

На правах рукописи



ФЕДОТОВ Виталий Анатольевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ И МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ
ПШЕНИЧНОЙ МУКИ**

Специальность 05.18.01 - Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Оренбург - 2020

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

Научный консультант: доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии пищевых производств ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Медведев Павел Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, директор ФГБНУ «ВНИИЗ», филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Мелешкина Елена Павловна

доктор технических наук, профессор кафедры технологии общественного питания и переработки растительного сырья ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»

Леонова Светлана Александровна

доктор технических наук, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Шенцова Евгения Сергеевна

Ведущая организация: **ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»**

Защита состоится «21» мая 2020 года в 10 ч. 00 мин. на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.183.05 при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302026 г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95. E-mail: Simonenkova1@mail.ru.

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <http://oreluniver.ru> и в сети интернет на сайте Министерства образования и науки РФ: <http://vak.ed.gov.ru> «20» февраля 2020 года.

Автореферат разослан «30» марта 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



А.П. Симоненкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Тенденция ухудшения технологических свойств зерна влечет за собой закономерное снижение качества хлебобулочных и макаронных изделий. Вследствие чего традиционным стало повсеместное применение улучшителей качества в хлебопекарном производстве и использование муки из мягких сортов пшеницы при выработке макаронных изделий.

Достичь высокое качество хлебобулочных и макаронных изделий возможно за счет гибкого управления технологическими режимами производства при максимально достоверной оценке хлебопекарных и макаронных достоинств зернового сырья. Системный подход к оценке потенциала пшениц должен включать в себя определение физико-химических свойств зерна и продуктов его переработки на протяжении всего «жизненного цикла».

Сведения о взаимосвязях показателей качества зерна с потребительскими свойствами готовой продукции разрознены, что вызвано одновременным совместным влиянием генотипических и агроэкологических факторов. Кроме того, методики определения показателей качества зерна, принятые в производстве, сопряжены с большой трудоемкостью, недостаточной точностью, а результаты анализов со сложностями в интерпретации степени влияния факторов на качество сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

Отсутствие единства в оценке свойств зерна пшеницы создает определенные трудности во внешней торговле. В американском и канадском стандартах пшеницы различают по показателю твердости зерна (твердозерности), поскольку твердозерные и мягкозерные пшеницы характеризуются существенными различиями технологических свойств. В российской зерноперерабатывающей промышленности, ввиду отсутствия инструментальной и методологической базы для экспрессного определения твердозерности, такого деления не делают. Отчасти этот показатель заменяет широко используемый для классификации зерна и легко определяемый показатель стекловидности. Данный показатель характеризуется высокой лабильностью: при одинаковых значениях стекловидности разные сорта пшеницы характеризуются существенными различиями мучкомольных, макаронных и хлебопекарных свойств.

Показатели безопасности зерна, зернопродуктов, хлебобулочных и макаронных изделий напрямую связаны с влиянием факторов внешней среды. По уровню загрязнения Оренбургская область находится в числе регионов с наибольшими выбросами токсичных элементов, ввиду сосредоточения на ее территории большого количества предприятий крупной многоотраслевой промышленности (металлургической, нефтегазовой, химической, машиностроительной), топливно-энергетического комплекса и др. Вместе с тем, ввиду климатических особенностей территории, для пшениц Оренбуржья характерна повышенная обсемененность *V.subtilis*. При этом систематизированные сведения о микробиологической контаминации и содержании токсичных элементов в зерне отсутствуют, а их контроль на предприятиях отрасли носит эпизодиче-

ский характер ввиду сложности определения, что приводит к недостоверной оценке потребительских качеств производимой продукции.

Одним из трендов, определяемых Стратегией инновационного развития Российской Федерации «Инновационная Россия – 2020» является цифровизация пищевой промышленности, совмещенная с комплексными инженерными решениями, способная по аналогии с другими отраслями, оказать положительное влияние на эффективность производственных процессов.

Необходимость в совершенствовании методологических подходов к оценке и прогнозированию качества сырья, полуфабрикатов, хлебобулочных и макаронных изделий из пшеничной муки за счет цифровизации производства, а также управление параметрами производственного цикла для получения готовой продукции стабильного качества из зерна с различными технологическими свойствами обуславливает актуальность темы исследований.

Степень разработанности темы исследования. Решению вопросов повышения качества хлебопекарной продукции посвящены работы отечественных и зарубежных учёных Ауэрмана Л.Я., Пучковой Л.И., Мелешкиной Е.П., Корячкиной С.Я., Кузнецовой Е. А., Семикиной Л.И., Морозовой О.В., Чертова Е.Д., Магомедова Г.О., Алёхиной Н.Н., Шевцовой И.А., Ниловой Л. П., Дерканосовой Н. М., Березиной Н. А., Glen G. M, Heesk K. и др. Решению вопросов повышения качества макаронных изделий посвящены работы отечественных и зарубежных учёных Назарова Н.И., Медведева Г.М., Черных В.Я., Осиповой Г.А., Рыбака А.И., Мартиросяна В.В., Казенновой Н.К., Шнейдер Т.И., Юрчак В. Г., Kostello L.G. K, Davis K.R. и др. Исследованиями влияния макаронных свойств муки на качество готовой продукции занимались Лукьянов В.В., Чернов М.Е., Негруб В.П. и др. Исследованиями формирования качества зернопродуктов занимались Егоров Г.А., Мельников Е.М., Мерко И.Т., Беркутова Н.С., Панкратов Г.Н., Колпакова В.В., Леонова С. А., Шенцова Е.С. и др.

В то же время, вопросы формирования качества хлебобулочных и макаронных изделий посредством изменения технологических параметров производства и экспрессного прогнозирования качества изделий с учетом генотипических и агроэкологических различий пшеницы изучены недостаточно глубоко.

Цель и задачи исследования. Цель работы состояла в решении комплекса научно-практических задач, направленных на цифровизацию хлебопекарного и макаронного производства за счет разработки экспрессных методов оценки качества зерна, способов прогнозирования и управления качеством хлебобулочных и макаронных изделий.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1) сформировать теоретические предпосылки цифровизации зерноперерабатывающей, хлебопекарной, макаронной промышленности для мониторинга свойств сырья и прогнозирования оптимальных параметров технологических процессов производства готовой продукции с заданными потребительскими свойствами;

2) на основе сравнительного анализа показателей и методов оценки свойств зерна пшеницы и продуктов его переработки, определить наиболее целесообразные для прогнозирования качества готовой продукции зерноперера-

батывающей, хлебопекарной, макаронной промышленности;

3) развить теорию фрактографического анализа применительно к продуктам размола зерна для разработки экспресс-методов оценки технологических качеств зерна пшеницы с использованием современных информационных технологий;

4) разработать экспресс-методики оценки физико-химических показателей качества зерна пшеницы и продуктов его переработки на основе фрактографического анализа продуктов размола зерна;

5) разработать лабораторную установку для экспрессного определения гранулометрического состава продуктов размола зерна и установить основные метрологические требования, предъявляемые к ней;

6) изучить взаимосвязь показателя твердозерности с основными показателями качества продуктов размола зерна, полуфабрикатов и продукции хлебопекарного и макаронного производства для прогнозирования качества готовой продукции;

7) разработать информационно-измерительную систему для управления качеством хлебобулочных и макаронных изделий за счет выбора оптимальных технологических параметров замеса теста с учетом показателя твердозерности;

8) изучить влияние биологических (сортовых) и агроэкологических факторов на микробиологическую контаминированность *B.subtilis* и загрязненность тяжелыми металлами зерна пшеницы;

9) сформировать рекомендации предприятиям отрасли по уточнению целевого назначения зерна, повышению точности определения качества зерна, муки, прогнозированию качества и оптимизации технологии производства хлебобулочных и макаронных изделий на основе разработанных методик оценки технологических свойств пшеницы во взаимосвязи с генотипическими и агроэкологическими факторами.

Предметом исследований служили традиционные и разрабатываемые методы контроля качества зерна и продуктов его переработки, основанные на комплексном анализе частиц размола зерна, классифицируемых по размеру и форме; методы оптимизации параметров технологических процессов производства хлебобулочных и макаронных изделий с использованием компьютерных технологий.

Научная концепция работы. Научное решение проблемы контроля технологических свойств зерна пшеницы и управления качеством полуфабрикатов и продукции на различных этапах производства хлебобулочных и макаронных изделий базируется на использовании показателя твердозерности пшеницы, разработке экспрессных методов его определения, моделировании и оптимизации параметров производства на основе цифровизации технологических процессов.

Научная новизна. Диссертационная работа соответствует пунктам 3, 4, 12 паспорта специальности 05.18.01.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена методика оценки потребительских свойств зерна пшеницы и продуктов его переработки, базирующаяся на комплексном показателе твердозерности зерна. На основе

корреляционного анализа показателей качества зерна и технологических свойств муки установлено, что твердозерность является наиболее объективным показателем для прогнозирования хлебопекарных и макаронных свойств зерна и муки.

Разработаны экспрессные методы оценки структурно-механических свойств зерна, хлебопекарных и макаронных свойств муки на основе фрактографического анализа, базирующиеся на использовании алгоритмов компьютерного зрения для классификации частиц по размеру и форме путем оптической микроскопии.

Разработаны способы совершенствования технологического процесса производства хлебобулочных и макаронных изделий с заданными потребительскими свойствами посредством регулирования режимов замеса теста с учетом физико-химических показателей качества зерна (показателя твердозерности).

Для различных этапов производственного процесса разработаны математические модели с использованием компьютерных технологий (искусственной нейронной сети), положенные в основу системы мониторинга качества зерна пшеницы, полуфабрикатов, хлебобулочных и макаронных изделий.

Определено влияние генотипических (сортовых) признаков и агроэкологических условий произрастания пшеницы на ее ассимиляционную способность к тяжелым металлам, микробиологическую контаминированность спорами *V.subtilis*, на основе чего сформулированы рекомендации о размещении площадей под посевы пшеницы и целевом назначении зерна.

Новизна технических решений подтверждена 3-мя патентами РФ и 20 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность использования комплексного показателя качества зерна «твердозерность» для прогнозирования хлебопекарных и макаронных свойств зерна и муки, регулирования режимов замеса хлебопекарного и макаронного теста, производства хлебобулочных и макаронных изделий с заданными потребительскими свойствами.

Разработан способ определения твердозерности зерна пшеницы (патент № 2442132).

Разработан способ определения количества и качества клейковины в зерне пшеницы (патент № 2586780).

Разработан способ определения хлебопекарных качеств зерна пшеницы (патент № 2433398).

Разработано программное обеспечение гранулометрического анализа путем оптической микроскопии (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610605).

Разработано программное средство для определения показателей количества и качества клейковины зерна пшеницы на основе фрактографического анализа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611014).

Разработано программное обеспечение для оценки показателей качества макаронной муки на основе фрактографического анализа (свидетельство о гос-

ударственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611164).

Новая методика определения показателя твердозерности и других технологических качеств пшеницы подтверждена соответствующим актом от ОАО «Оренбургское хлебоприемное предприятие». Результаты исследования, на основе которых сформированы рекомендации по целевому назначению зерна и размещению посевных площадей, подтверждены справкой Министерства сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области.

Новая методика определения показателя твердозерности для прогнозирования макаронных свойств муки прошла производственную апробацию в цехе по производству макаронной муки на базе ООО «Оренбургский комбикормовый завод».

Способ оптимизации технологического процесса производства макаронных изделий посредством регулирования температурно-влажностных режимов замеса макаронного теста с учетом физико-химических показателей качества зерна реализован и подтвержден соответствующим актом от ОАО «Сладкая жизнь».

Результаты работы внедрены в учебный процесс на кафедре технологии пищевых производств ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» при обучении студентов по направлениям подготовки: 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья (бакалавриат), 19.04.02 Продукты питания из растительного сырья (магистратура).

Работа выполнялась в рамках инициативной госбюджетной научно-исследовательской работы «Комплексная переработка сырья растительного происхождения», номер госрегистрации АААА-А16-116112350129-0 (руководитель: д.т.н., профессор Медведев П.В.).

Произведенные исследования подчинены цели решения народнохозяйственных задач:

- обеспечение потребностей населения сельскохозяйственной продукцией и продовольствием российского производства;
- устойчивое развитие сельских территорий, повышение уровня жизни сельского населения;
- повышение конкурентоспособности российского аграрного комплекса;
- эффективное импортозамещение на рынке продовольственной продукции и создание развитого экспортного потенциала, позволяющего в перспективе занять устойчивые позиции на мировом рынке аграрной продукции;
- улучшение и повышение продуктивности используемых в сельскохозяйственном производстве земельных и других природных ресурсов.

Положения, выносимые на защиту:

- методики мониторинга свойств сырья и прогнозирования оптимальных параметров технологических процессов производства готовой продукции с заданными потребительскими свойствами за счет цифровизации зерноперерабатывающей, хлебопекарной, макаронной промышленности;
- твердозерность как комплексный показатель технологических качеств полуфабрикатов и готовой продукции зерноперерабатывающей, хлебопекар-

ной, макаронной промышленностей;

- геометрические характеристики (размеры и формы) частиц продуктов размола зерна (эквивалентный размер частиц X и коэффициент неровности частиц K) и алгоритмы их определения, используемые для оценки технологических качеств зерна пшеницы с использованием современных информационных технологий;

- экспресс-методики оценки физико-химических показателей качества зерна пшеницы и продуктов его переработки на основе фрактографического анализа продуктов размола зерна;

- лабораторная установка для экспрессного определения гранулометрического состава продуктов размола зерна и основные метрологические требования, предъявляемые к ней;

- закономерности взаимосвязи показателя твердозерности зерна с основными показателями качества продуктов размола зерна, полуфабрикатов и продукции хлебопекарного и макаронного производства для прогнозирования качества готовой продукции;

- информационно-измерительная система управления качеством хлебобулочных и макаронных изделий за счет выбора оптимальных технологических параметров замеса теста с учетом показателя твердозерности;

- установленные зависимости влияния агроэкологических факторов и биологических признаков зерна пшеницы на микробиологическую контаминированность *B.subtilis* и загрязненность тяжелыми металлами;

- рекомендации предприятиям отрасли по уточнению целевого назначения зерна пшеницы, повышению точности определения качества зерна, муки, прогнозированию качества и оптимизации технологии производства хлебобулочных и макаронных изделий на основе разработанных методик оценки технологических свойств пшеницы во взаимосвязи с генотипическими и агроэкологическими факторами.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности полученных результатов подтверждается большим объемом экспериментальных исследований, проводимых современными стандартными, общепринятыми и специальными методами; математической обработкой результатов исследований; низкими значениями погрешностей способов определения показателей относительно общепринятых методик; сопоставимостью полученных экспериментальных данных ранее опубликованным; а также актами промышленной апробации технических решений, патентами и свидетельствами о государственной регистрации программ, публикацией основных положений диссертации в рецензируемых ВАК печатных изданиях.

Основные результаты исследований по теме диссертации доложены и получили одобрение на научно-практических конференциях: международной «Пищевая промышленность: состояние, проблемы, перспективы» (Оренбург, 2009 г.); III всероссийской «Современное состояние перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания» (Челябинск, 2009 г.); X межрегиональной «Современное хлебопекарное производство: перспективы развития» (Екатеринбург, 2009 г.); VIII международной «Природноресурсный

потенциал, экология и устойчивое развитие регионов» (Пенза, 2010 г.); II международной «Новое в технологии и технике пищевых производств» (Воронеж, 2010 г.); международной «Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК» (Оренбург, 2010 г.); всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» (Оренбург, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019 г.); V международном хлебопекарном форуме (Москва, 2012 г.), IX международной научно-практической конференции «Передовые технологии – 2013» (Прага, 2013 г.), VI всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Бийск, 2013 г.), X международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы торгово-экономической деятельности и образования в современных условиях» (Оренбург, 2015 г.); международной научно-методической конференции «Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации», посвященной 60-летию Оренбургского государственного университета (Оренбург, 2015 г.), XI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы торгово-экономической деятельности и образования в современных условиях» (Оренбург, 2016 г.); I всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Промышленность: новые экономические реалии и перспективы развития» (Оренбург, 2017 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные задачи фундаментальных и прикладных исследований» (Оренбург, 2017, 2018 г.); международной молодежной научной конференции «Студенческие научные общества - экономике регионов» (Оренбург, 2018 г.); всероссийской научно-методической конференции «Новые пищевые продукты для рационального и сбалансированного питания» (Оренбург, 2018 г.); международной научной конференции теоретических и прикладных разработок «Научные разработки: евразийский регион» (Уфа, 2019 г.); международном научном форуме «Наука и инновации - современные концепции» (Уфа, 2019 г.); всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 45-летию факультета прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета «Перспективы развития пищевой и химической промышленности в современных условиях» (Оренбург, 2019 г.); всероссийской научно-практической конференции, посвященной 275-летию Оренбургской губернии и 85-летию Оренбургской области «Оренбургские горизонты: Прошлое, настоящее, будущее» (Оренбург, 2019 г.); международной научной конференции «Наука и инновации - современные концепции» (Москва, 2019 г.); международной научной конференции «Научные разработки: евразийский регион» (Москва, 2019 г.).

Результаты научной работы представлялись на I, II, III, IV международных молодежных форумах «Евразия» (Оренбург, 2016-2019 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 90 работ, в том числе 27 статей в изданиях, рекомендуемых ВАК, 3 статьи, входящие в базы Scopus & Web Of Science, 2 монографии, получены 3 патента на изобретения и 20 государственных свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из

введения, 5 глав, заключения, списка источников литературы из 191 наименования и 30 приложений. Основной текст изложен на 369 страницах текста, содержит 89 рисунков, 98 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, научная концепция и новизна, приведены сведения о практическом использовании полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **главе 1 «Обзор литературы...»** показан существующий дефицит высококачественного зерна (в частности, в Оренбургской области) как сырья для ежедневно потребляемых пищевых продуктов. Проведен анализ современных методов определения физико-химических и биохимических свойств зерна, муки, а также методов прогнозирования качества хлебобулочных и макаронных изделий. Показано, что на формирование потребительских свойств хлебобулочных и макаронных изделий оказывает влияние множество факторов, связанных как с условиями произрастания, так и с сортовыми особенностями пшениц. Отмечена возможность управления качеством готовой продукции на каждом из этапов производственного цикла хлебобулочных и макаронных изделий.

Приведена используемая в американском и канадском стандартах классификация пшениц по признаку твердости зерна (твердозерности). Описаны тесные связи показателя твердозерности зерна с его технологическими свойствами, оказывающими непосредственное влияние на качество готовой продукции, и потому позволяющие прогнозировать макаронные и хлебопекарные качества зерна. Показана приоритетность твердозерности для оценки потребительских свойств пшеницы по сравнению с другими показателями структурно-механических свойств зерна. Предложено производить оценку технологических свойств зерна по показателю твердозерности взамен трудоемких и часто напрямую не связанных с качеством готовой продукции показателей: стекловидности, натуры, зольности, характеристик клейковины и др. (рисунок 1).

В РФ для оценки структурно-механических свойств зерна прибегают к таким неустойчивым признакам как стекловидность. Выявлена большая изменчивость данного показателя - наличие высокой стекловидности у зерна еще не говорит об его высоких технологических качествах. Часто, в условиях большой урожайности, у пшеницы наблюдается ухудшение качества зерна (снижение содержания белка, количества и качества клейковины, твердозерности, повышение зольности, амилотической активности, прочих хлебопекарных и макаронных свойств и т.д.), при сохранении стекловидности на высоком уровне.

Проведен обзор существующих методик оценки твердозерности, выявлены достоинства и недостатки каждой. Показано, что способы определения твердозерности либо слишком трудоемкие, требующие дорогостоящего инструментария (микротвердость зерна), либо недостаточно надежные, не обладающие необходимой точностью (ситовой анализ размола зерна). Сложности в оценке твердозерности делают показатель менее популярным и мало используемым, в отличие от США и Канады. Установлена недостаточная точность ис-

пользуемых на сегодня в России для оценки твердозерности показателей дисперсности и гранулометрического состава продуктов размола зерна. Сделан вывод о необходимости исследований по использованию информационных технологий в области гранулометрического анализа для повышения точности определения технологических свойств зерна, муки, хлебобулочных и макаронных изделий.

Показана необходимость учета микробиологической обсемененности (контаминации) зерна, его способности к накоплению тяжелых металлов при формировании помольных партий в целях совершенствования контроля потребительских качеств зерна пшеницы и продуктов его переработки.

Выявлено отсутствие общего методологического подхода, отражающего связь технологических качеств пшеницы и потребительских характеристик готовой продукции. Отсюда следует необходимость в комплексной оценке влияния биологических и агроэкологических факторов на формирование потребительских свойств и управления качеством продуктов переработки пшеницы.

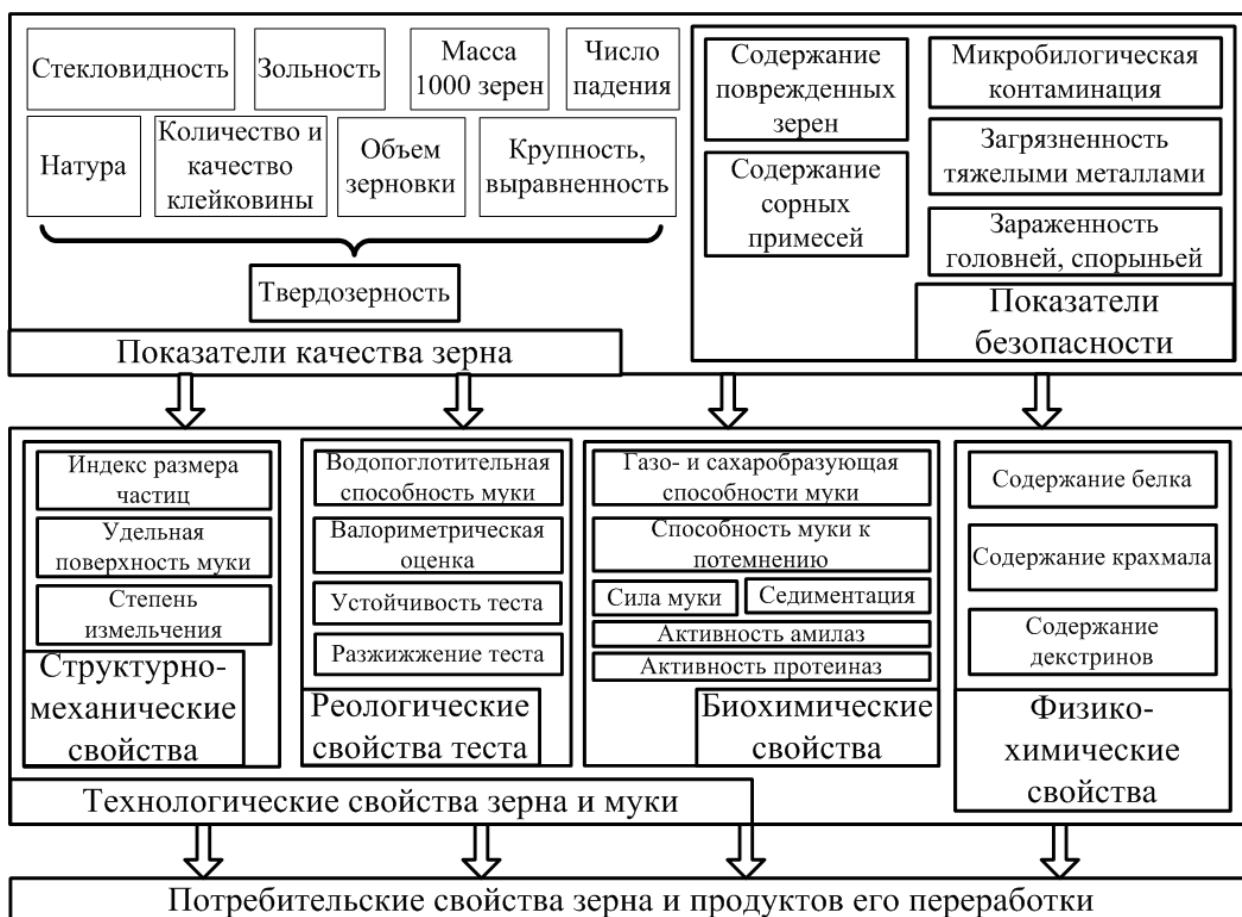


Рисунок 1 – Показатели качества зерна пшеницы, влияющие на потребительские свойства продуктов переработки зерна

В главе 2 «Объекты и методы исследований» описаны методы и объекты проведенных исследований. Объектами исследований стали 13 сортов пшеницы Оренбургской области, составляющие не менее 80 % от числа возделываемых в области сортов, урожая 3 природно-климатических зон (восточная, цен-

тральная, западная) за 10 лет испытаний (2009 - 2018 гг.). Изучали твердую пшеницу шести сортов: Оренбургская 10, Безенчукская 200, Оренбургская 21, Безенчукская янтарь, Харьковская 3, Степь 3 и мягкую пшеницу семи сортов: Саратовская 42, Учитель, Оренбургская 13, Юго-восточная 3, Варяг, Прохоровка, Л-503.

Размол зерна в муку проводили на лабораторной мельничной установке Nagema. Полученная мука по показателям качества соответствовала пшеничной муке первого сорта. Тесто для производства хлеба замешивали в тестомесильной машине периодического действия МТВК-80. Макароны изготавливали на макаронном прессе Dolly Imperia&Monferrina.

В работе широко использовали как общепринятые физико-химические, биохимические, реологические, органолептические методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и изделий, так и разработанные автором.

Многолетние статистические данные по содержанию тяжелых металлов предоставлены ФГУ «Государственный центр агрохимической службы «Оренбургский» и дополнены результатами, полученными атомно-абсорбционным спектроскопическим методом в аккредитованном отделе спектрального анализа Центра коллективного пользования приборным оборудованием «Институт микро- и нанотехнологий» (ЦКП ИМНТ ОГУ). Экспериментальные исследования проводили в лабораториях кафедры технологии пищевых производств, лаборатории кафедры материаловедения и технологии материалов ФГБОУ ВО «ОГУ», аккредитованном испытательном центре ФГБНУ ВНИИМС.

В ходе проведения экспериментов использовали методы корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализов с использованием программных продуктов Statsoft Statistica 8.0, Microsoft Excel 2010, SPSS Statistics 17.0. Структурная схема проведения исследований представлена на рисунке 2.

В главе 3 «**Анализ технологических достоинств пшениц Оренбургской области и разработка методологии прогнозирования качества хлебобулочных и макаронных изделий**» систематизированы данные о влиянии генотипа пшеницы на формирование ее технологических свойств и потребительских качеств производимых из нее хлебобулочных и макаронных изделий.

Проведенный сравнительный анализ пшениц трех природно-климатических зон Оренбургской области обнаружил устойчивые корреляции для всех исследуемых зон между: качеством клейковины и валориметрической оценкой, формоустойчивостью хлеба; числом падения и степенью разжижения теста, формоустойчивостью хлеба, микротвердостью зерна; микротвердостью зерна и водопоглотительной способностью муки, степенью разжижения теста, газообразующей способностью муки. Результаты дисперсионного анализа показали, что влияние сорта пшеницы, т.е. генотипа на показатели числа падения и твердозерности являются существенными. В то же время показатели натуры, влажности, стекловидности, количества и качества клейковины в большей степени зависят от условий места и года произрастания (природно-климатических условий).

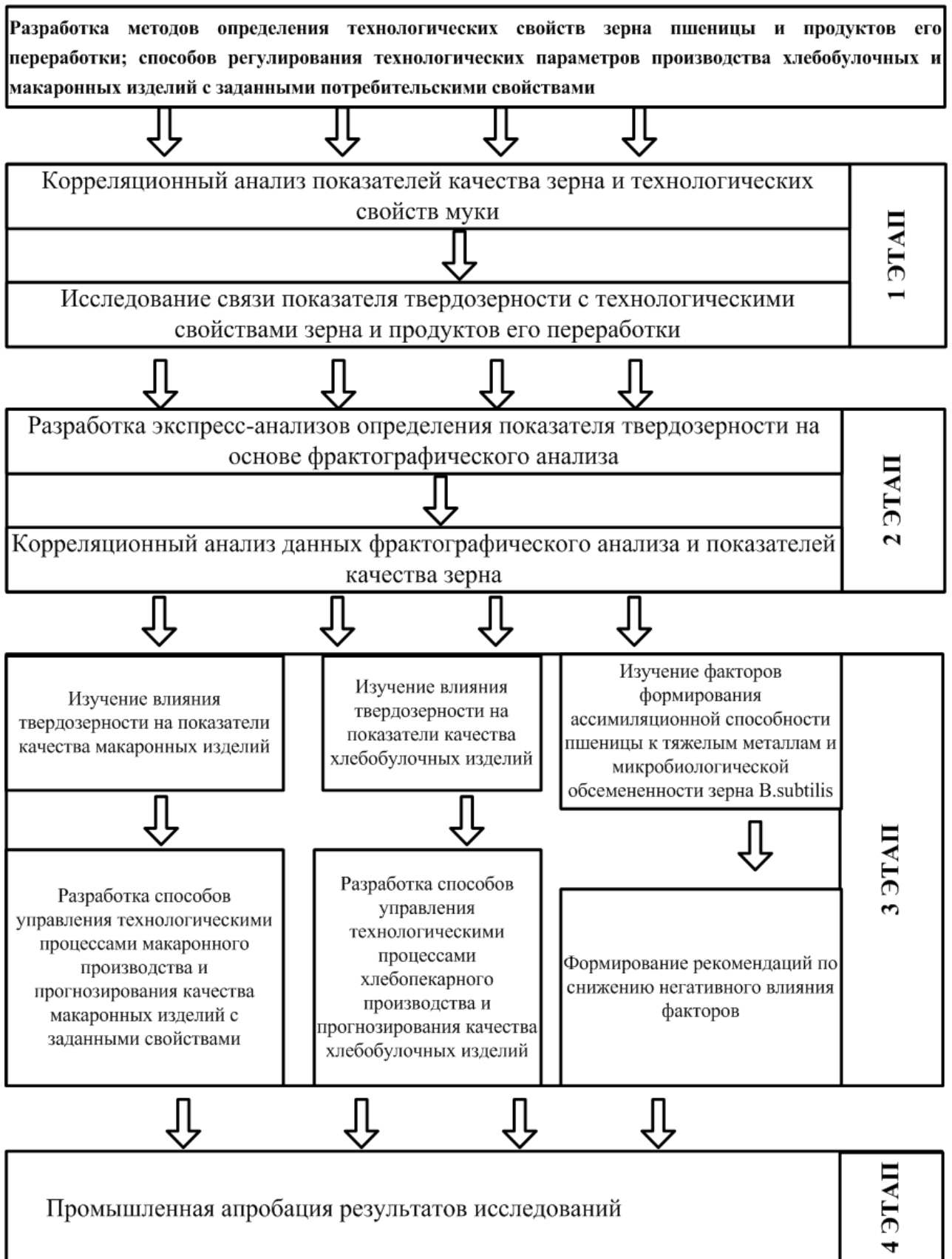


Рисунок 2 - Структурная схема проведения исследований

Установлены взаимосвязи технологических показателей качества муки, хлебобулочных и макаронных изделий с твердозерностью зерна, что является предпосылкой для их прогнозирования, например, выявлены статистически значимые связи линейного характера твердозерности с показателями водопоглотительной способности муки (ВПС) и числом падения (таблица 1).

Получены полиномиальные уравнения второго порядка, описывающие связи твердозерности с объемным выходом и формоустойчивостью хлеба, адекватные для всех сортов пшеницы (рисунок 3). Значимость уравнений регрессии по мере увеличения степени полинома возрастает несущественно.

Показатели варочных свойств макаронных изделий оценивали по ГОСТ 31964-2012. Высокотвердозерные образцы зерна характеризуются меньшими потерями сухих веществ при варке (не превышают 2,5 %, тогда как у низкотвердозерных от 3 до 6 %), бóльшим увеличением массы изделий после варки и бóльшей прочностью сухих изделий на срез (таблица 2).

Таблица 1 – Корреляционная матрица взаимосвязей технологических показателей качества пшеницы (критическое значение коэффициента корреляции $r = 0,25$)

Показатели	Твердозерность, оцененная микротвердостью зерна, кг/мм ²		Твердозерность, оцененная индексом размера частиц муки, %		Стекловидность, %	
	твердая	мягкая	твердая	мягкая	твердая	мягкая
Сахаробразующая способность муки, мг мальтозы/10 г муки	0,24	0,21	0,20	0,15	0,21	0,19
Газообразующая способность муки, см ³ /100 г муки	0,24	0,25	0,22	0,23	0,15	0,12
Водопоглотительная способность муки, %	0,67*	0,57*	0,45*	0,35*	0,28*	0,24
Число падения, с	0,44*	0,40*	0,31*	0,22	0,21	0,20
Объемный выход хлеба, дм ³ /100 г муки	0,06	0,05	0,08	0,11	0,11	0,14
Формоустойчивость	0,03	0,12	0,09	0,14	0,09	0,07
Количество клейковины, %	0,28	0,26	0,28	0,25	0,38	0,35
Качество клейковины, ед. ИДК	0,23	0,22	0,22	0,21	0,24	0,21

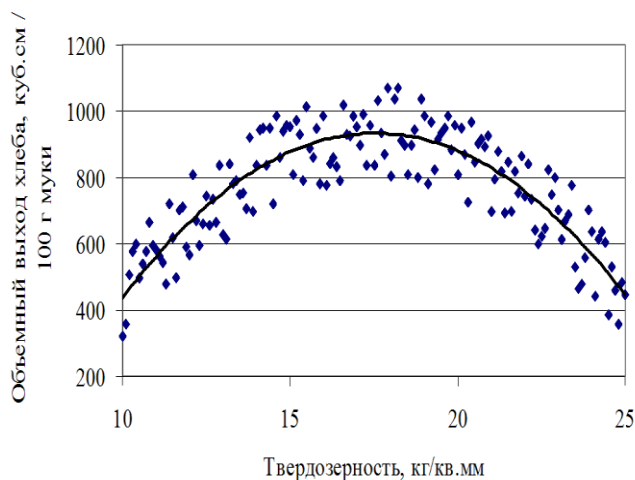
* - коэффициент корреляции является существенным при уровне значимости $\alpha = 0,05$

$$Y = -0,012 \cdot X^2 + 0,363 \cdot X - 2,224$$

$$R^2 = 0,845; F_{\text{расч}} = 98,1 > F_{\text{табл}} = 3,2$$

X - Твердозерность, кг/мм²;

Y - Объемный выход хлеба, дм³/100 г муки

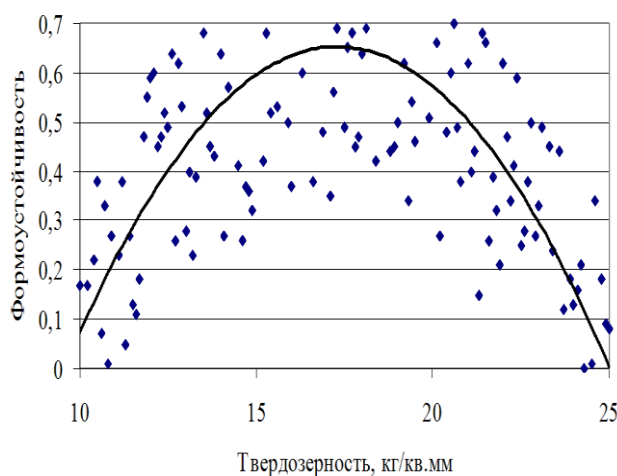


$$Y = -0,013 \cdot X^2 + 0,408 \cdot X - 2,569$$

$$R^2 = 0,745; F_{\text{расч}} = 52,7 > F_{\text{табл}} = 3,2$$

X - Твердозерность, кг/мм²;

Y - Формоустойчивость, усл. ед.



а) для объемного выхода хлеба

б) для формоустойчивости хлеба

Рисунок 3 – Зависимости хлебопекарных свойств муки от твердозерности зерна

Таблица 2 - Корреляционная матрица взаимосвязи показателей качества зерна и основных технологических характеристик макаронных изделий

Показатели	Влажность зерна, %	Кислотность, гр. Т	Содержание клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Твердозерность, кг/мм ²	Стекловидность, %
Коэффициент увеличения массы после варки (гидратационная способность)	0,23	0,11	0,39	-0,71	0,67	0,42
Сухие вещества, перешедшие в воду при варке, %	0,14	0,04	-0,84	0,82	-0,58	-0,45
Время варки до готовности, мин	0,14	0,12	0,85	0,31	-0,57	0,51
Прочность сухих изделий на срез, Н	-0,31	-0,14	0,64	-0,53	0,82	0,62

Проведено ранжирование традиционных показателей физико-химических свойств зерна по прогностической способности качества готовой продукции. Показано, что показатель твердозерности наиболее тесно связан с наибольшим числом показателей качества готовой продукции. Структура взаимосвязей представлена графом - совокупностью, в которой узлы - это показатели качества, а ребра – связи между ними (рисунок 4).



Рисунок 4 – Структура взаимосвязей показателей качества зерна и продуктов его переработки

Каждое ребро имеет свой вес, согласно степени связи (коэффициенту корреляции) между двумя узлами – показателями качества. Ранжирование узлов проводили с учетом весов примыкающих к ним ребер и степени промежуточности – количеству примыкающих к узлу ребер. Высокая степень промежуточности узла говорит о его высокой значимости в формировании технологических качеств зерна и продуктов его переработки. Размер шрифта наименования показателя зависит от его ранга. Это позволило визуально разделить показатели качества по их значимости, подтвердило высокую информативность показателя твердозерности для оценки технологических достоинств пшеницы.

Экспериментально подтверждена невысокая точность используемых в России методов оценки твердозерности (в частности, с помощью определения гранулометрического состава размола зерна ситовым анализом), что делает их малопригодными для достоверной оценки (таблица 1).

Перспективным является повышение информативности гранулометрического анализа за счет использования современных интеллектуальных систем при цифровизации отрасли. Для исследования продуктов размола зерна пшеницы использовали расширенный гранулометрический – т.н. фрактографический анализ размола зерна путем оптической микроскопии, позволяющий учитывать не только линейные размеры частиц размола, но и их форму. Применение современных информационных технологий - технического (компьютерного) зрения для классификации частиц по форме и размеру позволило существенно снизить временные и трудозатраты, а также погрешность оценки.

Фрактографический анализ проводили на лабораторной установке, состоящей из цифровой камеры Sony IMX219 Exmor RS 8MP (CMOS) с восьмимегapixelным сенсором, оснащенной для точного позиционирования относительно измельченного материала сервоприводами в синхронном исполнении. Обработку изображений микроснимков осуществляли миниатюрным одноплатным компьютером Raspberry Pi 3 Model B+ (процессор ARM Cortex-A53) под управлением операционной системы Raspbian stretch (GNU/Linux 9.1).

Для анализа изображений продуктов размола зерна разработано программное обеспечение на основе OpenCV – библиотеки алгоритмов технического зрения. На первом этапе анализа частицы размолотого зерна определяют как отдельные объекты за счет программной обрисовки каждой замкнутым контуром. На выходе образуется массив проекций контуров частиц - фигур, у которых определяются их геометрические характеристики. Выделены наиболее значимые характеристики фигур. Из центров тяжести фигур алгоритмами технического зрения выделяется достаточное количество отрезков во все стороны, вычисляются средние значения длин (X), их вариации (K) у каждой фигуры. При анализе выборки из большого количества частиц средние значения X и K в наибольшей степени характеризуют размер частиц и форму (таблица 3).

Выявлены взаимосвязи между данными фрактографического анализа продуктов размола зерна (геометрическими характеристиками частиц) и его физико-химическими свойствами, позволяющие прогнозировать технологические качества зерна и производимой из него продукции (рисунок 5).

Таблица 3 – Корреляционные зависимости показателей технологических свойств зерна пшеницы от данных фрактографического анализа размола зерна

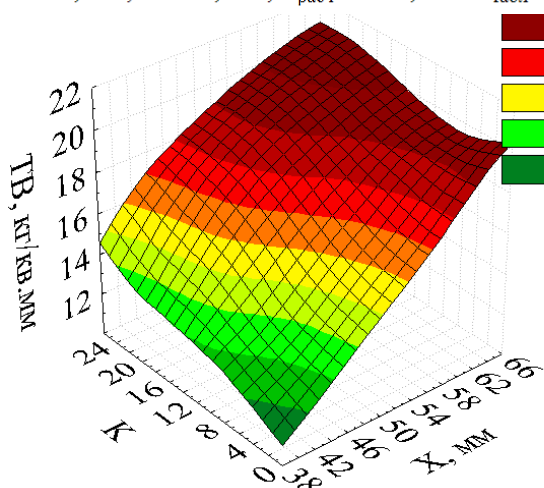
Показатели	Водопоглотительная способность, %	Количество клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Число падений, с	Влажность, %	Зольность, %
Средняя площадь частиц S	0,822	0,791	0,755	0,647	0,325	0,251
Средний эквивалентный размер частиц X	0,891	0,829	0,792	0,655	0,342	0,297
Средний коэффициент вытянутости частиц V	0,622	0,596	0,425	0,647	0,257	0,243
Средняя компактность частиц M	0,794	0,815	0,782	0,597	0,145	0,247
Средний коэффициент неровности частиц K	0,850	0,823	0,791	0,671	0,254	0,201

На основе многолетних исследований большого количества образцов зерна (13 сортов пшеницы 3 зон Оренбургской области за 10 лет изучения) установлено, что определение твердозерности фрактографическим анализом харак-

теризуется меньшими погрешностями (2,6 - 2,9 %) в сравнении с альтернативными способами, основанными на оценке дисперсности продуктов размола зерна: по индексу размера частиц (5,9 - 6,8 %), удельной поверхности продуктов размола зерна (10,6 - 15,6 %).

$$TB = 0,15 \cdot K_{CP} + 0,28 \cdot X_{CP} + 0,90$$

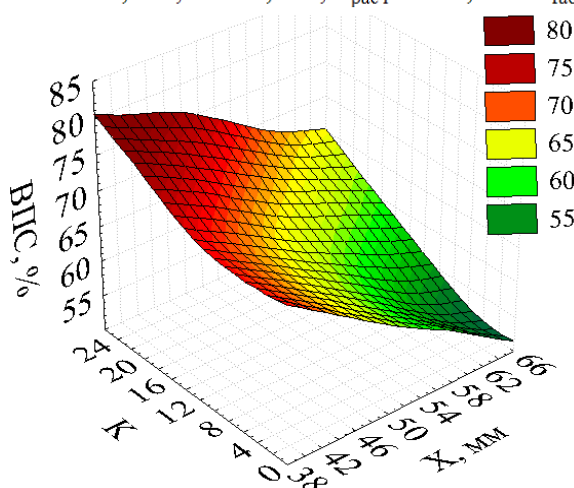
$$r = 0,953; R^2 = 0,908; F_{расч} = 132,95 > F_{табл} = 2,27$$



а – для твердозерности

$$BPC = 0,53 \cdot K_{CP} - 0,67 \cdot X_{CP} + 93,02$$

$$r = 0,963; R^2 = 0,925; F_{расч} = 172,60 > F_{табл} = 2,27$$



б – для показателя ВПС

Рисунок 5 – Связь показателей фрактографического анализа размола зерна пшеницы с технологическими свойствами зерна и муки

Погрешности определения показателей качества фрактографическим анализом оценены путем сравнения с данными, полученными стандартными или традиционными способами, принятыми в качестве референтных (эталонных). Так, погрешность для водопоглотительной способности муки составила 4,8 - 4,9 %, валориметрической оценки муки 3,1 - 3,5 %; для объемного выхода хлеба 4,1 - 4,5 %, формоустойчивости хлеба 2,8 - 3,1 %.

Фрактографический анализ и описанная лабораторная установка являются методологической и инструментальной частью информационно-измерительной системы мониторинга свойств сырья и прогнозирования потребительских свойств готовой продукции. Разработана функциональная схема такой системы, позволяющей непрерывно в режиме «реального времени» прогнозировать и управлять качеством хлебобулочных и макаронных изделий, внося корректировки в технологические процессы.

Одной из технических задач для повышения точности фрактографического анализа была необходимость в обособленном расположении частиц продуктов размола зерна. Опытным путем установлено, что не допустить эффекта слипания частиц можно, используя совместное воздействие электростатических полей и вибрации. Между заряженными частицами возникает электростатическое отталкивание. При определенном напряжении частицы приходят в движение, покрывая поверхность равномерным слоем. Эксперименты показали, что повышение напряжения и увеличение частоты вибраций приводят к снижению эффекта слипания частиц до минимума, наилучшие технические параметры для

этого составляют: электрическое напряжение 24 кВ и частота вибраций поверхности с анализируемой пробой размолотого зерна 45 Гц.

Развитием теории фрактографического анализа применительно к продуктам размолотого зерна стала разработка искусственной нейронной сети на основе многослойного перцептрона Розенблатта, позволяющая классифицировать частицы по форме и размеру (рисунок 6).

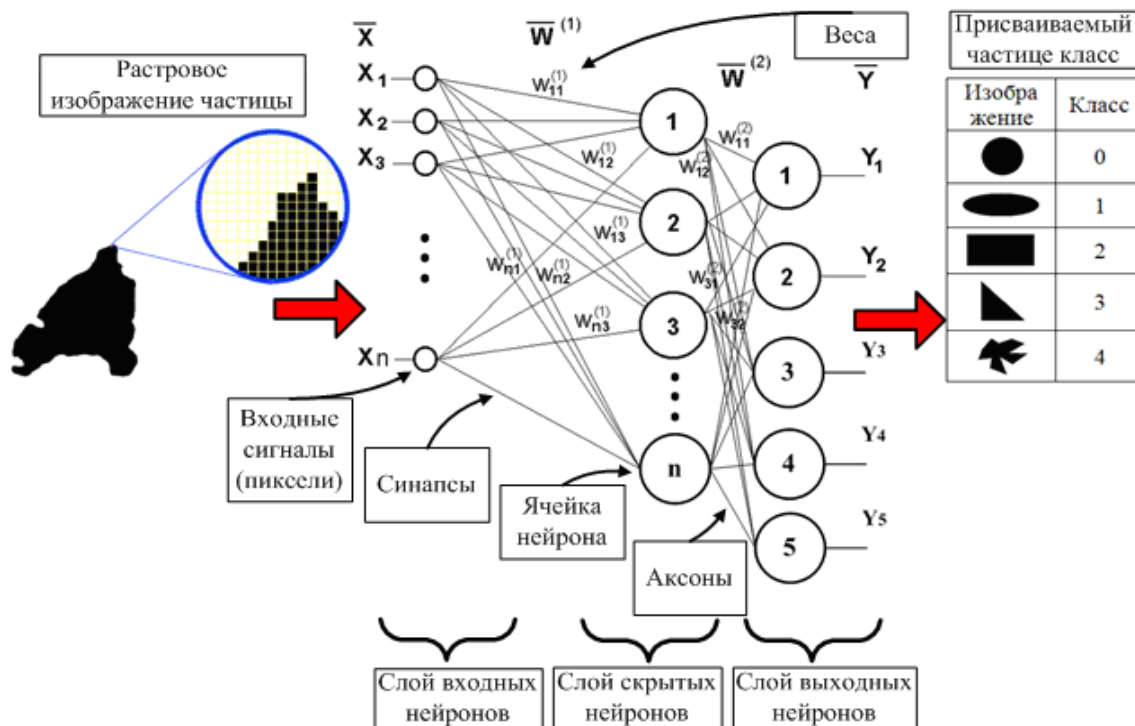


Рисунок 6 – Схема реализации искусственной нейронной сети

Установлено, что средство частиц продуктов размолотого зерна с геометрическими примитивами (круг, овал, прямоугольник, треугольник, многоугольник) напрямую связано с твердозерностью исходного сырья. Погрешность определения твердозерности, оцененная по числу ошибок определения класса твердозерности, составляет $0,6 \pm 0,4 \%$.

В главе 4 «Управление технологией производства для получения продукции с заданными потребительскими качествами» определены предпочтительные технологические параметры замесов хлебопекарного и макаронного теста с учетом твердозерности исходного зерна.

Производимая в результате помола на лабораторной мельнице Nagema мука соответствовала муке первого сорта. Муку получали из зерна мягких и твердых сортов пшеницы с различной твердозерностью (в широком диапазоне - от 10 до 28 кг/мм²), что позволило сформировать «линейку» из 163 образцов муки с нормальным распределением показателя твердозерности (максимальная разница между двумя последовательными значениями твердозерности образцов не превышала 0,2 кг/мм²).

Из муки вырабатывали хлебобулочные изделия однофазным (безопарным) способом - хлеб белый из муки первого сорта по ГОСТ 26987-86 подовый и формовой. Из множества параметров технологического процесса варьировали

влажность и интенсивность замеса теста (продолжительность замеса в тестомесильной машине при постоянной скорости перемешивания). Из значимых показателей качества хлеба анализировали: объемный выход хлеба (изменялся в диапазоне от 200 до 600 см³/100 г муки) и интегральную характеристику органолептической оценки хлеба по 100-балльной шкале (изменялась в диапазоне от 40 до 80 баллов) по методике МГУПП. Тесто замешивали в лабораторной тестомесильной машине периодического действия МТВК-80 в течение от 5 до 30 минут.

Анализ совместного влияния влажности теста и твердозерности на показатели качества хлеба (при постоянном значении удельной работы на замес 40 Дж/г) показывал, что мука из низкотвердозерного зерна позволяет получить хлеб со средним объемным выходом, с повышением твердозерности зерна объемный выход хлеба увеличивается (рисунок 7). Однако, если твердозерность зерна выше 15-20 кг/мм² значения объемного выхода убывают. При этом для муки из низкотвердозерного зерна (ниже 16 кг/мм²) хлеб с большим объемным выходом получается при относительно низкой влажности теста (ниже 45 %), для муки из высокотвердозерного зерна (выше 18 кг/мм²) максимально качественный по объемному выходу хлеб получается при замесе теста с более высокой влажностью (выше 45 %).

По результатам анализа произведенных образцов хлеба получены уравнения зависимостей качества хлеба от анализируемых факторов (твердозерности зерна, влажности теста, удельной работы на замес). На основе данных о твердозерности возможно прогнозирование и управление качеством хлеба (таблица 4): V - объемный выход, см³ / 100 г муки; H/D - формоустойчивость; Est - общая балловая оценка, балл; X_1 - твердозерность зерна, кг/мм²; X_2 - влажность теста, %; X_3 - удельная работа на замес теста, Дж/г. Погрешность прогнозирования составляет: для объемного выхода – не более 8 %, для балльной оценки – не более 15 %.

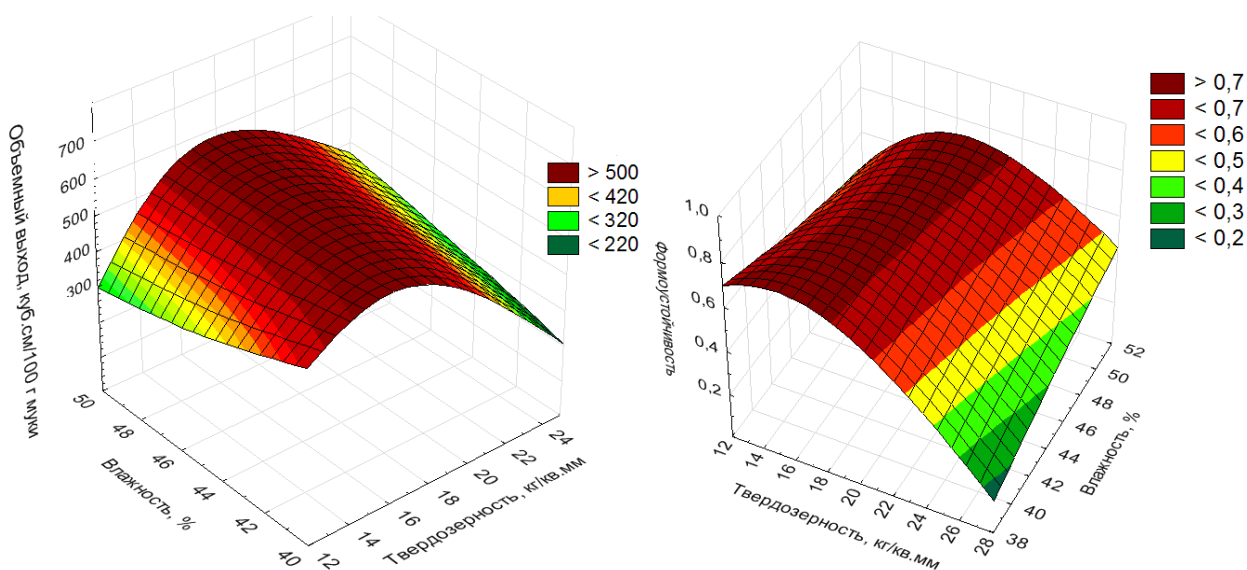


Рисунок 7 – Совместное влияние влажности теста и твердозерности зерна на показатели качества хлеба, произведенного безопарным способом

Таблица 4 – Уравнения регрессии факторов формирования качества хлеба белого, произведенного безопасным способом

Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера	
		расчетный	табличный
$V = 25,185 \cdot X_1 - 54,518 \cdot X_2 + 3,289 \cdot X_3 - 3,944 \cdot X_1^2 + 0,066 \cdot X_2^2 - 0,027 \cdot X_3^2 + 2,597 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1273,010$	0,74	35,1	4,2
$V = 127,559 \cdot X_1 + 0,007 \cdot X_3 - 3,944 \cdot X_1^2 + 0,322 \cdot X_1 \cdot X_2 - 788,119$	0,86	24,7	4,2
$H/D = 0,025 \cdot X_1 - 0,055 \cdot X_2 + 0,003 \cdot X_3 - 0,004 \cdot X_1^2 + 0,003 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,659$	0,79	32,4	4,2
$Est = -0,661 \cdot X_1^2 + 18,120 \cdot X_1 + 1,260 \cdot X_2 - 0,035 \cdot X_3^2 + 1,638 \cdot X_3 - 113,75$	0,53	12,5	4,2

Кроме того, производили хлеб белый из муки первого сорта формовой и подовый опарным способом, варьируя влажность опар от 41 % до 72 % с шагом 1 %. Основываясь на показателях качества полученных образцов хлеба (объемный выход, формоустойчивость, общая балловая оценка, выход хлеба) установили наиболее оптимальную влажность опары для муки из зерна с различной твердозерностью.

Как выяснено на примере безопасного способа тестоприготовления, повышение величины удельной работы на замес теста приводит к планомерному улучшению показателей качества хлеба, вне зависимости от твердозерности зерна. Для упрощения модели формирования качества хлеба использовали постоянную величину удельной работы на замес теста 40 Дж/г.

Установлены зависимости показателей качества хлеба от структурно-механических свойств исходного сырья (твердозерности зерна) и технологических параметров тестоприготовления – влажности опары (рисунки 8, 9, 10, 11). Диаграммы (номограммы) изменения показателей качества хлеба демонстрируют предпочтительные значения влажности опары в зависимости от твердозерности исходного зерна.

Как следует из данных номограмм, мука из низкотвердозерного зерна до 14 кг/мм² позволяет получить хлеб с максимально возможным объемным выходом при минимальной влажности опары 40 %, с повышением твердозерности для получения максимальных значений объемного выхода хлеба необходимо выбирать опару с более высокой влажностью (45-50 %). Однако, максимально возможный выход хлеба из муки исходного зерна низкой твердозерности до 14 кг/мм² достигается использованием опары с максимально возможной влажностью (вплоть до 70 %). Для одновременного поддержания высокого качества производимой продукции (максимально высокий объемный выход) и ее рентабельности (максимально высокий весовой выход) при выборе влажности опары рекомендовано достижение компромисса между ними.

Ситуация меняется при использовании муки из зерна с твердозерностью от 14 до 22 кг/мм², оптимальная влажность опары для получения хлеба с наилучшими показателями качества (объемного выхода, формоустойчивости, общей балловой оценки) от 50 до 55 %. Для муки из высокотвердозерного зерна от 22 до 32 кг/мм² предпочтительно использовать опары с влажностью выше 55 %, это позволит достигнуть и максимального объемного и весового выхода хлеба. Однако, качество получившегося хлеба – низкое по сравнению со среднетвердозерным зерном, ввиду чего предпочтительно использовать такую муку при производстве хлеба в качестве улучшителя.

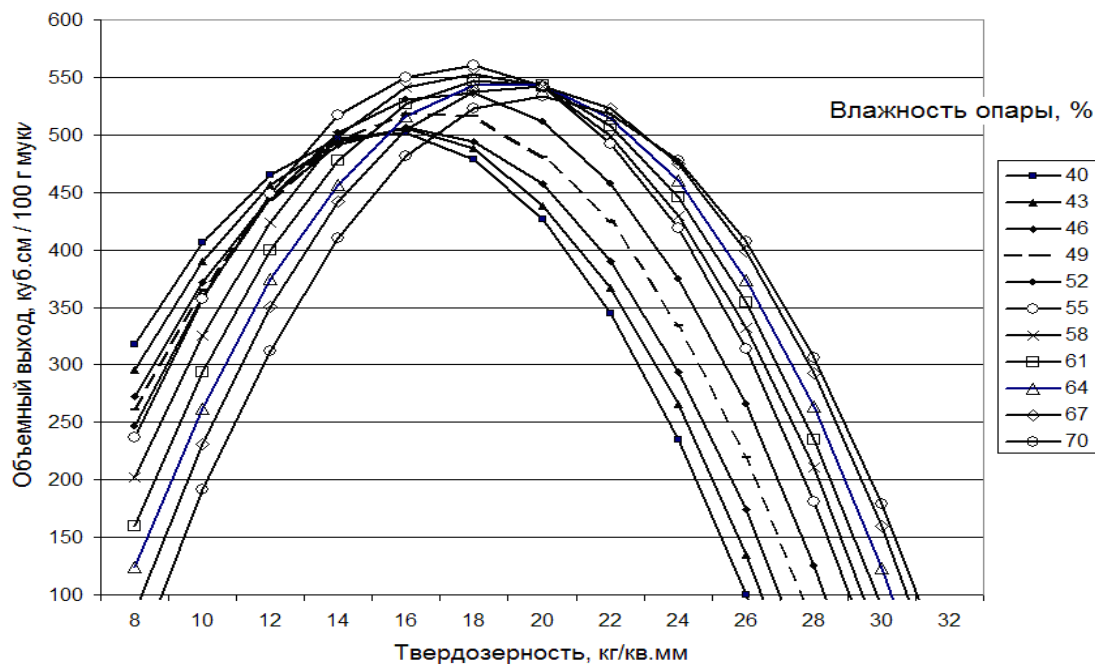


Рисунок 8 – Номограмма объемного выхода хлеба

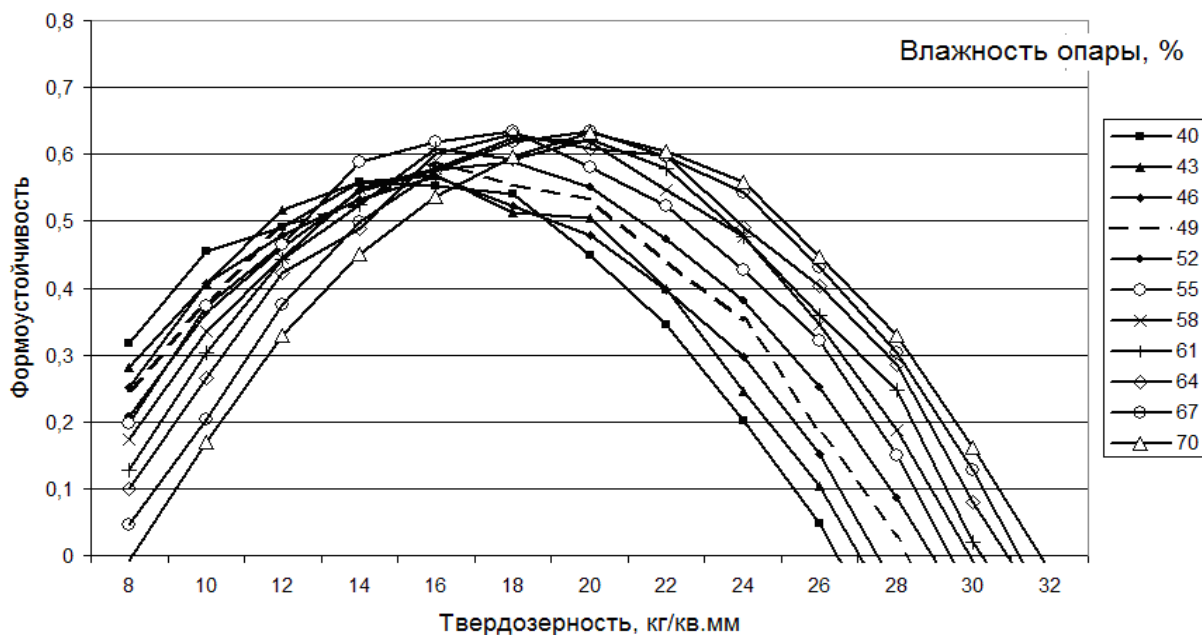


Рисунок 9 – Номограмма формоустойчивости хлеба

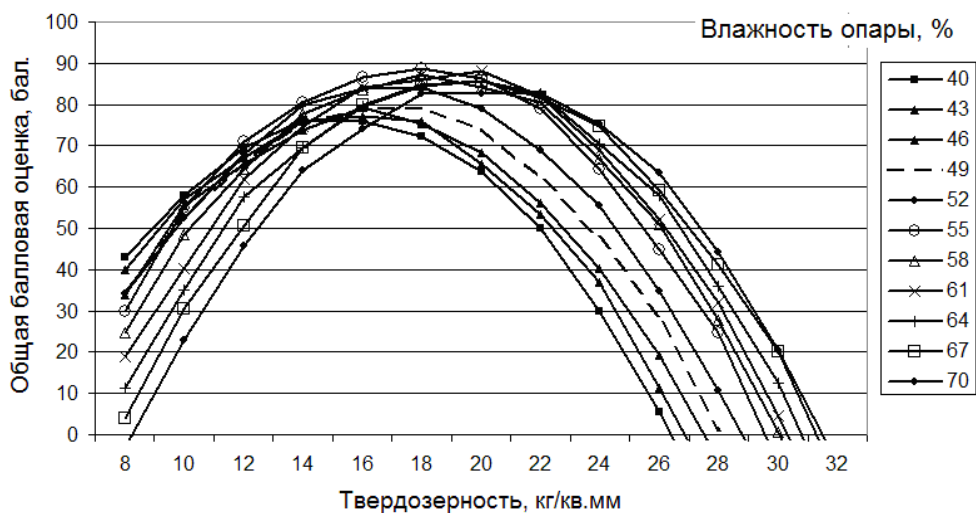


Рисунок 10 – Номограмма общей балловой оценки хлеба

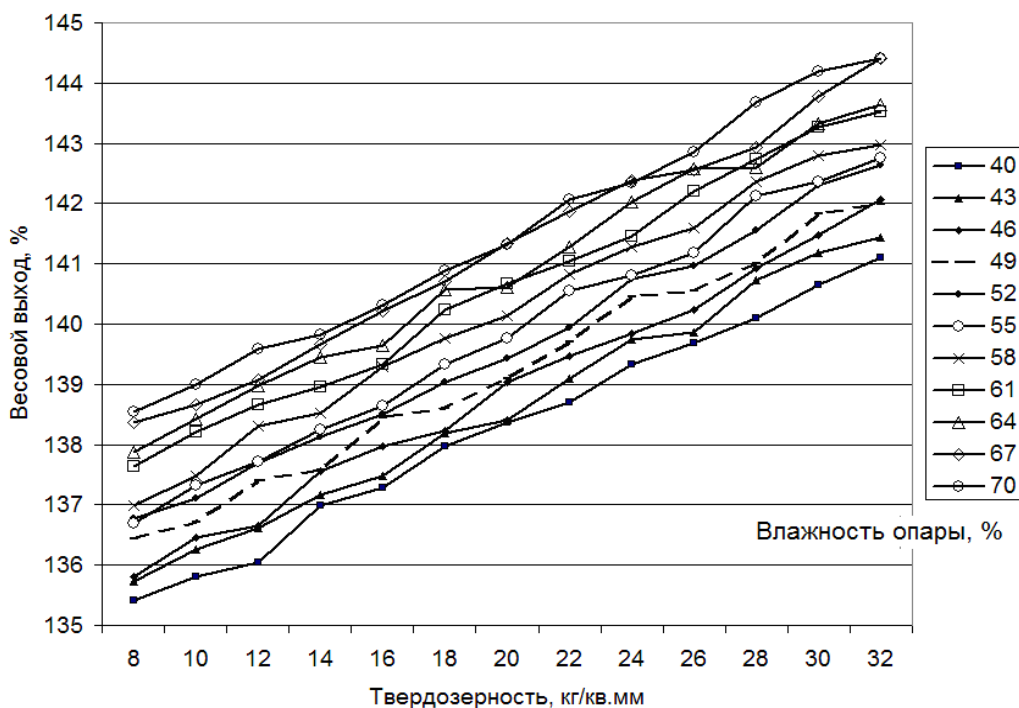


Рисунок 11 – Номограмма выхода хлеба

Весовой выход хлеба линейно увеличивается с повышением твердозерности зерна и линейно возрастает с повышением влажности опары (в среднем на 1 % при повышении влажности опары на 8 %). Максимально возможные значения показателей объемного и весового выхода хлеба для муки из зерна с различной твердозерностью в большинстве случаев достигаются варьированием влажности опар. Например, для муки из зерна с твердозерностью 13 кг/мм² максимум объемного выхода хлеба 475 см³ / 100 г муки при использовании опары влажностью 40 %; максимум весового выхода хлеба 139,8 % при использовании опары влажностью 70 %.

При расчетах экономического эффекта от модернизации технологии производства учитывался исключительно весовой выход хлеба, при соблюдении требований нормативной и технической документации, предъявляемых к качеству продукции. Проводили сравнительный анализ экономической эффектив-

ности технологии хлеба белого формового из муки первого сорта, произведенного двумя способами. Первый способ – с традиционным выбором значений влажности и продолжительности замеса опары и теста. Второй способ учитывал твердозерность зерна, служившего сырьем и гибко варьировал технологические параметры производства. Основываясь на данных, предоставленных ЗАО «Хлебопродукт-2», установлено, что средний доход от реализации 1 кг ассортимента хлеба массовых сортов составляет около 18,0 руб. Экспериментально установлено - прирост весового выхода хлеба пшеничного из муки первого сорта, в среднем, составляет около 0,9 %, что даст дополнительной прибыли от реализации каждой тонны хлеба около 162 рублей. Среднегодовой доход от использования предлагаемых мероприятий для предприятия мощностью 60 т/сут составит около 2 430 000 рублей.

С целью изучения влияния твердозерности зерна на выбор оптимальных режимов замеса макаронного теста использовали «линейку» из 39 образцов муки с нормальным распределением показателя твердозерности (максимальная разница между двумя последовательными значениями твердозерности образцов не превышала 0,3 кг/мм²).

Приведены установленные зависимости варочных свойств макаронных изделий от твердозерности исходного для производства муки зерна (пример для твердого холодного режима замеса - таблица 5). Дифференцированный подход к выбору режимов замеса макаронного теста (по количеству и температуре воды) в зависимости от твердозерности зерна позволяет улучшить варочные свойства (развариваемость, потери сухих веществ при варке, время варки до готовности и др.), что подтверждено экспериментальными данными (таблицы 5, 6).

Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа зависимости качества готовых изделий от твердозерности X, кг/мм² (твердый холодный режим замеса теста)

Тип уравнения	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера	
				табл	расч
K_r – Коэффициент увеличения массы макаронных изделий при варке					
линейный	$K_r = -0,069 \cdot X + 3,065$	0,889	0,790	4,2	182
СВ - Сухие вещества, перешедшие в воду при варке, %					
полином	$СВ = 0,003 \cdot X^2 - 0,140 \cdot X + 6,991$	0,932	0,869	4,2	52,7
T - Время варки до готовности, мин					
линейный	$T = -0,521 \cdot X + 15,257$	0,874	0,764	4,2	125
P - Прочность сухих изделий на срез, Н					
полином	$P = 0,008 \cdot X^2 + 4,875$	0,874	0,764	4,2	30,2

На рисунках 12, 13 приведены зависимости варочных свойств макаронных изделий при различных типах замеса: 1 – горячий твердый ($T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=29\%$), 2 – теплый твердый ($T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=29\%$), 3 – холодный твердый ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=29\%$), 4 – горячий средний ($T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=31\%$), 5 – теплый средний ($T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=31\%$), 6 – холодный средний ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=31\%$), 7 – горячий мягкий ($T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=33\%$), 8 – теплый мягкий ($T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=33\%$), 9 – холодный мягкий ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W=33\%$). Произведен 351 замес макаронного теста из муки зерна 13 сортов пшеницы 3 зон произрастания по 9 типам замеса.

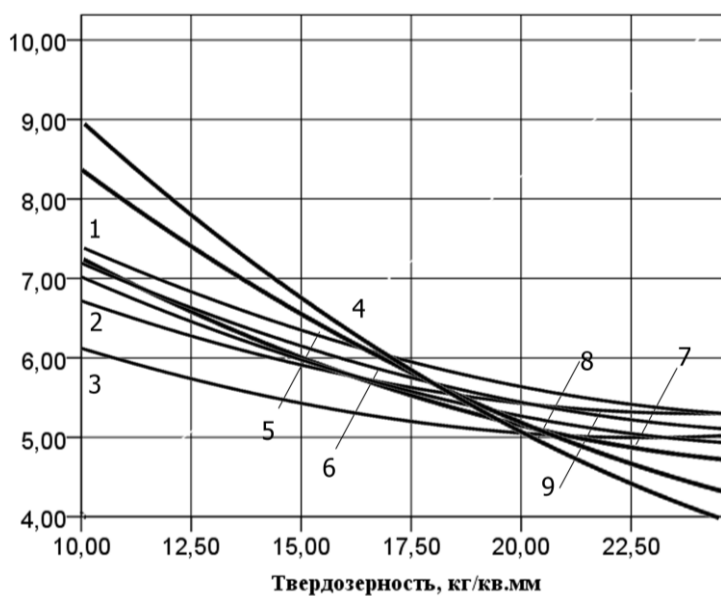
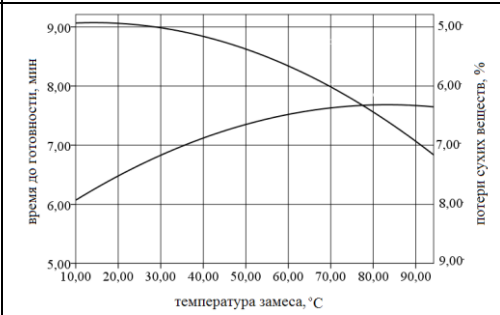
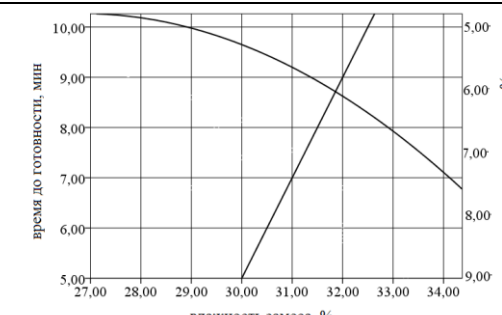
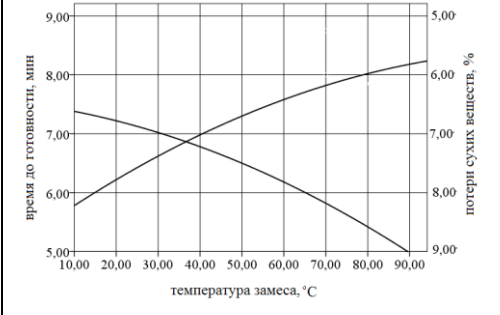
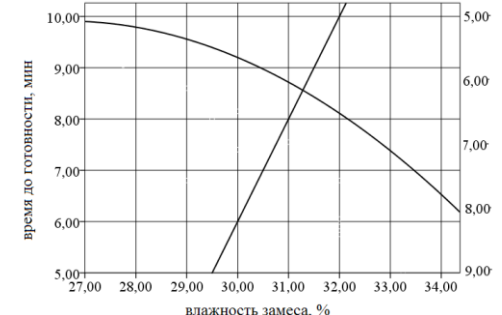
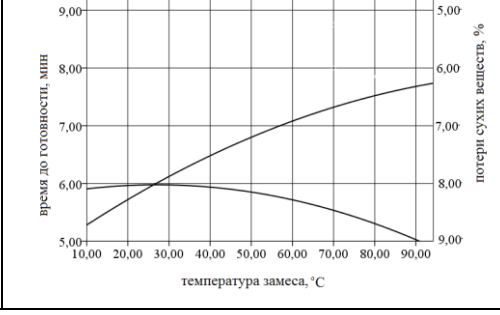
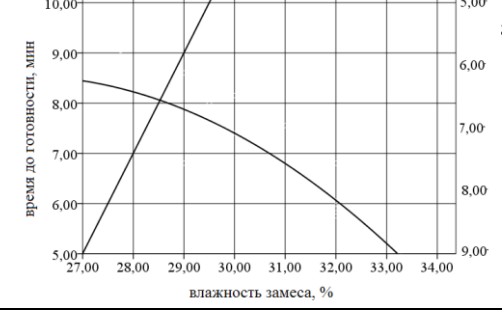


Рисунок 12 – Кривые зависимостей потерь сухих веществ макаронными изделиями при варке (в %) от твердозерности зерна и режимов замеса теста

Как следует из представленных данных, твердозерность является объективным показателем технологических свойств зерна и может стать основой для выбора оптимальных режимов технологического процесса, обеспечивающего максимально возможное качество готовой продукции. На основе данных графиков, можно производить выбор предпочтительных параметров влажностно-температурных режимов замеса теста в зависимости от твердозерности и на этапе замеса теста прогнозировать качество готовой продукции. Для производства макаронных изделий с использованием муки из высокотвердозерного зерна предпочтительным является горячий режим замеса теста, обеспечивающий более прочные макаронные изделия, снижение потерь сухих веществ при варке, увеличение времени варки до готовности. К этому же приводят средний и мягкий режимы замеса макаронного теста (потери белка при варке минимальны при среднем замесе, время варки минимально при мягком замесе).

Таблица 6 – Влияние показателя твердозерности на выбор оптимальных влажно-температурных режимов замеса макаронного теста

Твердозерность зерна (кг/мм ²)	Варьирование температуры воды для замеса макаронного теста	Варьирование влажности макаронного теста
от 20 до 25 (сверхвысоко твердозерное зерно)		
от 15 до 20 (высоко твердозерное зерно)		
от 10 до 15 (средне твердозерное зерно)		

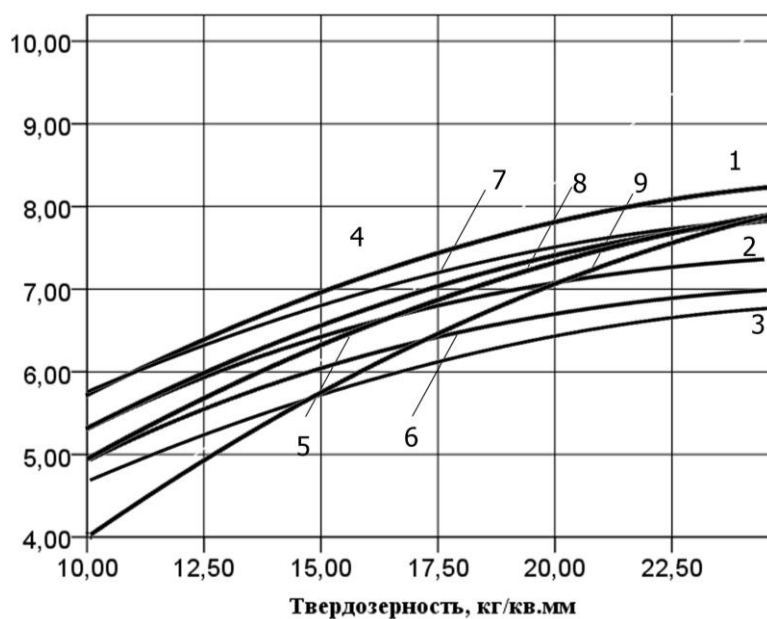


Рисунок 13 – Кривые зависимостей времени варки макаронных изделий до готовности (в мин) от твердозерности зерна и режимов замеса теста

В главе 5 «Влияние генотипических и агроэкологических факторов на микробиологическую контаминированность и загрязненность тяжелыми металлами зерна пшеницы и разработка способов их прогнозирования» производили оценку влияния биологических и климатических факторов на микробиологическую контаминацию зерна пшеницы возбудителями «картофельной» болезни хлеба *B.subtilis* и ее ассимиляционную способность к тяжелым металлам (на примере 13 различных сортов пшениц 3 зон районирования Оренбургской области: восточной, центральной, западной, характеризующихся различиями климатических условий).

Анализы обсемененности зерна *B.subtilis* проведены методом мембранной фильтрации и посева смывов с зерна на селективно-дифференциальную для этих микроорганизмов среду Standard-ТСС. В ходе многолетних анализов выявлена высокая обсемененность пшеницы, от средне- до сильнозараженной, варьирующая от 200 до 2500 КОЕ/г.

Обнаружена зависимость микробиологической контаминации зерна от степени твердозерности зерна: низкая контаминированность преимущественно у высокотвердозерных сортов Оренбургская 10, Юго-Восточная 3 (300 – 600 КОЕ/г), высокая – у низкотвердозерных сортов Саратовская 42, Варяг, Учитель, Прохор (800 – 1300 КОЕ/г), объясняемая морфологическими различиями зерна; от зоны произрастания: обсемененность зерна восточной зоны выше (1500 КОЕ/г), чем центральной или западной (350 – 450 КОЕ/г) зон, объясняемая климатическими особенностями. Обнаружены зависимости микробиологической контаминации зерна от климатических особенностей произрастания, справедливые для всей территории Оренбургской области. Установлено, что к повышению обсемененности зерна пшеницы приводит увеличение теплообеспеченности зоны произрастания и уменьшение ее увлажненности.

Поскольку регион произрастания анализируемых образцов пшеницы характеризуется наличием промышленных предприятий – существенных источников выбросов токсичных элементов (тяжелых металлов), представляет интерес изучение накопления их в зерне (в наших исследованиях дополнили список изучаемых элементов цинком, никелем, марганцем, характерных для антропогенной нагрузки территории). Результаты загрязненности зерна тяжелыми металлами, полученные с помощью атомно-абсорбционного анализа, показали, что их содержание в зерне Оренбургской области, за исключением никеля, не превышает ПДК. В качестве характеристики, отражающей уровень накопления тяжелых металлов растениями, использовали коэффициент биологического поглощения (КПБ), рассчитываемый как отношение концентрации элемента в зерне к его концентрации в почве. Определены зависимости КПБ от зоны произрастания пшеницы и ее сорта: в восточной зоне наивысшие значения КПБ у таких элементов, как медь, марганец и никель, для западной зоны наибольшие значения КПБ у цинка, свинца и кадмия. Сорта Харьковская 3, Оренбургская 21 и Саратовская 42 проявили наибольшую накопительную способность к большинству тяжелых металлов; сорта Безенчукская янтарь и Учитель – наименьшую (разница до 80 %). Установлена взаимосвязь ассимиляционной способно-

сти пшеницы к большинству тяжелых металлов и показателя ее твердозерности ($r = 0,78 - 0,85$).

Выявленные различия в микробиологической контаминации пшеницы и ее ассимиляции тяжелых металлов позволяют сформировать рекомендации относительно целевого назначения зерна и размещения посевных площадей, дают возможность прогнозирования потребительских свойств муки, хлебобулочных и макаронных изделий.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертации.

В приложениях приведены экспериментальные данные определения технологических свойств зерна и продуктов его переработки, акты производственной апробации.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 Сформирована теоретическая база цифровизации продуктов переработки зерна, производства хлебобулочных и макаронных изделий за счет разработки информационно-измерительной системы мониторинга свойств сырья и управления потребительскими свойствами готовой продукции.

2 Показана ограниченная возможность использования общепринятых показателей и методов оценки качества зерна пшеницы и продуктов его переработки ввиду высокой погрешности методов оценки и лабильности показателей под влиянием генотипических и агроэкологических факторов. Доказана возможность использования показателя твердозерности зерна в качестве комплексного, обуславливающего формирование качества полуфабрикатов и готовой продукции и целесообразность его использования при цифровизации зерноперерабатывающей, хлебопекарной, макаронной промышленности.

3 Теоретически доказана и практически подтверждена возможность использования фрактографического анализа посредством определения наиболее значимых геометрических характеристик размера и формы частиц продуктов размола зерна (эквивалентного размера частиц X и коэффициента неровности частиц K), сформированы алгоритмы их определения.

4 Разработаны экспрессные способы определения физико-химических показателей качества зерна пшеницы и продуктов его переработки на основе обработки данных оптической микроскопии алгоритмами компьютерного зрения (фрактографический анализ): в частности, определение твердозерности зерна с погрешностью не более 3 %, количества и качества клейковины пшеницы - не более 5 % в сравнении с традиционными методами определения. Подтверждена возможность использования искусственного интеллекта (искусственной нейронной сети) при систематизации сведений о гранулометрическом составе частиц размола зерна для оценки твердозерности. Предложена классификация частиц по размеру и форме, позволяющая определять класс твердозерности зерна с максимальной погрешностью 1,0 %.

5 Разработана лабораторная установка для экспрессного определения гранулометрического состава продуктов размола зерна, базирующаяся на инструментальных методах оптической микроскопии и алгоритмах компьютерного

зрения, сформулированы требования к разрешающей способности оптической системы этой установки, минимально достаточному для анализа числу частиц размола зерна.

6 На основе изученных взаимосвязей твердозерности с основными показателями качества продуктов размола зерна, полуфабрикатов и продукции хлебопекарного и макаронного производств разработаны математические модели, позволяющие с высокой точностью прогнозировать качество изделий из муки с различной твердозерностью зерна: объемный выход хлеба – с погрешностью не более 8 %, балльная оценка качества хлеба – не более 15 %; коэффициент увеличения массы макаронных изделий – не более 3 %; потери сухих веществ при варке – не более 5 %; время варки до готовности – не более 20 %; прочность сухих изделий на срез – не более 10 %.

7 На основе системного подхода разработана информационно-измерительная система управления качеством хлебобулочных и макаронных изделий за счет выбора оптимальных технологических параметров замеса теста с учетом показателя твердозерности. Показаны закономерности регулирования качества хлебобулочных и макаронных изделий за счет выбора оптимальных технологических параметров замеса теста (влажности, температуры, интенсивности) с учетом показателя твердозерности пшеницы. Максимально возможное качество хлеба из муки зерна с различной твердозерностью достигается использованием опар различной влажности. Мука из низкотвердозерного зерна до 14 кг/мм² обеспечивает максимальный объем хлеба при минимальной влажности опары 40 %, с повышением твердозерности зерна для максимального объема необходимо повышение влажности опары до 45-50 %. Однако, максимально возможный выход хлеба из муки исходного зерна твердозерности до 14 кг/мм² достигается опарой с большей влажностью (вплоть до 70 %). При использовании муки из зерна с твердозерностью от 14 до 22 кг/мм², оптимальная влажность опары для получения хлеба с наилучшими показателями качества от 50 до 55 %. Для муки из высокотвердозерного зерна от 22 до 32 кг/мм² предпочтительно использовать опары с влажностью выше 55 %. Выход хлеба линейно увеличивается с повышением твердозерности зерна и повышением влажности опары (в среднем на 1 % при повышении влажности опары на 8 %). Для макаронных изделий оптимальными являются: для сверхвысокотвердозерного зерна влажность теста 29 - 32 % при температуре воды 75 - 85 °С, для высокотвердозерного - влажность теста 29 - 31 % при температуре воды 50 - 65 °С, для среднетвердозерного - влажность теста 28 - 29 %, температура воды ниже 30 °С.

8 Установлены статистически значимые связи твердозерности зерна с ассимиляционной способностью пшеницы к тяжелым металлам (по коэффициенту биологического поглощения) ($r = 0,78 - 0,85$) и обсемененностью зерна *V.subtilis*; определены зависимости обсемененности зерна *V.subtilis* с тепло- и влагообеспеченностью зоны произрастания пшеницы ($r = 0,89$).

9 По результатам проведенных экспериментальных исследований могут быть даны следующие **рекомендации**:

- принять в качестве стандартного показателя оценки технологических свойств зерна (муки) и прогнозирования качества хлебобулочных и макарон-

ных изделий показатель твердозерности пшеницы;

- внедрить в практику работы предприятий зерноперерабатывающей, хлебопекарной и макаронной промышленности лабораторные установки по экспрессному определению показателя твердозерности, количества и качества клейковины зерна, базирующиеся на комплексном анализе частиц размола зерна, классифицируемых по размеру и форме на основе фрактографического анализа (патенты № 2442132, № 2586780);

- мукомольным предприятиям целесообразно указывать в маркировке значение показателя твердозерности;

- хлебопекарным предприятиям на основании известного показателя твердозерности с помощью разработанных программных продуктов и номограмм, меняя технологические параметры замеса теста – влажность и интенсивность замеса производить хлебобулочные изделия с максимально возможными потребительскими свойствами и высокой рентабельностью производства (патент № 2433398);

- макаронным фабрикам и цехам на основании известного показателя твердозерности и полученных в работе с помощью программного обеспечения номограмм, меняя технологические параметры замеса – температуру и влажность, производить продукцию с максимально возможными потребительскими свойствами и дифференцированным временем варки макаронных изделий (свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016611164).

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в зарубежной литературе, входящей в базы цитирования Scopus & Web Of Science

1. Медведев, П. В. Информационные системы оценки технологических достоинств пшеницы / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, С. Ю. Соловых // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2019. - № 4. - С. 58-69. - DOI:10.36107/spfp.2019.190.
2. Medvedev, P. V. Development of automatic systems for controlling and assessing the technological properties of grain processing products / P V Medvedev, **V A Fedotov**, I A Bochkareva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Vol. 560. – 2019. - 012104. DOI:10.1088/1757-899X/560/1/012104.
3. Medvedev, P. V. Application of the information measuring system to improve the feeding mechanism of a roller machine / P V Medvedev, **V A Fedotov** and S Yu Solovykh // IOP Conference Series: Journal of Physics. - Vol. 1353. – 2019. - 012079. DOI:10.1088/1742-6596/1353/1/012079.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

4. Медведев, П. В. Исследование влияния природно-географических и сортовых факторов на накопление тяжелых металлов яровой пшеницей / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6. – С. 222-226.
5. Медведев, П. В. Оценка уровня зараженности зерна пшеницы различных природно-географических зон Оренбургской области возбудителями картофельной болезни хлеба / П. В. Медведев, А. С. Степанов, **В. А. Федотов** // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 114-118.
6. Медведев, П. В. Оценка экологических характеристик зерна пшеницы различных природно-географических зон Оренбургской области / П. В. Медведев, А. С. Степанов, **В. А. Федотов** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1. – С. 17-20.
7. Медведев, П. В. Оценка потребительских свойств продуктов переработки зерна / П. В. Медведев, А. С. Степанов, **В. А. Федотов** // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 18. – С. 23-29.
8. Федотов, В. А. Факторы формирования потребительских свойств зерно-мучных товаров / **В. А. Федотов** // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 186-190.
9. Медведев, П. В. Факторы обсемененности зерна спорами *Bacillus subtilis* и *Bacillus mesentericus* / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 12. – С. 341-343.
10. Медведев, П. В. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Вестник

Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 140-145.

11. Медведев, П. В. Использование искусственных нейронных сетей для определения твердозерности зерна / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2013. - № 6. – С. 17-24.

12. Медведев, П. В. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. - № 7-1 (38). – С. 77-80.

13. Медведев, П. В. Связь микробиологической контаминации зерна с его технологическими свойствами / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. - № 7-1 (38). – С. 81-83.

14. Медведев, П. В. Влияние твердозерности зерна на его макаронные свойства / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. - № 11 (42). – С. 68-74.

15. Медведев, П. В. Методы оценки макаронных качеств зерна пшеницы / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. - № 1 (43). – С. 55-59.

16. Медведев, П. В. Управление качеством продуктов переработки зерна и зерномучных товаров / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2016. - № 1. - С. 61-69.

17. Федотов, В. А. Улучшение потребительского качества макарон за счет совершенствования технологии производства / **В. А. Федотов** // Успехи современной науки и образования. – 2016. - № 7. – С. 124-127.

18. Медведев, П. В. Системный подход к формированию качества макаронных изделий / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Хлебопродукты. - 2016. - № 8. - С. 61-73.

19. Федотов, В. А. Информационные технологии для улучшения качества макарон / **В. А. Федотов**, Т. А. Бахитов // Успехи современной науки и образования. – 2016. – № 11. – С. 93-95.

20. Федотов, В. А. Совершенствование оценки качества макаронных изделий / **В. А. Федотов**, Т. А. Бахитов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11 (53). – С. 18-20.

21. Медведев, П. В. Новые методы оценки технологических свойств зерна пшеницы с использованием информационных технологий / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, И. А. Бочкарева // Хлебопродукты. - 2017. - № 1. - С. 60-63.

22. Федотов, В. А. К вопросу оценки качества пшеницы по структурно-механическим свойствам зерна / **В. А. Федотов** // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. - № 8 (62). – С. 80-82.

23. Тарасенко, С. С. Зависимость реологических свойств теста от дисперсности промежуточных продуктов макаронного помола пшеницы / С. С. Тарасенко, **В. А. Федотов**, Д. В. Гладников // Хлебопродукты. - 2017. - № 6. - С. 53-55.

24. Медведев, П. В. Маркетинговое исследование рынка макаронных изделий Оренбургской области / П. В. Медведев, **В. А. Федотов**, Е. Я. Челнокова, И. А. Бочкарева // Успехи современной науки. – 2017. - № 8. - ч. 2. – С. 117-124.
25. Федотов, В. А. Влияние структурно-механических характеристик зерна пшеницы на ее технологические свойства / **В. А. Федотов**, Т. А. Бахитов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 2 (56). – С. 94-96.
26. Федотов, В. А. Связь морфолого-анатомических характеристик зерна пшеницы с технологическими свойствами / **В. А. Федотов** // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. - № 12 (66). – С. 175-178.
27. Федотов, В. А. Исследование аминокислотного состава промежуточных продуктов макаронного помола зерна твёрдой пшеницы / **В. А. Федотов**, С. С. Тарасенко, Т. А. Бахитов // Хлебопродукты. - 2018. - № 2. - С.52-54.
28. Медведев, П. В. Информационные технологии для повышения точности оценки качества продуктов переработки зерна / П. В. Медведев, С. С. Тарасенко, **В. А. Федотов** // Хлебопродукты. - 2019. - № 8. - С.54-58.
29. Медведев, П. В. Совершенствование методологии оценки технологических свойств зерна и прогнозирования качества хлебобулочных изделий / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Новые технологии. - 2019. - № 3. - С. 73-86. DOI:10.24411/2072-0920-2019-10307.
30. Медведев, П. В. Методологические подходы к управлению качеством хлебобулочных изделий / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Хлебопродукты. - 2019. - № 12. - С. 55 – 60.

Монографии

31. Медведев, П. В. Информационно-измерительные системы управления потребительскими свойствами зерномучных товаров / П. В. Медведев, **В. А. Федотов** // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд : монография. – Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2013. – С. 35-51.
32. Систематизация факторов формирования потребительских свойств зернопродуктов в информационной системе: глава в коллективной монографии / П.В. Медведев, **В.А. Федотов**, И.А. Бочкарева // Актуальные проблемы менеджмента и экономики предприятия: коллективная монография. – Оренбург: Оренбургский филиал РАНХ и ГС при президенте РФ, 2015. - С. 151-168.

Патенты на изобретения и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

33. Пат. 2433398 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/10. Способ определения хлебопекарных качеств зерна пшеницы / **Федотов В. А.**, Медведев П. В.; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. - № 2010143397/15; заявл. 22.10.10; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31. – 8 с.
34. Пат. 2442132 Российская Федерация, МПК G 01 N 15/02, G 01 N 33/10. Способ определения твердозерности пшеницы / **Федотов В. А.**, Медведев П.

В.; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. - № 2010145551/28; заявл. 09.11.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4. – 8 с.

35. Пат. 2433398 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/10 Способ определения количества и качества клейковины в зерне пшеницы / Бочкарева И. А., **Федотов В. А.**, Медведев П. В.; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. Опубл. 18.05.2016.

36. Федотов, В. А. Программное обеспечение для прогнозирования технологических качеств пшеницы на основе данных гранулометрического анализа / **В. А. Федотов**, П. В. Медведев // Свидетельство о гос. рег. прогр. № 2011610605. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 11.01.2011.

37. Федотов, В. А. Программное обеспечение для оценки показателей качества макаронной муки на основе фрактографического анализа / **В. А. Федотов**, Бочкарева И. А., П. В. Медведев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - № 2016611164; дата поступления 09.11.2010; дата регистр. 11.01.2012 г. - Опубл. 2012 г.

38. Федотов, В. А. Программное средство для определения показателей количества и качества клейковины зерна пшеницы на основе фрактографического анализа / **В. А. Федотов**, Бочкарева И. А., П. В. Медведев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - № 2016611014; дата поступления 09.11.2010; дата регистр. 11.01.2012 г. - Опубл. 2012 г.

39. Федотов, В. А. Программный комплекс оценки качества продукции зерноперерабатывающей отрасли с использованием результатов зернового анализа / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. рег. прогр. № 2016660501. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 16.09.2016.

40. Федотов, В. А. Программное обеспечение для прогнозирования потребительских свойств макаронных изделий на основе данных гранулометрического анализа / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. рег. прогр. № 2016660583. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 16.09.2016.

41. Федотов, В. А. Программное средство для расчета производственных рецептур предприятий хлебопекарной промышленности / **В. А. Федотов**, П. В. Медведев // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017613070. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 09.03.2017.

42. Федотов, В. А. Программное средство для прогнозирования хлебопекарных свойств муки на основе фрактографического анализа / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017617721. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 11.07.2017.

43. Федотов, В. А. Программное средство для подбора оптимального температурного режима замеса макаронного теста / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660331. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 21.09.2017.

44. Федотов, В. А. Программа для управления качеством макаронных изделий / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660361. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистриро-

вано 21.09.2017.

45. Федотов, В. А. Программное обеспечение для выбора наилучшего влажностного режима замеса теста для производства макаронных изделий / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660362. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 21.09.2017.

46. Федотов, В. А. Программа для оценки хлебопекарных свойств зерна на основе физико-химических показателей его качества / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660395. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 21.09.2017.

47. Федотов, В. А. Программа «Помощник пекарю-технологу» / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660440. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 21.09.2017.

48. Федотов, В. А. Программа для составления помольных партий с заданными свойствами / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660454. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 21.09.2017.

49. Федотов, В. А. Программное средство для прогнозирования варочных свойств макаронных изделий / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660966. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 02.10.2017.

50. Федотов, В. А. Расчет мучных композитных смесей с определенной ферментативной активностью / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018611084. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 23.01.2018.

51. Федотов, В. А. Расчет композитных смесей с заданными показателями качества / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018610895. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 19.01.2018.

52. Федотов, В. А. Программное средство для определения мукомольных свойств зерна / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018610816. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 17.01.2018.

53. Федотов, В. А. Программа для анализа морфолого-анатомических характеристик зерновых культур / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018661316. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 05.09.2018.

54. Федотов, В. А. Программа расчета и построения графиков параметров и режимов замеса макаронного теста / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018661317. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 05.09.2018.

55. Федотов, В. А. Программа для прогнозирования качества хлебобулочных изделий на основе технологических свойств зернового сырья / **В. А. Федотов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018660558. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Зарегистрировано 24.08.2018.