
5.3. Во всем, что не урегулировано настоящим договором, стороны руководствуются действующим законодательством.

5.4. Договор составлен в 2-х экземплярах, по одному для каждой из сторон.

5.5. Стороны договорились возможным использовать факсимиле генерального директора Медицинской организации при подписании настоящего договора.

6. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

"Исполнитель"	
ООО "ДокторЛаб"	
Телефон тел. 214-2000, e-mail doktor-lab.ru, info@doktor-lab.ru	
Адрес юр.: 454084 г.Челябинск, ул. Каслинская, д.5, офис 22	
ИНН 7447271081 / КПП 744701001	
ОГРН 1177456019190 / БИК 047501711	
р/с 40702810607180009109, Калининский филиал ПАО "Челиндбанк", г. Челябинск	
	
/Зурочка В.А./	
(Генеральный директор)	

"Пациент"	
Ф.И.О.	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Адрес:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
Телефон:	
	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Анкета, используемая при опросе для формирования модели факторов
потребительского поведения

Блок I. Заполните данные:**1. Укажите ваш пол:**

Мужской ____

Женский ____

2. Ваш возраст:

До 30 лет ____

30-45 ____

46-65 ____ более 65 ____

3. Ваше образование

Среднее ____

Среднее специальное ____

Высшее ____

Ученая степень ____

4. Субъективное восприятие здоровья:

Хорошее ____

Среднее ____

Плохое ____

5. Место жительства

Деревня ____

Город до 100 тысяч жителей ____

Город с населением более 100 тысяч человек ____

6. Кто обычно осуществляет закупки продуктов питания в вашей семье?

Только я ____

Я делаю большую часть покупок продуктов питания ____

Я иногда делаю покупки продуктов питания, а иногда кто-то другой делает это ____

Кто-то другой делает большинство покупок продуктов питания ____

Я никогда не делаю покупки продуктов питания ____

7. Как часто вы едите хлеб / хлебобулочные изделия?

Я ем 2 ломтика хлеба или более несколько раз в течение дня ____

Я ем хлеб один раз в течение дня, но не менее 2 ломтиков хлеба ____

Я ем менее 2 ломтиков хлеба в течение дня ____

8. Наличие болезней, связанных с питанием

Да ____ Нет ____

9. Как часто вы занимаетесь спортом

Не занимаюсь ____

1 раз в месяц ____

1 раз в неделю ____

Несколько раз в неделю ____

Блок II. Оцените по 5 бальной шкале насколько Вы согласны с утверждением:

№ п/п	Вопрос	Абсолютно согласен	Согласен	Затрудняюсь ответить	Не согласен	Абсолютно не согласен
		5	4	3	2	1
1.	Я думаю, что польза для здоровья является основным фактором при выборе хлебобулочных изделий					
2.	Я употребляю хлебобулочные изделия только из высшего сорта муки					
3.	Я готов покупать хлеб и хлебобулочные изделия с добавлением цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы					
4.	Я употребляю хлебобулочные изделия из разных сортов муки в зависимости от вида принимаемой пищи					
5.	Я употребляю хлебобулочные изделия из разных сортов муки, т.к. это благоприятно влияет на мое здоровье					
6.	Я употребляю хлебобулочные изделия только из муки грубого помола					
7.	Я предпочитаю приобретать продукты натурального происхождения					
8.	Я готов покупать хлебобулочные изделия с полезными свойствами за более высокую цену					
9.	Я знаю, что пророщенное зерно обладает рядом полезных свойств					
10.	Употребление продуктов с добавлением цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы приносит мне пользу					
11.	Я считаю, что значение «не рафинированных продуктов» слишком преувеличено					
12.	Я готов изменить свои вкусовые предпочтения в области хлеба и хлебобулочных изделий ради получения полезных свойств продукта					
13.	Я думаю, что продукты из цельносмолотого пророщенного зерна абсолютно безопасны					
14.	Я думаю, продукты из цельносмолотого пророщенного зерна могут быть загрязнены тяжелыми металлами, пестицидами и плесневыми грибами					
15.	Производитель продуктов из цельносмолотого пророщенного зерна четко отслеживает нормы безопасности данных продуктов					
16.	Я думаю, что «не рафинированные продукты» обогащают мой организм микро- и макроэлементами, витаминами и пищевыми волокнами					
17.	Я думаю, что использование хлеба и					

№ п/п	Вопрос	Абсолютно согласен	Согласен	Затрудняюсь ответить	Не согласен	Абсолютно не согласен
		5	4	3	2	1
	хлебобулочных изделий из цельносмолотой муки пророщенного зерна пшеницы приведет к улучшению здоровья в долгосрочной перспективе					
18.	Я знаю, что пророщенное зерно может накапливать микотоксины и быть опасным для здоровья					
19.	Я думаю, что хлеб из цельносмолотого пророщенного зерна пшеницы содержит большое количество улучшителей химического происхождения, что плохо сказывается на моем здоровье					
20.	Производители продуктов из цельносмолотого пророщенного зерна пшеницы не отслеживает нормы безопасности данных продуктов					
21.	Я считаю, что в нашей стране нет законодательной базы для использования продуктов из пророщенного зерна					
22.	Я считаю, что что употребление хлеба и хлебобулочных изделий, полученных с использованием из цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы приносит больше пользы, чем вреда					
23.	Я самостоятельно проращиваю зерновые культуры дома и использую их в пищу					
24.	Я считаю, что необходимо проводить обеззараживание зерна перед его проращиванием					
25.	Я думаю, что использование хлеба из цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы приведет к снижению здоровья в долгосрочной перспективе					
26.	Я считаю, что что употребление хлеба из цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы приносит больше вреда, чем пользы					
27.	Я думаю, что хлеб и хлебобулочные изделия из цельносмолотой муки пророщенного зерна пшеницы возможно употреблять в качестве профилактики хронических заболеваний					
28.	Я чувствую себя хорошо, когда употребляю «не рафинированные» продукты					
29.	Я обращаю свое внимание на здоровье, в моей жизни существует понятие «мотивация здоровья»					
30.	Я обязательно куплю изделие хлебобулочные с маркировкой, содержащей фразу «полезен для здоровья»					

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Протокол лабораторных исследований хлебобулочных изделий



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Департамент растениеводства, химизации и защиты растений
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТР ХИМИЗАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
РАДИОЛОГИИ «ЧЕЛЯБИНСКИЙ»

454080, г. Челябинск, ул. Сони Кривой, 73, тел./факс 8 (351) 26539-55, э/адрес: agrohim_74_1@mail.ru
КПП 745301001 ОГРН 1027403900963 ИНН 7453002200

ПРОТОКОЛ
лабораторных исследований (испытаний, измерений)

От 04.03.2020

№ 109

Заявитель (наименование предприятия, организации): Физическое лицо Наumenко Наталья Владимировна
Адрес: 454080, РФ, Челябинская обл., г. Челябинск, ул. Ленина, 85
Наименование образца: Хлебобулочные изделия с цельномолотой мукой из пророщенного зерна пшеницы ГОСТ 5667-65
Характеристика (вид, вес, объем, упаковка, количество и т.д.): Вес, объем среднего образца – 1 кг Величина партии – 20 шт.
Дата поступления образца: 25.02.2020 **Дата проведения испытаний:** 25.02.2020
Код образца: 109.2.20 **Условия проведения испытаний:** Влажность 76 %
НД на соответствие которым, проведено испытание: ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» **Давление** 741 мм. рт. ст.
Акт отбора образца: От 25.02.2020 Физическое лицо Наumenко Наталья Владимировна **Температура** 22°C

Применяемое оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Заводской номер	Свидетельство о поверке	Поверка действительна до
1.	Гамма-бета спектрометр МКС – АТ 1315	15242	№1193855	26.09.2020
2.	Спектрофотометр UNICO модель 2800	SGU 1308 16304 047	51414/2019	27.11.2020
3.	Спектрометр атомно-абсорбционный «КВАНТ -2» модели «КВАНТ-2АТ»	17991-04	5852/2020	12.02.2021

Результаты испытаний образца:

№ п/п	Наименование показателей, в единицах измеряемых содержаний	Результат Испытаний*	Норма по нормативной документации	Наименование нормативной документации на методы испытаний
1	2	3	4	5
1.	Афлатоксин В1, мг/кг	Менее 0,003	Не более 0,005	ГОСТ 30711-01
2.	Зеараленон, мг/кг	Менее 0,1	Не более 0,2	МУ 5177-90 МУ 3184-84
3.	Дезоксиниваленон, мг/кг	Менее 0,2	Не более 0,7	
4.	T-2 токсин, мг/кг	Менее 0,05	Не более 0,1	

ВНИМАНИЕ!

РЕЗУЛЬТАТЫ ОТНОСЯТСЯ К ОБРАЗЦАМ (ПРОБАМ), ПОДВЕРГНУТЫМ ИСПЫТАНИЯМ

ПРОТОКОЛ № 109
ОТ 04.03.2020

ЧАСТИЧНАЯ ПЕРЕПЕЧАТКА ПРОТОКОЛА ЛАБОРАТОРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ (ИСПЫТАНИЙ, ИЗМЕРЕНИЙ) БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ НЕДОПУСТИМА

Страница 1

Общее
количество
страниц 2

5.	Ртутьорганические пестициды (этилмеркурхлорид), мг/кг	Не обнаружено	Не доп.	МУ № 1218
6.	Гексахлорбензол, мг/кг	Менее 0,005	Не более 0,01	МУ № 2142
7.	2,4-Д кислота, мг/кг	Не обнаружено	Не доп.	МУ 1541-76
8.	Гексахлорциклогексан (α, β, γ - изомеры), мг/кг	Менее 0,005	Не более 0,5	МУ 2142-80
9.	ДДТ и его метаболиты, мг/кг	Менее 0,005	Не более 0,02	
10.	Охратоксин А, мг/кг	Менее 0,0025	Не более 0,005	М 04-42-2009
11.	Свинец, млн^{-1} (мг/кг)	0,34	Не более 0,35	ГОСТ 30178
12.	Кадмий, млн^{-1} (мг/кг)	0,01	Не более 0,07	ГОСТ 30178
13.	Мышьяк, млн^{-1} (мг/кг)	0,10	Не более 0,15	ГОСТ 26930
14.	Ртуть, млн^{-1} (мг/кг)	Не обнаружено	Не более 0,015	ГОСТ 26927
15.	Радионуклиды, Бк/кг Цезий – 137	Менее 11,0	Не более 40	ГОСТ 32161
16.	Радионуклиды, Бк/кг Стронций - 90	Менее 9,0	Не более 20	ГОСТ 32163

*Погрешность (неопределенность) измерений не превышает значений, указанных в НД на метод испытаний.

Главный агрохимик

В.И. Криницын

Специалисты проводившие испытания

(Бодрова Л.В.)

(Калашникова А. П.)

(Нигаматулина Э.И.)



ВНИМАНИЕ!

РЕЗУЛЬТАТЫ ОТНОСЯТСЯ К ОБРАЗЦАМ (ПРОБАМ), ПОДВЕРГНУТЫМ ИСПЫТАНИЯМ

Страница 2

ПРОТОКОЛ № 109
ОТ 04.03.2020

ЧАСТИЧНАЯ ПЕРЕПЕЧАТКА ПРОТОКОЛА ЛАБОРАТОРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ (ИСПЫТАНИЙ, ИЗМЕРЕНИЙ) БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ НЕДОПУСТИМА

Общее
количество
страниц 2

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Акт дегустации

Мы, ниже подписавшиеся, зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии» (ПИБ), д.т.н., проф. Потороко И.Ю.; доцент кафедры ПИБ, к.т.н. Науменко Н.В.; доцент кафедры ПИБ, к.т.н. Калинина И.В.; доцент кафедры ПИБ, к.т.н. Попова Н.В.; доцент кафедры ПИБ, к.с.-х.н. Кретьова Ю.И., к.вет.н. Меренкова С.П., подтверждаем, что в период с 10 по 30 ноября 2018 года были проведены дегустационные оценки опытных образцов хлебобулочных изделий:

1 – хлебобулочные изделия из пшеничной хлебопекарной муки I сорта (контроль);

2 – хлебобулочные изделия из пшеничной муки I сорта, с заменой 18 % муки на цельносмолотую муку из пророщенного зерна пшеницы и предварительной подготовкой воды путем УЗВ;

3 – мелкоштучные булочные изделия из пшеничной муки I сорта (контроль);

4 – мелкоштучные булочные изделия из пшеничной муки I сорта, с заменой 14 % муки на цельносмолотую муку из пророщенного зерна пшеницы и предварительной подготовкой воды путем УЗВ.

Дегустация проводилась закрытым способом с применением 5-уровневой балловой шкалы оценки органолептических показателей качества хлебобулочных изделий.

Итоговая оценка органолептических показателей качества рассчитывалась как среднее арифметическое, с учетом коэффициентов весомости показателей качества по расширенной номенклатуре.

Результаты дегустационного анализа представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1

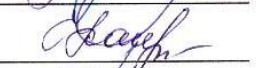
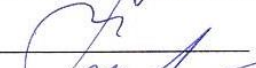
Усредненные результаты дегустационного анализа образцов
хлебобулочных изделий

Наименование показателя	Балловая оценка объектов исследования*			
	1	2	3	4
Внешний вид	2,25	2,4	2,25	2,45
Цвет корок	1,26	1,38	1,35	1,5
Эластичность мякиша	2,15	2,4	1,9	2,4
Цвет мякиша	1,38	1,44	1,35	1,41
Характер пористости	1,8	1,92	1,76	1,92
Аромат	3,04	3,76	3,12	3,84
Вкус	3,12	3,68	3,12	3,36
Разжевываемость	1,52	1,8	1,64	1,8
Суммарная оценка	16,52	18,78	16,49	18,68

* $m_{cp} \pm 0,05$

В ходе проведения дегустационного анализа членами комиссии было отмечено, что все исследуемые образцы имели приемлемые органолептические свойства, что позволило дегустационной комиссии рекомендовать разработанные изделия для дальнейших исследований.

Члены комиссии:

	И.Ю. Потороко
	Н.В. Науменко
	И.В. Калинина
	Н. В. Попова
	Ю.И. Кретьова
	С.П. Меренкова

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Документы, отражающие научную новизну, результаты апробации
производственных испытаний и внедрения результатов работы



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2690486

Способ стимулирования прорастания зерна

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2018134834

Приоритет изобретения 01 октября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 03 июня 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 01 октября 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

1703

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2707944

Способ обеззараживания зерна

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" (RU)*

Авторы: *Потороко Ирина Юрьевна (RU), Науменко Наталья Владимировна (RU), Лейви Артем Ячеславович (RU), Калинина Ирина Валерьевна (RU)*

Заявка № 2019124649

Приоритет изобретения 31 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 02 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 31 июля 2039 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2723957

**Способ производства хлеба с использованием пророщенного
зерна пшеницы**

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования "Южно-
Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)" (RU)*

Авторы: *Потороко Ирина Юрьевна (RU), Науменко Наталья
Владимировна (RU), Калинина Ирина Валерьевна (RU)*

Заявка № 2019133259

Приоритет изобретения 17 октября 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 18 июня 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 17 октября 2039 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael

Утверждаю:

Директор



К.С. Сатбаев

Акт

о внедрении результатов научного исследования

Настоящий акт составлен о том, что на предприятии ООО «Боровое» в период 2018-2019 гг апробированы и внедрены технологии по получению цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы (ТУ 10.61.21-005-75420719-2019) и хлебобулочных изделий с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы (ТУ 10.71.11-006-75420719-2019) к.т.н., доцентом кафедры пищевых и биотехнологий ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Науменко Н.В. под руководством д.т.н., проф. Потороко И.Ю.

Технологический процесс получения цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы предполагает поэтапную обработку зерна путем комплексного воздействия холодной плазмы и ультразвука низкой частоты.

Исследование качества хлебобулочных изделий, полученных с использованием данного сырьевого ингредиента, позволило установить соответствие их требованиям действующей нормативно-технической документации, при этом было отмечено улучшение потребительских свойств и сохраняемости готовых изделий.

Считаем целесообразным использование разработанных технологий получения цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы и хлебобулочных изделий с данным сырьевым ингредиентом в промышленном производстве.

На основании вышеизложенного, согласно решения руководителя предприятия предлагаемые технологии приняты к внедрению в производство ООО «Боровое».

Общество с Ограниченной Ответственностью
«Боровое»

КОД ТН ВЭД 1104 29 810 0

ОКС 67.060
ОКПД2 10.61.21.119

УТВЕРЖДАЮ

Директор



К.С. Сатбаев

Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы

**Технические условия
ТУ 10.61.21-005-75420719-2018**

Дата введения в действие – сентябрь 2018 г.

РАЗРАБОТАНО:

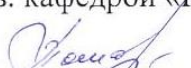
ООО «Боровое»

Зам. директора по производству

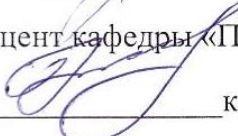
 / В.П. Евтушенко

ФГАОУ ВО «ИОУрГУ (НИУ)»

Зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии»

 д.т.н., проф. И.Ю.Потороко

Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии»

 к.т.н., доц. Н.В. Науменко

Челябинск
2018

Общество с Ограниченной Ответственностью
«Боровое»

КОД ТН ВЭД 1905 90

ОКС 67.060
ОКПД2 10.71.11

УТВЕРЖДАЮ

Директор



К.С. Сатбаев

**Хлебобулочные изделия
с цельносмолотой мукой из пророщенного зерна пшеницы**

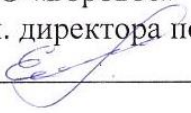
**Технические условия
ТУ 10.71.11-008-75420719-2019**

Дата введения в действие – июнь 2019 г.

РАЗРАБОТАНО:

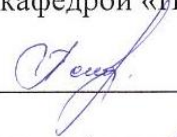
ООО «Боровое»

Зам. директора по производству

 / В.П. Евтушенко

ФГАОУ ВО «ИОУрГУ (НИУ)»

Зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии»

 д.т.н., проф. И.Ю.Потороко

Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии»

 к.т.н., доц. Н.В. Наumenко

Челябинск
2019

Утверждаю:

Генеральный директор
ООО «Агрофирма Ариант»

Е.П. Ходоровский

2020 г.

Акт

о проведении производственных испытаний способа обеззараживания зерна пшеницы

Настоящий акт составлен о том, что в производственных условиях на предприятии ООО «Агрофирма Ариант» в период 2019-2020 гг апробирована технология по обеззараживанию зерна пшеницы, разработанная сотрудниками ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» к.т.н., доцентом кафедры «Пищевые и биотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Н.В. Науменко, д.т.н., проф. зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии» И.Ю. Потороко и к.ф.-м.н., доцентом кафедры «Оптоинформатика» А.Я. Лейви.

Способ обеззараживания зерна предусматривает воздействие на обрабатываемое зерно потока холодной плазмы при атмосферном давлении, генерирующегося за счет отрицательного коронного разряда между анодом и катодом при импульсном напряжении с параметрами: разность потенциалов 10 кВ, частота 50 Гц, плазмообразующее вещество – воздух, толщина слоя зерна – 5 мм. Зерно размещается на транспортной ленте, являющейся анодом и обрабатывается в течении 5 – 10 минут.

Проведенные исследования качества и безопасности обработанного зерна в лаборатории предприятия и аккредитованной лаборатории ФГБУ «Челябинская МВЛ» показал его соответствие требованиям действующей нормативно-технической документации (ГОСТ 9353-2016 и ТР ТС 015/2011).

Считаем целесообразным использование разработанной технологии обеззараживания зерна пшеницы в промышленном производстве.

На основании вышеизложенного, согласно решения руководителя предприятия предлагаемая технология будет рассмотрена к внедрению в производственный процесс ООО «Агрофирма Ариант».

Зав. кафедрой
пищевые и биотехнологии, д.т.н. проф.

И.Ю. Потороко

Доцент кафедры
пищевые и биотехнологии, к.т.н., доц.

Н.В. Науменко

Доцент кафедры
оптоинформатика, к.ф.-м.н., доц.

А.Я. Лейви

Утверждаю:
ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ»



Г.С. Акопян

Акт

о выработке опытных партий хлебобулочных изделий в промышленных условиях ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ»

Настоящий акт составлен о том, что на предприятии ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ» в период января 2019 по сентябрь 2019 гг были выработаны опытные партии хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.

Были произведены партии следующих изделий:

- хлебобулочное изделие из пшеничной хлебопекарной муки, с внесением путем частичной замены цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в количестве 18 %;
- мелкоштучное хлебобулочное изделие из пшеничной хлебопекарной муки, с внесением путем частичной замены цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы в количестве 14 %.

На предприятии ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ» проведена экспериментальная апробация рецептуры и технологии изготовления хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы, разработанных на кафедре «Пищевые и биотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Для производства хлебобулочных изделий использовали сырье, соответствующее требованиям действующей нормативно-технической документации. Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы была представлена в вакуумной упаковке, влажность сырьевого ингредиента составляла 8 – 12 %, гранулометрический состав (крупность помола) 150 – 190 мкм.

Проведенные производственные испытания показали, что использование цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы позволяет получить хлебобулочные изделия, качество которых соответствует установленным требованиям. При этом, увеличивается содержание флавоноидов, пищевых волокон, витаминов группы В и минеральных веществ, повышается антиоксидантная активность изделий.

Считаем, что с целью расширения ассортимента хлебобулочных изделий для здорового питания их промышленное производство является целесообразным.



Утверждаю:
Директор

И.Н. Воскобойников

25 декабря 2019 года

Акт

о проведении производственных испытаний способа изготовления хлебобулочных изделий

Настоящий акт составлен о том, что на предприятии ООО «Черновской Хлеб» в период сентября 2019 по декабрь 2019 гг были выработаны опытные партии хлебобулочных изделий, полученных с использованием цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы.

Изделия хлебобулочные вырабатывали безопасным способом из пшеничной хлебопекарной муки первого сорта, согласно следующей рецептуре (Таблица 1).

Таблица 1 – Рецептура хлебобулочных изделий из муки первого сорта с цельносмолотой мукой из пророщенного зерна пшеницы

Наименование сырья	Расход сырья, кг	
	Хлебобулочные изделия	Мелкоштучное булочное изделие
Мука пшеничная хлебопекарная 1с	82	86
Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы	18	14
Дрожжи прессованные хлебопекарные	1,5	1,0
Соль пищевая	1,3	1,5
Сахар белый	–	5
Маргарин столовый с массовой долей жира 60%	–	2,5
Растительное масло (смазка формы)	0,15	0,15
Вода	Расчет	

Для выпечки хлебобулочных изделий использовали муку пшеничную хлебопекарную первого сорта, соответствующую требованиям ГОСТ 26574-2017, цельносмолотую муку из пророщенного зерна пшеницы, соответствующую ТУ 10.61.21-016-51482182-2018, дрожжи хлебопекарные прессованные по ГОСТ Р 54731-2011, соль поваренную пищевую по ГОСТ Р 51574-2018, сахар-песок ГОСТ 33222-2015, маргарин ГОСТ 32188-2013.

Готовые изделия оценивали через 4 часа после выпечки по органолептическим и физико-химическим показателям качества (таблица 2).

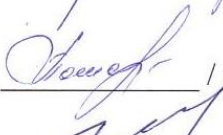
Таблица 2 – Результаты оценки качества хлебобулочных изделий

Наименование показателя	Значение показателя и характеристика	
	Хлебобулочные изделия	Мелкоштучное булочное изделие
Органолептические показатели		
Внешний вид: форма и поверхность	Наличие правильной формы с несколько выпуклой коркой	Наличие правильной формы с выпуклой коркой
цвет	Выраженный светло-коричневый приятный	Выраженный светло-коричневый приятный
Состояние мякиша: пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный	Пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный
промес	Отсутствие следов непромеса	Отсутствие следов непромеса
пористость	Развитая равномерная тонкостенная пористость с порами округлой формы	Развитая равномерная тонкостенная пористость с порами округлой формы
Вкус	Приятный, свойственный изделию	Приятный, свойственный изделию
Запах	Приятный, гармоничный, с легким ароматом пророщенного зерна	Приятный, гармоничный, с легким ароматом пророщенного зерна
Физико-химические показатели		
Влажность, %	46,3	42,5
Пористость, %	76,2	79,4
Кислотность, град.	3,6	3,5

Заключение: проведенные производственные испытания показали, что использование цельносмолотой муки из пророщенного зерна пшеницы позволяет получить хлебобулочные изделия, качество которых соответствует установленным требованиям. Считаем, что с целью расширения ассортимента хлебобулочных изделий и удовлетворения спроса в профилактических продуктах, их промышленное производство является целесообразным.

Зав. производством
ООО «Черновской Хлеб»
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»
Зав. кафедрой
пищевые и биотехнологии

Доцент кафедры
пищевые и биотехнологии

 / Макарьевская И.
 / д.т.н., проф. И.Ю. Потороко
 / к.т.н., доц. Н.В. Науменко

Общество с Ограниченной Ответственностью
«Черновской Хлеб»

КОД ТН ВЭД 1905 90

ОКС 67.060
ОКПД2 10.71.11

УТВЕРЖДАЮ
Директор



И.Н. Воскобойников

РЕЦЕПТУРА

по производству хлебобулочных изделий с цельносмолотой мукой
из пророщенного зерна пшеницы

РЦ 10.71.11-018-51482182-2019

Дата введения в действие — июнь 2019 г.

РАЗРАБОТАНО:

ООО «Черновской Хлеб»

Иванов / Макаровская И.И.

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии»

Потороко / д.т.н., проф. И.Ю. Потороко

Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии»

Науменко / к.т.н., доц. Н.В. Науменко

Миасс
2019

Общество с Ограниченной Ответственностью
«Черновской Хлеб»
КОД ТН ВЭД 1905 90

ОКС 67.060
ОКПД2 10.71.11



И.Н. Воскобойников

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

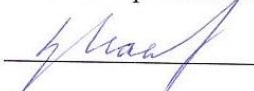
по производству хлебобулочных изделий с цельносмолотой мукой
из пророщенного зерна пшеницы

ТИ 10.71.11-018-51482182-2019

Дата введения в действие — июнь 2019 г.

РАЗРАБОТАНО:

ООО «Черновской Хлеб»

 / Маткаровская Н.Н.

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Зав. кафедрой «Пищевые и биотехнологии»

 / д.т.н., проф. И.Ю. Потороко

Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии»

 / к.т.н., доц. Н.В. Науменко

Миасс
2019