

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

---

---

*На правах рукописи  
УДК 621:681*

**Докторант МАТЯКУБОВА Парахат Майлиевна**

**МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
ВЛАГО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

05.11.13 – «Приборы и методы контроля  
природной среды, веществ, материалов и изделий»

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** В пищевой, комбикормовой и зерноперерабатывающей отраслях промышленности на долю зерновых сыпучих материалов приходится значительный объем сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Автоматизация сложных тепло- и массообменных технологических процессов влаго-тепловой обработки в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса требует применения высокоточных экспрессных методов контроля электрофизических свойств сыпучих материалов, оказывающих решающее влияние на качественные показатели конечной продукции и обеспечивающих надлежащий эффект от внедрения современных систем автоматического контроля и управления.

В промышленном производстве по-прежнему велики убытки, обусловленные отсутствием совершенных средств экспрессного, достоверного и точного определения электрофизических параметров зерновых материалов. Между тем, необходимо особо подчеркнуть, что средства автоматического контроля электрофизических параметров зернистых материалов по целому ряду веских причин являются предпочтительными и их преимущества наиболее ощутимы при использовании высокоточных и экспрессных методов измерения.

Особенно остро ощущается потребность в автоматических измерительных устройствах для оперативного измерения влажности, диэлектрической проницаемости, засорённости, гранулометрического состава, плотности укладки сыпучих материалов, в автоматических анализаторах качества пищевого сырья и готовой продукции, к которым предъявляются жёсткие, порой противоречивые требования по точности, быстродействию и надёжности непрерывного функционирования в сложных производственно-технологических условиях.

Проблема построения автоматических и автоматизированных систем контроля свойств и характеристик сыпучих материалов требует решения целого комплекса задач, наиболее общими и значимыми из которых являются: нахождение наиболее эффективных методов первичного измерительного преобразования подлежащих автоматическому контролю электрофизических свойств материала в выходной сигнал, которые позволяли бы достигать требуемой достоверности, точности и быстродействия процесса измерения. Остается злободневной проблемой приборная реализация наиболее эффективных методов, обеспечивающих надёжную и бесперебойную работу измерительных устройств в условиях промышленного производства.

Опыт свидетельствует, что существенно возросшие требования к повышению качества сельскохозяйственной продукции и снижения удельных энергетических затрат на их длительное хранение, промышленную переработку и транспортировку невозможно удовлетворить без внедрения современной технологической и информационно-измерительной базы

которую представляют собой автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами.

В этой связи сложная научно-техническая проблема исследования методов автоматического измерения электрофизических характеристик зерновых материалов растительного происхождения и их приборной реализации на современной элементной базе в составе подсистем измерительно-информационной поддержки АСУТП представляется актуальной и своевременной.

**Степень изученности проблемы.** Сложность математического моделирования процессов влажно-тепловой обработки зерновых материалов растительного происхождения, их недостаточная изученность, влияние большого числа возмущающих факторов, а также недостаточное обеспечение измерительно-информационной аппаратурой, позволяющей эффективно анализировать комплекс электрофизических параметров, наиболее полно и достоверно характеризующих качество сельскохозяйственного сырья, полуфабрикатов и конечной продукции, - во многом сдерживает развитие АСУТП влажно-тепловой обработки зернопродуктов.

При автоматическом и автоматизированном измерении технологических параметров процесса влажно-тепловой обработки сыпучих зерновых материалов используется значительное количество первичных источников информации. Однако зачастую результаты таких измерений не могут быть применены в управлении технологическим процессом вследствие имеющейся неустранённой погрешности, которая является причиной недоверности информации.

В связи с этим возникает необходимость коррекции последних путём исключения случайной и систематической составляющей погрешности. Устранение случайной погрешности результатов измерений технологических параметров успешно решается путём использования различного рода пороговых, допусковых алгоритмов и статистических методов. Корректировка результатов измерений путём устранения систематической составляющей погрешности является сложной задачей, не имеющей до настоящего времени завершённого эффективного исчерпывающего решения.

Это связано с тем, что систематическая составляющая погрешности измерений технологических параметров носит сложный характер, являющийся причиной дрейфа множества характеристик информационной подсистемы АСУТП (в частности, за счет изменения конструктивных размеров элементов измерительных элементов первичных преобразователей, обусловленного коррозионно-эрозионным износом, зашумлением информационных каналов, эффектом старения и др.). Первичная же информация в виде экспертного описания технологического процесса подвержена ошибкам, обусловленным органолептическими особенностями лица, принимающего решения, и его вербальной оценкой, вследствие чего она нуждается в проверке на достоверность.

Всё это, вместе взятое, приводит к снижению достоверности первичной информации и выработке некорректных управляющих воздействий на

технологический процесс, тем самым вызывая снижение показателей эффективности автоматизированного контроля и управления.

Проблемам построения высокоэффективных систем контроля и управления сложными технологическими процессами и установками для влаго-тепловой обработки зернистых материалов посвящены работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов Лыкова А.В., Сажина Б.С., Кричевского Е.С., Майзеля М.М., Берлинера М.А., Гухмана А.А., Гинзбурга А.С., Юсупбекова Н.Р., Исматуллаева П.Р., Мухитдинова М.М., Раджабова Т.Д., Салимова З.С., Мухитдинова Д.Н., Турсунходжаева П.М., Хакимова О.Ш., Игамбердиева Х.З., Шипулина Ю.Г., Каландарова П.И., Ахмедова Б.А., Тургунбаева А. и др.

Однако вопросы реализации информационно-измерительной поддержки автоматизированных систем управления технологическими процессами влаго-тепловой обработки зерновой продукции до настоящего времени остаются нерешенными и далекими от своего исчерпывающего завершения.

#### **Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.**

Работа выполнена в рамках государственных научно-технических программ Комитета по координации развития науки и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан: ГНПП 26 - «Разработка приборов контроля состава и свойств воды, воздуха, почвы, сельскохозяйственной и промышленной продукции» (2001-2003 гг.); 7.14 - «Разработка и реализация высокоэффективных оптимальных систем контроля и управления промышленными объектами» (2003-2005 гг.); П.20.41 - «Разработка методов и средств реализации интеллектуализированных технологий контроля и управления сложными технологическими комплексами и установками» (2003-2005 гг.); ОТ-Ф1-080 - «Разработка концепций и принципов построения интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами и производствами (2007-2009 гг.)»

**Цель исследования.** Целью диссертационной работы является повышение эффективности контроля и управления сложными технологическими процессами и установками влаго-тепловой обработки зернистых сыпучих материалов растительного происхождения за счёт разработки и реализации систем автоматического и автоматизированного контроля электрофизических характеристик зернопродуктов и повышения достоверности количественных измерений и качественных оценок первичной производственно-технологической измерительной информации.

Достижение поставленной основной цели предполагает решение следующих конкретных и малоизученных **задач исследования:**

- критический анализ современного состояния теории и практики автоматического контроля электрофизических характеристик зернопродуктов и выявление тенденций их дальнейшего развития и совершенствования;

– анализ существующих методов измерения электрофизических параметров зернистых материалов растительного происхождения и выбор рациональных путей их приборно-аппаратурной реализации;

– разработка экспериментальных испытательных стендов и установок для изучения электрофизических свойств зернопродуктов в широком диапазоне варьирования измеряемых параметров и обоснование инженерных методик метрологического контроля свойств испытуемых материалов, позволяющих получать точную, оперативную и достоверную первичную измерительную информацию;

– разработка методики анализа информационно-измерительной подсистемы АСУТП с целью выявления измерений с низким уровнем достоверности; содержательная постановка и решение задачи оценки и восстановления достоверности первичной количественной и качественной информации в АСУТП влаго-тепловой обработки зерновых материалов растительного происхождения;

– исследование метрологических и точностных характеристик серии разработанных измерительных преобразователей электрофизических параметров зерновых продуктов сельскохозяйственного производства;

– реализация функциональной подсистемы измерительно-информационного обеспечения АСУТП влаго-тепловой обработки зерновых материалов растительного происхождения.

**Объект и предмет исследования.** *Объектами диссертационного исследования* являются процессы измерительного преобразования электрофизических характеристик сыпучих зернистых материалов перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса. *Предмет исследования* составляет комплекс научно-методических вопросов, относящихся к проблеме повышения точности, быстродействия и достоверности первичной количественной и качественной измерительной информации об электрофизических параметрах зернопродуктов.

**Методы исследования.** Теоретические и экспериментальные исследования, проведённые в ходе выполнения диссертационной работы, основаны на использовании методов и приборов контроля природной среды, материалов, веществ и изделий и методов технологических измерений, математического моделирования и автоматического управления технологическими процессами, аппарата численных методов оценивания и оптимизации, методов теории искусственного интеллекта и распознавания образов.

**На защиту выносятся:**

– концепция получения, анализа и системного использования оперативной, точной и достоверной первичной производственно-технологической измерительной информации количественного и качественного характера о комплексе электрофизических характеристик зерновых материалов сельскохозяйственного производства, направленная на повышение эффективности контроля и управления сложными

технологическими процессами влаго-тепловой обработки материалов растительного происхождения;

- обоснование выбора рациональных структур измерительных преобразователей электрофизических параметров зерновых продуктов сельскохозяйственного производства, обладающих более высокими метрологическими характеристиками по сравнению с существующими;

- математические модели первичных измерительных преобразователей, на основе которых определены условия достижения наибольшей чувствительности предложенных устройств;

- синтез алгоритмов оценки и восстановления достоверности первичной информации об электрофизических показателях зернистых материалов в режиме реального времени;

- решение на основе применения методов распознавания образов задачи оперативного прогнозирования влажности партий хлопковых семян, поступающих на промышленную переработку;

- виртуальный компьютерный идентификатор качества зерна и зернопродуктов, который может быть использован в составе подсистемы оперативного прогнозирования и поддержки принятия решений в АСУТП влаго-тепловой обработки материалов растительного происхождения;

- методы и алгоритмы получения первичной производственно-технологической информации, обеспечивающие заданную точность, оперативность и достоверность данных в составе современных АСУТП промышленной переработки зернопродуктов.

**Научная новизна.** Научная новизна полученных в диссертации результатов заключается в следующем:

- разработаны научно-методологические основы измерения электрофизических характеристик зерновой продукции сельскохозяйственного производства и реализации на этой основе функциональной подсистемы информационного обеспечения АСУТП влаго-тепловой обработки материалов растительного происхождения;

- предложены первичные измерительные преобразователи электрофизических параметров зернопродуктов, обоснованы их структурно-функциональные схемы, предложены методики расчёта характеристик преобразователей и построены их математические модели;

- предложен метод оценки и восстановления достоверности первичной информации, позволяющий устранять систематическую составляющую погрешности измерения электрофизических параметров зерновых материалов;

- синтезирована компьютерная подсистема поддержки принятия решений для оценки и восстановления достоверности первичной информации, оперативного прогнозирования и идентификации качества зерновой продукции в составе АСУТП влаго-тепловой обработки зерновых материалов;

- разработана функциональная подсистема информационного обеспечения АСУТП влаго-тепловой обработки зернопродуктов,

включающая в свой состав новые измерители электрофизических параметров исследуемых материалов, аппаратуру для получения первичной измерительной информации, обеспечивающую заданную точность, достоверность и устойчивость функционирования АСУТП.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Новые научные результаты в совокупности своей представлены в форме научно-методологических основ проектирования и реализации единого информационного обеспечения в составе интегрированных АСУТП влаго-тепловой обработки зернистых материалов растительного происхождения с одновременным обеспечением требуемой оперативности, точности и достоверности первичной производственно-технологической информации, циркулирующей в под системе поддержки принятия управленческих решений.

Практическая ценность выполненной диссертационной работы состоит в том, что разработанные в ней принципы, методы и алгоритмы заложены в основу функциональной подсистемы информационного обеспечения подсистемы АСУТП влаго-тепловой обработки сыпучих зернистых материалов. Разработана экспериментальная установка, позволяющая расплексно изучать электрофизические характеристики сыпучих тел и раскрывать многофакторные зависимости «свойства исследуемого материала – электрические параметры», которые необходимы для определения состава и свойств зерновой продукции перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса. Испытаны в опытно-промышленных условиях макетные образцы ёмкостных влагомеров, импульсных датчиков электрофизических параметров зернопродуктов; СВЧ – влагомера для сыпучих тел, идентификатора качества промышленных партий зерна и виртуального компьютерного прогнозатора влажности зерновой продукции.

**Реализация результатов работы.** Разработки диссертации в виде макетов опытных образцов ёмкостных диэлькометрических датчиков влажности, импульсных датчиков электрофизических параметров зернопродуктов и СВЧ – влагомера прошли опытно-производственные испытания в условиях центральной заводской лаборатории ОАО «Хоразмдонмахсулотлари» и приняты к внедрению на этом предприятии. Ожидаемый совокупный экономический эффект от внедрения разработок диссертации на этом предприятии составляет более 24 млн. сумов в год.

Результаты диссертации внедрены в учебный процесс кафедр «Автоматизация производственных процессов», «Автоматизация и управление» и «Метрология, стандартизация и сертификация» ТашГТУ, «Автоматизация, электроника и информатика» ТашХТИ и Ургенчского филиала ТУИТ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и получили поддержку и одобрение на: Республиканской НК «Проблемы информатики и управления, перспективы их решения» (Ташкент, 1996); Международной НК «Инновация-99» (Термез, 1999); Международной НК, посвященной 70-летию ТашГТУ (Ташкент,

1999); II Международной НК «Автоматизация-99» (Ташкент, 1999); Международной НК «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-2000, ММТТ-2003 (Санкт-Петербург, 2000, 2003), ММТТ-2008 (Саратов, 2008); Республиканской НК «Передовые технологии в пищевой промышленности» (Ташкент, 2002); Международных НК «Иновация 2003», «Иновация 2007», «Иновация 2008» (Ташкент, 2003, 2007, 2008); XI Международной НК «Автоматика-2004» (Киев, 2004); World Conference on Intelligent System for Industrial Automation WCIS-2004, WCIS-2006, WCIS-2008 (Tashkent, 2004, 2006, 2008); Международной НК «Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании» (Ташкент, 2004); Международной НК «Инфотекстиль-2005» (Ташкент, 2005); Международной НК «Состояние и перспективы развития связи и информационных технологий Узбекистана» (Ташкент, 2005); Республиканской НК «Современные проблемы математического моделирования» (Нукус, 2005); Международной НК «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе» (Ташкент, 2005); Республиканской НТК «Ахборот коммуникация технологиялари соҳасида фан, таълим ва ишлаб чиқариш ҳамда уларни интеграциялаш» (Тошкент, 2005); конференции «Мониторинг летательных аппаратов» (Ташкент, 2005); Международной НК «Высокие технологии и перспективы интеграции образования, науки и производства» (Ташкент, 2006); Республиканской НК «Техника ва технологиялар» (Тошкент, 2007); Республиканских НК «ISTIQLOL» (Навои, 2007, 2008); Республиканских НК «Современные технологии переработки местного сырья и продуктов» (Ташкент, 2007, 2008); Международной НК IX Международного форума «Высокие технологии XXI века «Интеграция образования, науки и производства» (Москва, 2008); Республиканской НПК «Энергосбережение при использовании альтернативных источников энергии: проблемы и решения» (Карши, 2008).

**Опубликованность результатов.** Основное содержание диссертационной работы освещено в 75 научных публикациях, в том числе в 3 препринтах и 27 журнальных статьях.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 296 страницах машинописного текста, проиллюстрированного 68 рисунками и 12 таблицами.

Автор выражает благодарность научному консультанту – действительному члену (академику) АН РУз, доктору технических наук, профессору Юсупбекову Надырбеку Рустамбековичу, а также доктору технических наук, профессору Гулямову Шухрату Манаповичу – за консультации и помощь в выполнении диссертационной работы.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность трактуемой научно-технической проблемы, раскрыта научная новизна полученных результатов, отражена научная и практическая значимость выполненной работы и показана степень внедрения разработок и сформулированных в диссертации конкретных рекомендаций. Приводится общая характеристика диссертационной работы.

В первой главе, носящей обзорно-аналитический характер, с критических позиций освещено современное состояние и раскрыты тенденции дальнейшего развития и совершенствования теории и техники автоматического измерения электрофизических характеристик и свойств зерновой продукции.

Выполнен аналитический обзор методов и средств измерения электрофизических параметров зернопродуктов. Проанализированы методы измерения влажности зернопродуктов и показана перспективность использования емкостного диэлькометрического и СВЧ-методов измерительного преобразования для достижения поставленной цели. Систематизированы требования к приборам контроля влажности сыпучих зерновых материалов в полевых, лабораторных и производственных условиях. Выявлены перспективные пути совершенствования систем контроля и управления процессами влаго-тепловой обработки зерновых материалов.

На основе анализа и обобщения фактического материала, привлеченного к литературному обзору и анализу степени изученности трактуемой проблемы, выполнена уточненная постановка основной цели и задач диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации посвящена формулированию научно-методических основ автоматического контроля электрофизических параметров сыпучих сред, подвергающихся промышленной переработке предприятиями АПК.

Автоматизация производственных процессов и в особенности там, где перерабатывается скоропортящееся сырье, требует применения экспрессных методов контроля его основных параметров, обеспечивающих требуемый ожидаемый эффект от внедрения систем автоматизации. Здесь по-прежнему велики убытки из-за отсутствия средств экспрессного определения влажности сыпучих материалов.

Анализ современного состояния контроля и управления технологическими процессами промышленной переработки зерна позволяет сделать вывод о доминирующей роли влажности в формировании качества конечной продукции и оптимизации технологических процессов на разных стадиях его переработки. Например, при температуре 20 °С в течение первых суток хранения у зерна влажностью 20% снижается всхожесть на 6-7%, а при обмолоте зерна влажностью 30% (вместо 8-22%) снижается названный показатель качества примерно на 20%. При отклонении в оценке влажности зерна на 1% перерасход энергии на сушку возрастает на 4%.

Расчеты свидетельствуют о том, что если исходить только из объема производства зерна основных зерновых культур в Узбекистане при условии контроля влажности каждой транспортной единицы, поступающей с поля и направляемой на хлебоприемные пункты, то необходимо выполнить около 5-6 млн. измерений.

Длительное время при решении задач влагометрии зерна и других сыпучих материалов растительного происхождения на основе электрических методов измерения основное внимание уделялось техническим задачам и в меньшей мере - научным: изучению свойств сыпучих материалов как объектов автоматического контроля, обоснованию типажа приборов и их метрологических параметров, исходя из свойств и сортности зерна и условий их сбора, транспортировки, хранения и промышленной переработки.

Исследования электрических свойств зерновой массы значительно расширяют имеющиеся представления о влияющих на его электрические свойства факторах и позволяют реализовать научно обоснованные методы расчета параметров первичных преобразователей и измерительных схем влагомеров.

Электрические методы контроля по целому ряду причин являются предпочтительными, и их преимущества наиболее ощутимы при использовании высокочастотных методов измерения, которые требуют решения следующего комплекса задач:

- нахождение позволяющих достигать требуемой точностью и быстродействия методов преобразования подлежащего контролю свойства материала в пропорциональный электрический сигнал;
- приборная реализация наиболее эффективного метода измерения, обеспечивающая надежную работу измерительного устройства в сложных помехо-сигнальных условиях промышленного производства.

В работе проанализировано состояние методов и средств измерения влажности сыпучих веществ и отмечена перспективность разработки средств измерений на основе емкостных датчиков. Решена задача определения путей совершенствования измерительных преобразователей электрических свойств зернистых материалов в классе емкостных датчиков, обладающих расширенным диапазоном изменения параметров.

В известных разработках емкостной датчик с веществом представляется двухэлементной схемой замещения, что приводит к появлению погрешности от влияния неучитываемых параметров. В этой связи возникает задача раздельного преобразования параметров многоэлементных двухполосников, а также получения с высокой точностью информации о значении параметров емкостного датчика в широком диапазоне их варьирования.

Представляется, что более перспективен метод инвариантного преобразования параметров с импульсным входным воздействием на активную схему с операционным усилителем. Измерительные системы характеризуются операторами  $\Phi(p; \Pi(X, Y); \Pi_0)$ , задаваемыми обычно в виде интегрально-дифференциального выражения и определяемыми топологией

схемы, номенклатурой и соотношением параметров емкостного датчика и опорной цепи установления соответствия между электрическим воздействием на измерительную схему (ИС) и ее реакцией на него:

$$A(\rho) = \Phi(\rho; \Pi(X, Y); \Pi_0) * \mathcal{E}(\rho). \quad (1)$$

В общем случае параметры выходного сигнала ИС (амплитуда, частота, фаза - для гармонического сигнала; спектральные составляющие, мгновенное значение, характер изменения во времени или скорость изменения - для негармонического сигнала) зависят от нескольких параметров емкостного датчика. Это соответствует исходной неразрешимости уравнения преобразования относительно искомым параметрам, что требует дополнительной обработки выходного сигнала датчика. Возможные алгоритмы обработки сигнала измерительной схемы можно синтезировать, используя методы теории инвариантности. Представляется, что инвариантность в рассматриваемом случае можно обеспечить двумя методами.

Первый (*селективный*) метод обеспечения инвариантности предполагает наличие одного канала преобразования. Он основан на селективной (избирательной) обработке, т.е. на выделении путем выполнения определенных операций составляющей выходного сигнала, несущей информацию об интересующем нас параметре емкостного датчика.

Если неинформативная составляющая выходного сигнала определяется как

$$A_y(\rho) = \Phi_y(\rho; \Pi(Y); \Pi_0) * \mathcal{E}(\rho), \quad (2)$$

то оператор селективного узла обработки  $K(p)$  должен удовлетворять условию  $K(p) \cdot A_y(p) = 0$ , где  $A_y(p)$  - операторная форма записи неинформативной составляющей выходного сигнала;  $\Phi_y(\rho; \Pi(Y); \Pi_0)$  - оператор ИС по неинформативному параметру. Селекция может осуществляться по уровню, частоте, сдвигу фазы, спектральному составу, форме сигнала, времени и скорости изменения выходного сигнала.

Второй (*многоканальный*) метод обеспечения инвариантности состоит в увеличении числа исходно неразрешимых уравнений до однозначно разрешимой системы путем составления дополнительных независимых уравнений, аргументами которых являются исходные параметры емкостного датчика. Эти уравнения могут являться результатом дополнительного преобразования непосредственно параметров ИС путем введения одного (или нескольких) дополнительных каналов.

В случае асимметричных каналов каждый канал имеет различные операторы по компонентам выходного сигнала. Операторная форма записи промежуточных сигналов  $\Theta(p)$  имеет вид:

$$\begin{cases} \Theta_1(p) = K_{1x}(p)A_x(p) + K_{1y}A_y(p), \\ \Theta_2(p) = K_{2x}(p)A_x(p) + K_{2y}A_y(p). \end{cases} \quad (3)$$

При условии  $K_{1y}(p) \equiv K_{2y}(p)$  и  $K_{1x}(p) \neq K_{2x}(p)$  получим:

$$\Delta\Theta = \Theta_1(p) - \Theta_2(p) = [K_{1x}(p) - K_{2x}(p)]A_x(p). \quad (4)$$

Этот путь практически можно реализовать лишь при временном разделении каналов.

В случае асимметричных воздействий на идентичные каналы необходимо подвергнуть информативную составляющую сигнала ИС предварительному преобразованию  $L(p)$ :

$$\begin{cases} \Theta_1(p) = K(p)[L(p)A_x(p) + A_y(p)], \\ \Theta_2(p) = K(p)[A_x(p) + A_y(p)]. \end{cases} \quad (5)$$

Тогда:

$$\Delta\Theta = \Theta_1(p) - \Theta_2(p) = K(p)A_x(p)[L(p) - 1]. \quad (6)$$

Условие реализуемости  $\Delta\Theta \neq 0$ , и введение оператора  $L(p) \neq 1$  осуществляют решение системы (6) путем задания дополнительного уравнения. Предварительное преобразование может быть селективным, тогда осуществляется предварительное преобразование неинформативной составляющей выходного сигнала.

При использовании многоканальных методов обеспечения инвариантности решение исходной системы уравнений можно выполнить введением дополнительной регулируемой меры  $M_0(p)$ :

$$\begin{cases} \Theta_1(p) = K_{1x}(p)A_x(p) + K_{1y}(p)A_y(p), \\ \Theta_2(p) = K_{доК}(p)\mathcal{E}_2(p)M_0(p). \end{cases} \quad (7)$$

$$\Delta\Theta = K_{1x}(p)A_x(p) + K_{1y}(p)A_y(p) - K_{доК}(p)\mathcal{E}_2(p)M_0(p). \quad (8)$$

Используя априорную информацию о неинформативной составляющей выходного канала ИС, выбираем  $\mathcal{E}_2(p)$  и  $M_0(p)$  - так, чтобы

$$K_{1y}(p)A_y(p) - K_{доК}(p)\mathcal{E}_2(p)M_0(p) = \varepsilon \rightarrow \infty. \quad (9)$$

Обычно  $\mathcal{E}_2(p) = \mathcal{E}(p)$  и регулирование сигнала в ИС осуществляется изменением меры  $M_0(p)$ , в качестве которой используют управляемые резисторы или конденсаторы, делители напряжения или цифро-аналоговые преобразователи.

На точность диэлькометрических влагомеров влияет много факторов, поскольку  $\varepsilon$  объекта контроля является сложной функцией многих переменных

$$\varepsilon = f(W, T, G, H, P), \quad (10)$$

где  $W, T, G, H, P$  - соответственно влажность, температура, гранулометрический состав пробы, химический состав пробы, электрохимический критерий границы «электрод - зерно».

В современных диэлькометрических влагомерах влияние температуры на результат определения влажности в большинстве случаев учтено в виде поправочных коэффициентов, которые автоматически или в ручном режиме вводятся в конечный результат измерений. Гранулометрические характеристики зерна не идеальны, поэтому при каждом повторном засыпании плотность упаковки опытной партии в кювете разная, и, как следствие, падает повторяемость (сходимость) результатов. Уменьшить влияние плотности пробы в некоторых современных влагомерах пытаются применением пробоподготовки - предварительного уплотнения зерна в кювете. Химический состав пробы зерна зависит от его селекционных

особенностей, которые определенным образом учитываются введением калибровочных кривых для сортов максимально возможного количества наименований сельскохозяйственных культур в память микропроцессорного блока или комплектацией влагомеров соответствующими таблицами и (или) проведением перед измерением специальной калибровки. Кроме того, на химический состав зерна влияют условия, в которых произросла культура (почвы, количество удобрений, погодные факторы и др.), которые практически не поддаются аналитическому прогнозированию и могут быть учтены лишь в единичных случаях при предварительной калибровке с использованием данных, полученных для конкретного вида культуры.

Результаты измерений диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  зависят от соотношения между количеством свободной и связанной влаги в исследуемом материале. Кроме того, существующие диэлькометрические влагомеры дают оценку влажности опытной пробы по значению модуля ее комплексной относительной диэлектрической проницаемости, значение которой находится как

$$|\tilde{\epsilon}| = \frac{C'_{изм}}{C_0}, \quad (11)$$

где  $C'_{изм}$  – измеренное влагомером значение емкости кюветы с зерном,  $C_0$  – емкость пустой кюветы.

Значение  $C'_{изм}$  можно рассчитать следующим образом:

$$C'_{изм} = C_0 \times \epsilon \sqrt{1 + tg^2 \delta}, \quad (12)$$

где  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость опытного материала,  $tg\delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь в опытной пробе зерна.

Иными словами, результат измерения будет зависеть не только от емкости заполненной зерном кюветы (влажности пробы), но и от тангенса угла диэлектрических потерь в исследуемом материале. Существует способ повышения точности диэлькометрических влагомеров за счет одновременного измерения действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости пробы зерна.

Однако процесс массообмена воды в объеме зерновой массы и на границе «стенка кюветы – зерно» во время измерений приводит к тому, что степень связи молекул воды со структурой зерновой массы изменяется, и, как следствие, не остаются постоянными на протяжении проведения эксперимента активная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости.

В работе проведены экспериментальные исследования электрофизических параметров пробы одного и того же зерна с разной степенью увлажненности при разных условиях проведения экспериментов в чувствительном элементе конденсаторного типа первичного измерительного преобразователя влагомера. Установлено, что  $\epsilon$  и  $tg\delta$  изменяются на протяжении проведения эксперимента тем быстрее, чем выше влажность зерновой массы. Так, за 20 минут значения относительной диэлектрической

проницаемости пробы зерна сравнительно с начальным результатом увеличивается более чем на 10%, а потеря – более чем на 25% для влажного зерна и только на 0,3 % и соответственно на 1,5% для сухого зерна. Таким образом изменение,  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  во времени можно использовать как дополнительный информативный параметр при определении влажности зерна.

Анализ результатов изучения зависимости относительной диэлектрической проницаемости и потерь во времени для пробы влажного зерна, полученные с помощью одного чувствительного элемента конденсаторного типа со стенками (обкладками), изготовленными из разных материалов, свидетельствует о том, что после засыпания опытной пробы зерна в кювету чувствительного элемента конденсаторного типа (как в объеме зерновой массы, так и на границе “стенка кювета – зерно”) происходят процессы влагообмена (как в направлении “высвобождения”, так и в направлении “связывания” влаги), которые приводят к тому, что значение  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  изменяются на протяжении проведения эксперимента. Процессы, которые происходят в объеме опытной пробы зерна после засыпания ее в кювета-конденсатор первичного измерительного преобразователя можно объяснить таким образом. Когда зерновая масса опытной пробы в кювете находится в состоянии покоя, на связь молекул воды со структурой зерновки влияют два фактора – “связывания” активными центрами сорбции поверхности зерна и “высвобождения” в объеме менисков, которые образуются в местах прикосновения зерен к стенкам кювета и между собой в объеме опытной пробы. В момент засыпания зерна в кювете все мениски разрушаются, при этом происходит высвобождение энергии, в результате чего молекулы воды становятся более связанными, что приводит к уменьшению  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ . После завершения засыпания наступает новое состояние покоя для зерна и происходит обратный процесс поглощения энергии из объема пробы, что приводит к уменьшению степени связи между молекулами воды и структурой зерновки и увеличению  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ . Через определенное время, которое зависит от соотношения свободной и связанной влаги (содержания влаги) в зерне, процессы высвобождения и связывания молекул воды уравниваются.

Упомянутые процессы существенно влияют на точность диэлькометрических влагомеров и имеют сложный характер, который зависит от материала стенок (обкладок) чувствительного элемента, а интенсивность влагообмена зависит от степени увлажненности опытной пробы зерна.

Необходимо отметить, что влагообмен в объеме опытной пробы зерна существенно влияет на результат измерения лишь в приборах насыпного (лабораторного) типа, для поточных влагомеров, где объект исследования постоянно находится в движении, высвобождение молекул воды в мениски практически не происходит, поскольку они постоянно разрушаются при транспортировке зерна в потоке.

Следовательно, для повышения точности результатов диэлькометриче-

ских влагомеров необходимо учитывать влияние влагообмена, который происходит как в объеме опытной пробы, так и на границе “стенка ковца – зерно”.

В работе сыпучие материалы рассмотрены как объект автоматического контроля. С другой точки зрения, это - дисперсная двухфазная система «твердое тело - газ (жидкость)», существующая при определенном соотношении фаз. Количественно это соотношение определяется коэффициентом плотности укладки  $K_p$ :

$$K_p = \frac{V_T}{V} = \frac{V_T}{V_{\text{уд}}}, \quad (13)$$

где  $V_T$  - объем твердой фазы;  $V$  - объем сыпучего материала и  $V_{\text{уд}}$  - удельный вес сыпучего материала.

С точки зрения механики, сыпучий материал – это дискретная замкнутая система, состоящая из контактирующих между собой частиц твердой фазы. Степень контактирования характеризуется эффективной поверхностью, которая зависит как от плотности укладки материала, так и от гранулометрического состава. Эти специфические параметры сыпучего материала в соответствии с существующими литературными данными существенно влияют на электрические параметры сыпучих материалов.

Теория диэлектриков позволяет установить параметры, характеризующие образец сыпучего материала, помещенный в высокочастотное поле. Полная проводимость образца сыпучего материала зависит как от активной, так и от реактивной составляющих, измеренных на соответствующей  $i$ -ой частоте ( $W = 2\pi f$ )

$$\begin{aligned} \Delta Y(Wi) = \Delta Y_G(Wi) + j\Delta Y_C(Wi) = & \frac{\partial Y_G(Wi)}{\partial W} dW + \frac{\partial Y_G(Wi)}{\partial \rho} d\rho + \\ \sum + \frac{\partial Y_G(Wi)}{\partial \gamma} d\gamma + \dots + j \left( \frac{\partial Y_C(Wi)}{\partial W} dW + \frac{\partial Y_C(Wi)}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial Y_C(Wi)}{\partial \gamma} d\gamma + \dots \right). \end{aligned} \quad (14)$$

В качестве электрических параметров, характеризующих свойства сыпучего материала, можно считать полную проводимость (адмитанц) первичного измерительного преобразователя с образцом материала, выраженную через ее активную  $Y_G$  и реактивную  $Y_C$  составляющие. Параметры, метрология которых может быть обеспечена, по своей физической сути более естественны, нежели заимствованные из радиотехники добротность, потери и др. К этому заключению можно придти, если учитывать современные тенденции развития в области приборостроения – построение систем с отдельным уравниванием активной и реактивной составляющих адмитанца объекта контроля.

В работе предложена методика расчета емкостных датчиков для измерения диэлектрической проницаемости сыпучих материалов переменной толщины.

Показано, что поле датчика с плоскими электродами вдали от плоскости электродов убывает по закону  $\exp(-Y/S)$ . Следовательно, для

измерения параметров (например,  $\varepsilon$  материала, толщина которого  $d$ ) требуется датчик с такими размерами электродов, чтобы  $S \ll d$ .

При этом поле в контролируемом материале не достигнет его поверхности и с точностью порядка  $\exp(-\pi d/S)$  будет таким же, как и для материала бесконечной толщины. Таким образом, пренебрегая зависимостью результатов измерений от толщины материала  $d$ , мы допускаем ошибку порядка  $\exp(-\pi d/S)$ .

При контроле влажности тонких слоев материала размеры пластин емкостных датчиков должны быть такими, чтобы напряженность поля  $E$  на определенной глубине, соответствующей максимальной толщине слоя, была  $KE_0$ , где  $E_0$  - напряженность поля на поверхности пластин. При этом условии можно гарантировать, что при покрытии датчика слоем большой толщины погрешность измерений не превысит  $(1-K)$ . Обозначив:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{\alpha}; \quad r_1 = \frac{S-a}{2}; \quad r_2 = \frac{S+a}{2}; \quad \frac{Y}{r_1} = \beta; \quad \frac{Y}{r_2} = \gamma, \text{ можно показать, что выражение}$$

напряженности электрического поля вдоль оси  $y$ , перпендикулярной плоскости электродов, будет:

$$\alpha = \sqrt{(1+\beta^2)(1+\gamma^2)}. \quad (15)$$

С увеличением  $\beta$  и  $\gamma$  скорость убывания вектора  $E$  вдоль оси ординат возрастает, вследствие чего при переходе от одной толщины к другой повышается не только чувствительность датчика, но и его погрешность.

Предложена методика расчета емкостного датчика одностороннего типа. Формула для подсчета емкости, сведенная к расчету емкости двух длинных полос, имеет вид:

$$C = \frac{l}{4}(\varepsilon+1) \sum_{k=1}^n \tau_k, \quad (16)$$

где  $l$  - длина средней линии зазора между электродами;  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость прокладки;  $\tau_k$  - линейная плотность заряда;  $n$  - число участков, на которые разбивается полоса.

Отметим, что погрешность расчетного определения емкости по сравнению с экспериментальным колеблется в пределах 0,75-16,0%. При этом большие погрешности получаются при малом числе электродов датчика (первая и последняя цифры соответственно относятся к датчикам с 29 и 5 парами электродов).

Это соотношение обеспечивает необходимый диапазон измерения рабочей емкости для известного диапазона изменения диэлектрической проницаемости анализируемых сред.

В работе нами предложена вариант электронно-цифровой полевой емкостной влагомер для определения влажности фуражного зерна, зеленой кормовой массы, силоса и сена. Включение измерительной схемы происходит при достижении нужного значения плотности контролируемой среды. Компенсация влияния температуры на показания прибора осуществляется автоматически. Основная погрешность измерения, по диапазонам влажности 14-40% и 40-70% составляет соответственно  $\pm 1,5$ -



2,0% и  $\pm 3,5-4,0\%$ ; для фуражного зерна с влажностью 10-20% и 20-40% соответственно  $\pm 2,0\%$  и  $\pm 2,5\%$ .

Приборе для измерения диэлектрической проницаемости сильнопроводящих веществ с помощью уравновешенного моста переменного тока содержится синхронный детектор положения равновесия измерительной схемы, для обеспечения инвариантности измерительной схемы относительно изменения величины тока, протекающего через измерительный двухполосник, типовая схема дополнена трансформатором высокой частоты, работающим в режиме холостого хода, а контроль состояния равновесия измерительной схемы осуществляется путем непрерывного сравнения падений напряжения на вторичной обмотке трансформатора и измерительном двухполоснике.

Для расчетной схемы измерительного преобразователя с переменным значением рабочей емкости справедливо следующее соотношение между его геометрическими параметрами:

$$\left(\frac{D_1}{D_4}\right)^{1-(E_{min}/E_{max})} = \frac{D_2}{D_3}, \quad (17)$$

где  $D_1$  - диаметр центрального электрода;  $D_2$  - внутренний диаметр бесконтактного поршня;  $D_3$  - наружный диаметр бесконтактного поршня;  $D_4$  - диаметр внешнего электрода;  $E_{min}$ ,  $E_{max}$  - соответственно минимальное и максимальное значения диэлектрической проницаемости среды.

**Третья глава** посвящена вопросам исследованию автоматических влагомеров для зернистых материалов.

Собрана экспериментальная установка для исследования электрофизических характеристик сыпучих материалов, основным узлом которой является блок измерительных ячеек, состоящий из двух идентичных емкостных датчиков; одну из ячеек можно загружать образцом материала с эталонными свойствами, а другую - анализируемой средой. Температура в обеих ячейках поддерживается при помощи термостата и холодильника. Контроль температуры образцов осуществляется с помощью электронного потенциометра. Укладка материала производится виброукладчиком, либо поршнем гидравлического пресса.

Амплитудно- и фазо-частотные характеристики в функции от влажности, плотности укладки, гранулометрического состава, температуры материала и других параметров можно получить, подключая к блоку ячеек соответствующую аппаратуру измерительного комплекса. Последний состоит из измерителей полных проводимостей, электронного фазомера, измерителя амплитудно-частотных характеристик (ИАЧХ) с селективным усилителем и цифрового электронного частотомера.

Использован способ получения частотно-фазовых характеристик методом измерения фазового сдвига по переходам через нуль. Принцип получения ИАЧХ, в основу которого положен метод генератора качающейся частоты, позволяет автоматизировать процесс исследования. С целью

оперативной регистрации результатов исследования применен двухкоординатный самописец, осуществляющий запись двух функциональных зависимостей:

$$A_n(W) = F[X_n(W)], \quad (18)$$

где  $A_n$  - амплитуда выходного сигнала на интервале  $[W_0, W_k]$ ;  $X_n$  - значение  $n$ -го параметра анализируемого образца.

Отличительной особенностью установки является использование селективного усилителя, позволяющего увеличить чувствительность метода, воспроизводить АЧХ в линейном и логарифмическом масштабах, измерять одновременно входную амплитуду и частоту в любой точке частотной характеристики.

Анализ существующих конструкций измерительных ячеек (ИЯ) емкостного типа (химических, коаксиальных, кампланарных, многоштыревых, двойных, емкостно-резистивных и др.) позволяет выбрать конструкцию термостатируемых ячеек для исследования сыпучих материалов в полях высокой частоты, а также конструкцию полистироловых ячеек - стаканов с внутренними пленочными электродами, позволяющих осуществлять быструю смену образцов. Градуировочные кривые для различных температур представляются в виде зависимостей  $Y_G(W)$  и  $Y_C(W)$ .

Экспериментальная установка позволяет: варьировать основные параметры сыпучего материала (температуру, плотность укладки, влагосодержание и т.д.) в пределах, удовлетворяющих большинству прикладных задач; выполнять исследования с минимальными затратами времени; получать хорошо воспроизводимые результаты в широком диапазоне частот.

Нами предложен работа полевого электронно-емкостного влагомера для кормовых материалов; зеленой массы трав, идущей на силос, сенаж и высокотемпературную сушку; сена и фуражного зерна. Влагомер представляет собой цилиндр диаметром 150 мм, разделенный на две части. Верхняя часть является измерительной ячейкой объемом  $3700 \text{ см}^3$ ; в нижней размещена плата электрической схемы прибора и источник питания. На плате размещен индикатор на жидких кристаллах, считывание показаний с которого производится через окно в корпусе прибора. Внутренний электрод выполнен в виде конуса. Наружный электрод представляет собой тонкую металлическую ленту, размещенную с внешней стороны цилиндра. Включение измерительной схемы происходит при достижении нужного значения плотности исследуемого материала в измерительной ячейке. Уплотнение образца осуществляется действием вертикального усилия, прикладываемого оператором к крышке-поршню 4 с ручкой. Крышка фиксируется двумя защелками и служит для перемещения влагомера. При уплотнении материала днище прибора, преодолевая сопротивление пружин, перемещается вверх и замыкает контакт, включающий измерительную схему. Предусмотрена возможность регулирования усилия, необходимого для замыкания контакта. Установлено, что уже при усилии уплотнения, равном 80 Н, достигается удовлетворительная сходимость результатов измерения.

При этом должны соблюдаться требования к измельчению материала: размер частиц не должен превышать 20 мкм. Компенсация влияния температуры осуществляется автоматически. Цикл работы прибора состоит из измерения влажности исследуемого образца и внесения поправки на температуру в результате измерения примерно через 17 с после включения влагомера. Через такой же промежуток времени он автоматически выключается.

Нами исследован блок контроля влажности и температуры зерна. Модель датчика - параллельное соединение емкости ( $C_x$ ) и сопротивления ( $R_x$ ), величины которых зависят от влажности содержимого конденсатора. Формирователь преобразует в электрический сигнал параметры датчика, используя датчик или в качестве конденсатора в задающей цепи генератора, или в виде элемента делителя выходного напряжения генератора.

Наличие у датчика двух информационных параметров (вместо одного) не увеличивает количество поступающей от него информации, поскольку эти параметры зависимы (постоянная времени датчика  $i_x = R_x C_x \approx const$ ). Наличие помех в выходном сигнале присуще всем формирователям, использующим в качестве датчика конденсатор с потерями. Особенно это проявляется у генераторов, частотно-задающая цепь которых содержит конденсатор, активное сопротивление которого меняется в зависимости от влажности в  $10^6$  раз.

Основным критерием оценки вариантов формирователей выступает критерий минимума дисперсии выходного сигнала. Последняя зависит от спектральной плотности входного сигнала ( $s_x(\omega)$ ) и частотной характеристики формирователя ( $\Phi(i\omega)$ ). Для пшеничного зерна функция корреляции  $R(\tau)$  и спектральная плотность  $s(\omega)$  определяются как

$$R(\tau) = \sigma^2 * e^{-\alpha|\tau|}, \quad S(\omega) = \frac{\sigma^2 \alpha}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)}, \quad (19)$$

где  $\sigma^2$  - дисперсия влажности зерна,  $\alpha$  - постоянный коэффициент:  $\sigma = 0,8 - 4,1\%$ ,  $\alpha = (0,15 - 0,22)10^{-3} c^{-1}$ .

Анализ показывает, что для гармонического сигнала наименьшей дисперсией обладает формирователь, датчик которого подсоединяется к внешней цепи через конденсатор, емкость которого меньше емкости датчика. Формирователи непрерывного напряжения обеспечивают наилучшие характеристики при постоянном внешнем токе. Формирователи же дискретных сигналов обеспечивают наименьшую дисперсию при заряде емкости датчика постоянным током.

Рассматриваемый блок состоит из: датчиков влажности и температуры; блока питания; измерительного блока и блока индикации, конструктивно составляющих единый узел - операционное устройство. При этом измерительный блок содержит: формирователи сигналов влажности и температуры; узел режима; синхрогенератор; схему управления; генератор контрольной частоты. Блок индикации содержит счетчик и индикатор. Поскольку измерение влажности и температуры происходит не одновременно, то разработан узел выбора режима. Он является и узлом запуска прибора.

В работе получено градуировочное соотношение между показаниями прибора ( $W_{pi}(t), \%$ ) и устройством контроля ( $N(t)$ ):

$$N_T(t) = 7677,36 - 201,04W_{pi}(t). \quad (20)$$

Коэффициент вариации градуировки  $Y_{\pi} = 2,07 \%$ , а коэффициент взаимной корреляции равен  $R=0,97$ .

Нами модифицирован СВЧ-влажномер для контроля влажности зерна и других сыпучих материалов. Устройство содержит: сверхвысокочастотный генератор, управляемый коаксиальный резонатор, детектор, синхронный детектор, индикатор, генератор прямоугольных импульсов, формирователь пилообразных импульсов, дифференциатор, первый пороговый блок, схему совпадения, ключ, второй пороговый блок и инвертор.

Управляемый коаксиальный резонатор возбуждается сверхвысокочастотным генератором. Поочередное открывание окон связи управляемого коаксиального резонатора обеспечивает поочередное взаимодействие СВЧ-поля управляемого коаксиального резонатора с эталонным и измеряемым образцами. При этом формирователь линейно перестраивает собственную частоту управляемого коаксиального резонатора - так, что в последнем всегда в какой-то момент времени наступает резонанс независимо от реактивного сопротивления, вносимого образцами. Амплитуда колебаний при резонансе зависит от влажности измеряемых образцов. Поскольку образцы включаются поочередно, то на выходе детектора наблюдается последовательность колоколообразных импульсов, амплитуда которых поочередно зависит от влажности эталонного и измеряемого образцов.

При этом необходимо точно определить момент наступления резонанса и именно в это время произвести отсчет амплитуды. С этой целью сигнал с выхода детектора поступает на дифференциатор, напряжение на выходе которого переходит через нуль в момент максимума сигнала на его выходе. Первый пороговый блок фиксирует момент прохождения напряжения через нуль. Чтобы исключить из рассмотрения моменты отсутствия сигнала на выходе детектора, они фиксируются вторым пороговым блоком с инвертором. В результате на выходе схемы совпадения импульсы появляются только в моменты максимума сигнала на выходе детектора. Эти импульсы поступают на управляющий вход ключа, напряжение на выходе которого представляет собой короткие импульсы с амплитудой, пропорциональной влажности эталонного и измеряемого образцов. Далее эти импульсы поступают на синхронный детектор и с него уже детектированный сигнал поступает на индикатор.

В составе исследуемого устройства используется гибридный адаптивный дифференциатор первого порядка, построенный на основе метода квазиоптимальной фильтрации.

Дифференциатор состоит из вычислительного устройства (ВУ), выполненного на элементах постоянной памяти, и аналоговой схемы, которая содержит умножители, интеграторы и элемент пропорциональности. ВУ воспринимает аддитивную смесь полезного сигнала и помехи. В результате

анализа последней ВУ идентифицирует уровни полезного сигнала и помехи; затем оно производит подстройку параметров аналоговой части схемы и выдает сигналы, сформированные на основе вычисления:

$$W_{\Phi, \text{optm}}(i\omega) = \frac{Q}{R} \left\{ \prod_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \left[ (i\omega)^2 + 2i\omega N \sqrt{\frac{Q}{R}} \cos\left(\frac{\pi}{2N} + \frac{\pi}{N}j\right) + N \sqrt{\frac{Q^2}{R^2}} \right] \right\}, \quad (21)$$

где  $W_{\Phi, \text{optm}}(i\omega)$  - частотная передаточная функция квазиоптимального фильтра;  $Q$  и  $R$  - коэффициенты, характеризующие соответственно мощность полезного сигнала и помехи;  $N$  - величина, получаемая из анализа спектральных плотностей полезного сигнала и помехи (может быть четной и нечетной).

Сравнительные исследования свидетельствует о том, что при частоте генератора прямоугольных импульсов 10kHz и небольших отклонениях влажности измеряемого образца от нормированной, точность измерения повышается. Еще более высокой точности можно добиться, если в составе СВЧ-влажмера использовать дифференциатор второго порядка, передаточная функция которого записывается в виде:

$$W_2(\delta) = \frac{T_0 T_2 \delta^2}{\left(\frac{T_2}{k_2} \delta + 1\right) \left(T_1 \frac{T_0}{k_1} \delta^2 + \frac{T_0}{k_1} \delta + 1\right)}, \quad (22)$$

где  $T_0 = k_0 C_0 / U_C = U_{\text{Вых}} / (\omega_C U_{\text{Вх}})$ ;  $k_1 = U_2 = T_0 \sqrt[3]{Q/R}$ ;  $T_1 = R_1 C_1 / U_1 = \sqrt[3]{R/Q}$ ;  $T_2 = R_2 C_2 / U_3 = 1/\omega_C$ ;  $k_2 = U_4 = T_2 \sqrt[3]{Q/R}$ ;  $\omega_C = 2\pi f_C$ ;  $f_C > f_C$ ;  $U_1, U_2, U_3, U_4$  и  $U_5$  - сигналы перестройки параметров схемы (сигналы  $U_1 \div U_3$  вырабатываются аналоговой схемой дифференциатора первого порядка);  $\omega_C$  - угловая частота полезного сигнала;  $U_{\text{Вых}}$  - требуемое значение амплитуды выходного сигнала.

Микропроцессорный контроллер дифференциаторов оценивает уровни  $Q$  и  $R$ , вычисляет требуемые значения параметров схемы, а также выдает сигналы перестройки структуры дифференциаторов при накоплении дополнительной информации о сигналах. При этом в аналоговую часть схемы дифференциатора могут вводиться дополнительные элементарные фильтры.

В работе рассмотрены вопросы построения дифференциаторов первого, второго и выше порядков, обеспечивающих требуемую точность при дифференцировании измерительных сигналов, наблюдаемых на фоне разнообразных помех. Показано, что решение задачи получения высококачественных производных может быть выполнено на основе использования метода квазиоптимальной фильтрации.

Осуществлен сравнительный анализ погрешностей адаптивных и неадаптивных дифференциаторов первого и второго порядков и показано, что первые отличаются высокой помехоустойчивостью, удовлетворительно работают при уровнях помех, равных или превышающих уровень полезного сигнала, причем, отношение «сигнал/помеха» на выходе адаптивных дифференциаторов практически не изменяется при колебаниях уровня

помехи в широких пределах. Кроме того, адаптивные дифференциаторы подавляют случайные помехи, уровень которых изменяется со скоростью, при которой дифференциатор успевает перестроить свои параметры; причем, время перестройки в основном определяется быстродействием аналогово-цифрового преобразователя. Помехоустойчивость адаптивных дифференциаторов остается высокой и в том случае, когда существенные частоты спектров полезного сигнала и помехи расположены достаточно близко.

**Четвертая глава** диссертации посвящена математическому моделированию и оптимизации параметров первичных измерительных преобразователей электрофизических характеристик зерновых материалов.

Определена структура и сформулированы технические требования к измерительно-информационной подсистеме АСУТП, обеспечивающей заданную точность и устойчивость синтезируемых систем контроля и управления влаго - тепловой обработкой зерновой продукции.

Получена математическая модель импульсного измерительного преобразователя электрофизических характеристик сыпучих материалов.

В зависимости от частоты сигнала  $S_0$ , выдаваемого генератором  $V_0$ , изменяются основные параметры исследуемой среды: комплексная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ , комплексная магнитная проницаемость  $\mu = \mu' - j\mu''$  и комплексная проводимость  $\sigma = \sigma' - j\sigma''$ . Диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  и комплексная проводимость связаны следующими соотношениями:

$$\sigma + j\omega\varepsilon = \sigma' + \omega\varepsilon'' + j\omega(\varepsilon' - \sigma'/\omega) = \sigma_c + j\omega\varepsilon_c, \quad (23)$$

определяющими вещественную эквивалентную проводимость  $\sigma_c = \sigma' + \omega\varepsilon''$  и вещественную эквивалентную проницаемость  $\varepsilon_c = \varepsilon' - \sigma'/\omega$ . Целесообразно ввести комплексную эквивалентную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon_3$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon - j\sigma/\omega = \varepsilon_c - j\sigma_c/\omega = \varepsilon_c(1 - jp_e), \quad (24)$$

где  $p_e$  - тангенс угла потерь

$$p_e = \frac{\sigma_c}{\omega\varepsilon_c} = \frac{\sigma' + \omega\varepsilon''}{\omega\varepsilon' - \sigma'}.$$

Уравнения Максвелла для произвольной линейной среды примут вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} E &= 0, \\ \operatorname{rot} E &= j\omega B, \\ \operatorname{rot} B &= j\omega\mu\varepsilon_3 E, \\ \operatorname{div} B &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

где  $B$  - индукция магнитного поля.

Граничные условия на границе двух сред запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 n_1 E_1 + \varepsilon_2 n_2 E_2 &= 0, \\ n_1 \times E_1 + n_2 \times E_2 &= 0, \\ \mu_1^{-1} n_1 \times B_1 + \mu_2^{-1} n_2 \times B_2 &= 0, \\ n_1 B_1 + n_2 B_2 &= 0, \end{aligned} \quad (26)$$

где  $n$  - единичный вектор внешней нормали; (нижние индексы "1" относятся к первой рассматриваемой среде, а нижние индексы "2" относятся ко второй среде; знак "x" означает векторное произведение).

Векторы  $E$  и  $B$  в уравнениях (26) нетрудно разделить, если взять роторы от обеих частей уравнений и произвести подстановку. Тогда для вектора  $E$  получим уравнение второго порядка

$$\text{rot rot } E - k^2 E = 0. \quad (27)$$

В приведенных уравнениях введено комплексное волновое число  $k = \beta - j\alpha$ , определяемое как

$$k = \varpi \mu' \varepsilon_c \{1 - jp_c\}^{1/2} \{1 - jp_m\}^{1/2}. \quad (28)$$

Вещественную и мнимую части формулы (28) можно разделить, исходя из следующих выражений

$$\begin{aligned} \{1 - jp\}^{1/2} &= f(p) - jg(p), \\ f(p) &= \text{ch}(1/2 \text{Arsh } p) = \{1/2[p^2 + 1]^{1/2} + 1\}^{1/2}, \\ g(p) &= \text{sh}(1/2 \text{Arsh } p) = \{1/2[p^2 + 1]^{1/2} - 1\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (29)$$

Следует отметить, что для зерна, имеющего тангенс угла потерь  $p_c^2$  значительно меньше единицы, выражения примут вид

$$f(p) \approx 1, \quad g(p) \approx p/2. \quad (30)$$

Комплексное волновое число  $k$ -основная физическая характеристика произвольной линейной среды. Другим важным параметром является волновое сопротивление среды  $\zeta$ , определяемое как

$$\zeta = \frac{\varpi \mu}{k} = \frac{\varpi \mu}{\beta(1 - j\alpha/\beta)} = \frac{\zeta_0}{\Lambda(1 - j\alpha/\beta)}, \quad (31)$$

где  $\zeta_0 = \{\mu_0/\varepsilon_0\}^{1/2} \approx 377$  Ом - волновое сопротивление свободного пространства;  $\Lambda$  - нормирующий множитель, определяемый как

$$\Lambda = \beta \zeta_0 / \varpi \mu. \quad (32)$$

На основе необходимых аналитических выражений, определены эквивалентные электрические параметры первичного преобразователя цилиндрической формы, представляющего собой металлический проводник, помещенный в исследуемую среду.

Получены математические модели первичных и вторичных измерительных преобразователей, определяющие нормированную чувствительность

$$S_{kh}^y = \frac{2K_h k l_1}{\sin(2kl)} \left[ \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - 1 \right], \quad (33)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - относительные диэлектрические проницаемости соседних сред;  $k_k$  и  $l_1$  - конструктивные параметры первичных преобразователей;  $k$  - комплексное волновое число.

Из (33) следует, что для надежной работы прибора, использующего емкостные первичные измерительные преобразователи, необходимо достаточно глубоко погружать 2 датчики в исследуемую среду. Наличие заметных потерь электромагнитной энергии в исследуемой среде ухудшает линейность характеристики преобразования датчика и повышает погрешность измерения технологических параметров.

Для вторичного измерительного преобразователя импульсного датчика в работе получена зависимость, связывающая его входное сопротивление с основными параметрами электронной схемы:

$$R_H = -Rt_h^2 \left[ \frac{\alpha T}{2} \right] \left[ 1 - \frac{\exp(-\alpha T) + \exp(-2\alpha T)}{2} \right], \quad (34)$$

где  $R$  и  $R_H$  - номинал нагрузочного резистора и дифференциальное сопротивление падающего участка вольт-амперной характеристики (ВАХ) негатрона импульсного датчика;  $T$ -период квантования;  $\alpha$  - частота сокращения апериодического звена первого порядка.

Из выражения (34) следует, что наивысшей чувствительности к изменению технологических параметров можно добиться, если номинал нагрузочного резистора  $R$  составляет половину абсолютного значения  $R_H$ .

Для схемы импульсного датчика, содержащей  $p$  транзисторов и  $q$  биполярных диодов и рассматриваемой как многополюсные схемы с  $(2p+q)$  парами полюсов, сформулированы критерии принадлежности электронной части импульсного датчика к негатронам типа  $S$ , найдены формулы для определения входного сопротивления  $R(M)$  биполярных

$$R(M)^{-1} = \frac{G_1 \{ \det(I_q - MP) + G_1 B \text{adj}(I_q - MP) MA \}}{\det(I_q - MP)} \quad (35)$$

и униполярных полупроводниковых структур

$$R(M) = G_e^{-1} \frac{\det(I_q - MP)}{\det[I_q - M(P - G_e^{-1} AB)]}, \quad (36)$$

где  $G_1$  и  $b$  - действительные матрицы проводимости электронной схемы;  $P$  и  $Q$  - действительные квадратные матрицы;  $S$  - действительный вектор;  $A$  и  $B$  - действительные квадратные матрицы;  $M$  - матрица коэффициентов усиления по напряжению;  $I_q$  - единичная матрица.

В результате проведенных исследований моделей измерительной информационной подсистемы АСУТП сушки зерна, в которых на основе исследованных устройств определена ее функциональная структура и протоколы обмена информации, разработана методика оценки и расчета характеристик преобразования импульсных датчиков.

**Пятая глава** посвящена информационно-измерительной поддержке автоматизированных систем управления технологическими процессами влаго-тепловой обработки зерновой продукции.

Показано, что в 90-ые годы прошлого столетия возникли новые производственные стандарты контроля и управления предприятием и производством – ERP, ERP-II, MRP-II, EAM и др., которые были ориентированы на технологии SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и DCS (Distributed Control System) и которые способствовали формированию разнообразных решений по построению систем оперативного контроля и управления для стандарта MES (Manufacturing Execution Systems). Эти стратегические изменения в принципах автоматизированного контроля и управления промышленным производством привели к соответствующим изменениям в структурах алгоритмов контроля и управления.



При этом, если содержательная часть алгоритмов контроля и управления технологическим циклом оставалась неизменной (последовательная коррекция режимов технологических процессов на основе результатов оперативного мониторинга и лабораторных анализов), то их оптимизационная компонента претерпела существенные изменения и вылилась в целый ряд новых разработок, объединенных общей методологией APC (Advance Process Control).

В частности, методы и средства интеллектуальных систем, алгоритмы нейросетевого прогнозирования и многомерного статистического анализа, применяемые в аналитических информационных технологиях, стали активно использоваться при создании виртуальных анализаторов, автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) или Decision Support Systems, (DSS) и других APC – средствах.

Оперативный анализ текущей ситуации, ее сопоставление с данными ретроспективного анализа реализуются средствами OLAP (On-Line Analytical Processing), исходя из предположения, что OLAP – технологии могут стать мощным инструментом для оперативной визуализации состояния производственной ситуации в интересах совершенствования текущего контроля и управления технологическими процессами и диспетчеризации материальных потоков.

Акцент на количественном анализе ситуаций позволяет перенести центр тяжести процедуры выработки проекта решения с эвристических логико-интуитивных методов, характерных для эмпирических технологий, на мощную, глубоко формализованную платформу прикладной математики. При этом качественный, эмпирический анализ также сохраняется, и его основным приложением остается вполне обозримый объем конечного перебора уже сформированных вариантов решений на фоне подготовленных прогностических сценариев. Таким образом, речь, по существу, идет об основной форме гибридного интеллекта, в которой машине отводится роль сверхмощного количественного анализатора, оставляя за человеком вопросы окончательных решений.

В работе сформулированы концептуальные основы интеллектуальной поддержки измерителей электрофизических характеристик и свойств твердых сыпучих материалов. Предложена иерархическая структура взаимодействия средств интеллектуальной поддержки в технологиях автоматизированного контроля электрофизических параметров зерновых материалов.

Предложена методика повышения достоверности первичной измерительной информации, реализованная на примерах поверки влагомеров для сыпучих материалов. Контроль достоверности в простейшем случае осуществляется по технологически возможным границам изменения измеряемой величины. Нарушение этих границ обычно свидетельствует о неисправности функционирования датчика или канала измерения. При обнаружении нарушения на пульт технолога-оператора выдается соответствующее сообщение. Дальнейшая обработка этого параметра осуществляется с использованием последнего достоверного его значения.

Традиционные модели обработки информации с целью повышения ее достоверности основаны на допущении о низменности математической модели объекта исследования как на стадии получения информации, так и на горизонте оперативного прогнозирования. Очевидно, более предпочтителен вариант, когда алгоритм обработки информации способен автоматически распознавать модели и приспосабливаться к ним.

С учетом «старения» информации и динамики изменения модели задачу статистического синтеза оптимальных алгоритмов обработки измерительной информации можно сформулировать следующим образом:

- исходя из теоретических соображений или накопленного опыта, выбирается аналитическое выражение для алгоритма обработки информации, которое зависит от неизвестных параметров;
- задаются ограничения на неизвестные коэффициенты;
- выбирается или определяется форма критерия оптимальности метода обработки результатов измерений;
- решается задача отыскания условного экстремума критерия оптимальности  $J$  при заданных ограничениях  $\mu$  путем варьирования значений неизвестных коэффициентов  $C_i$ ;
- определяется метод и алгоритм обработки информации.

Прогнозирование производственных ситуаций предполагает наличие следующей последовательности действий: измерение электрофизических характеристик сыпучих материалов (выявление исходной ситуации), анализ полученных данных с целью принятия решения о качестве объекта контроля и формирование заключения (прогнозирование исхода). В процессе управления качеством зерновой продукции последовательность действий аналогична: анализ текущей ситуации, оценка возможных событий и исходов. В общем случае имеет место цепь отображения вида: ситуация  $\Rightarrow$  событие  $\Rightarrow$  исход.

Важнейшее средство интеллекта - возможность проведения целенаправленного отбора информации с целью обеспечения ее достоверности для адекватной оценки ситуации и принятия оптимального решения. Основными причинами факта существования недостоверности информации при контроле электрофизических параметров зерновой продукции являются: отсутствие возможности обеспечения объективности оценок; зашумленность данных; погрешности из-за неправильного выбора методов или средств их получения; случайные помехи и искажения и т.д. При этом для минимизации вероятности использования недостоверной информации необходим ее предварительный отбор, или фильтрация.

С целью идентификации качества зерна, поступающего на мукомольные предприятия и элеваторы, нами предложен классификатор показателей качества, структура которого выглядит следующим образом:

$$KPZ = \langle D(K, P, d) \rangle \quad (37)$$

$$K_6 \{K\}; P=1, KP(K); d \in \langle 1, 2, KD(P) \rangle; d = d_1(K, P), d_2(K, P);$$

где  $D(K, P, d)$  – диапазон с номером  $d$  для зерновой культуры с кодом  $K$  показателя качества зерна  $P$ ;  $K$  – код культуры (берется из отраслевого

классификатора культур);  $\{K\}$  - множество кодов зерновых культур, поступающих на мукомольное предприятие или элеватор;  $P$  - номер (код) показателя качества зерна, которое определяет наименование этого показателя:

$$P = \begin{cases} 1 - \text{для культуры зерна;} \\ 2 - \text{для влажности зерна;} \\ 3 - \text{для сорных примесей;} \\ 4 - \text{для зерновых примесей;} \\ 5 - \text{содержания сырой клейковины;} \\ 6 - \text{для показания стекловидности;} \end{cases} \quad (38)$$

$KP(K)$  - количество показателей качества, характеризующих зерновую культуру с кодом  $K$ ;

$$KP(K) = \begin{cases} 7, \text{ если } K \text{ определяет пшеницу;} \\ 4, \text{ если } K \text{ определяет другую культуру;} \end{cases} \quad (39)$$

$d$  - порядковый номер (код) одного из диапазонов, на которые разбивается область возможных значений показателя  $P$  для зерновой культуры с кодом  $K$ ;  $KD(P)$  - максимальное количество диапазонов для показателя качества  $P$ ,  $KD(P) \in (1, 2, \dots, 9)$ ;  $D_1(K, P)$  и  $d_2(K, P)$  - нижняя и верхняя границы для изменения показателя  $P$  культуры  $K$  (эти параметры кодируют область изменения показателя  $P$  для всех культур:  $\langle 1, 2, \dots, KD(P) \rangle$ ).

Каждый диапазон классификатора задается нижней  $N(K, P, d)$  и верхней  $V(K, P, d)$  границами изменения показателя, причем, нижняя граница следующего диапазона равна верхней границе предыдущего;

$$D(K, P, d) \leq N(K, P, d), V(K, P, d) >; N(K, P, d+1) = V(K, P, d). \quad (40)$$

На основании рассматриваемого классификатора предложен способ кодирования показателей качества зерна.

Обозначим вектором  $Z_i$  - код культуры и физические значения показателей качества  $i$ -ой порции зерна, поступившей с  $i$ -ым автомобилем:

$$Z_i = \langle K, Z(K, 1), \dots, Z(K, KP(K)) \rangle, \quad (41)$$

где  $Z(K, P)$  - физическое значение показателя качества  $P$ .

Располагая классификатором  $KPZ$ , включающим информацию о культуре  $K$ , можно сформировать вектор кодов  $\vec{KH}_i$ , отображающий физические значения показателей качества  $i$ -ой порции зерна:

$$\vec{KH}_i = \langle K, KH(1), \dots, KH(P), \dots, KH(KP(K)) \rangle, \quad (42)$$

где  $KH(P)$  - код показателя  $P$ , соответствующий его физическому значению  $Z(K, P)$ .

Предлагаемый способ кодирования сводится к следующему:

$$KH(P) = d,$$

если  $N(K, P, d) < z(k, p, D) \leq V(K, P, d) \cap P_\delta \{2, 3, 4, 6\}$ ;

$\cup N(K, P, d) \leq Z(K, P, d) < V(K, P, d) \cap P_\delta \{1, 5, 7\}$

(43)

Наличие в (43) двух неравенств объясняется включением граничных значений показателей в соответствующие диапазоны для разных показателей качества зерна.

В работе изложена методика прогнозирования влажности партий хлопковых семян, поступающих на масложировые предприятия. Основанная на применении методов распознавания образов, методика характеризуется инвариантностью решения к изменению внутренних характеристик семян.

Показана целесообразность трехзначного кодирования траектории колебаний влажности, при котором на каждом временном интервале  $\Delta t_R$  определяются соотношения между  $x(k-1)$  и  $x(k)$  по правилу:

$$Sgx(R) = \begin{cases} +1, & \text{если } 1 < [x(k) - x(k-1)] / \Delta h < 2; \\ 0, & \text{если } -1 \leq [x(k) - x(k-1)] / \Delta h \leq 1; \\ -1, & \text{если } -2 < [x(k) - x(k-1)] / \Delta h < -1. \end{cases} \quad (44)$$

где  $\Delta h$  - интервал уровневого квантования переменной  $x$ , значение которой  $x(T)$  в момент времени  $T = N\Delta t$  можно вычислить как:

$$x(T) = x_0 + \Delta h \sum_{k=1}^N Sgx(k). \quad (45)$$

Здесь:  $x_0$  - начальное значение переменной (уровень привязки);  $\Delta t$  - интервал временного квантования переменной;  $Sgx(k)$  - знак, определяющий движение переменной по уровням квантования в  $k$ -ый интервал времени;  $N$  - длина предыстории процесса.

Процедура формирования эталонов состоит в построении матриц предыстории, представляющих собой корреляционные поля для каждого из трех возможных знаков кода траектории влажности и позволяющих осуществлять классификацию предысторий с помощью прототипов.

Формирование последних сводилось к выбору знаков областей притяжения кодов признаков, обеспечивающих наибольшую меру близости между прототипом и предысториями для данного знака.

В качестве меры близости использовались: мера типа скалярного произведения:

$$\sum x_i p_i + x_2 p_2 + \dots + x_s p_s. \quad (46)$$

и мера типа расстояния по Хеммингу

$$\sum |x_i - p_i| + |x_2 - p_2| + \dots + |x_s - p_s|. \quad (47)$$

где  $x_i$  и  $p_i$  - код траектории и прототипа соответственно.

Выбор знака каждого разряда прототипа проводился по большинству плюсов или минусов, входящих в столбец матрицы предыстории.

При равновероятном выборе принимался знак, выдаваемый генератором случайных чисел.

Проверка прототипов на обучающей последовательности дала 19 правильных ответов и 1 возможно правильный ответ из 29 предъявленных траекторий, зафиксированных в строках матриц траектории. Характерно, что с увеличением числа учитываемых признаков или длины предыстории процент правильных ответов повышается.

Приведённая схема решения является одним из вариантов перцептронных структур алгоритмов. Исходная информация о влажности, зафиксированная в принятом трехзначном коде (+1,0,-1), рассматривается в виде некоторого сенсорного S –слоя, состоящего из 30 элементов, соединенных с элементами первого ассоциативного  $A_1$ - слоя. Выбор знака полпоса осуществляется по большинству кодов одного знака; в случае же их равенства применяется знак признака, который в траектории является более поздним. Направление связей и число элементов этого слоя зависят от числа кодов и законов корреляции знаков в траектории влажности, объединение выходов которых происходит в R-блоке, функционирующем аналогично элементам  $A_4$  и осуществляющем окончательную классификацию исходной информации.

Данный перцептрон работает в подготовительном режиме (когда устанавливаются связи между S и A – элементами по правилам построения корреляционных матриц) и в режиме собственно решения (когда формируются эталоны и происходит собственно решение).

Метод распознавания образов не требует полного знания распределения вероятности данных. Использованный подход оправдан тем, что другими методами трудно связать информацию о состоянии системы с ее общим поведением. При этом машинные программы могут сравнить новый образец с хранящемся вариантом каждого альтернативного образа, а наиболее близкое совпадение с заранее выбранной мерой близости позволяет выявить класс данного образца.

Анализ показывает, что предложенная методика прогнозирования влажности хлопковых семян обладает универсальным характером и может быть рекомендована к использованию в мукомольном производстве для прогнозирования влажности поступающих партий зерна.

**Шестая глава** диссертации посвящена вопросам информационно-измерительной поддержки автоматизированных систем управления технологическими процессами влаго-тепловой обработки зерновой продукции.

Испытания влагометрической системы проводились на шахтной зерносушилке. Датчик влажности зерна устанавливался в зоне охлаждения. Пробы зерна брались на выходе сушилки. За образцовый принят метод определения влажности в соответствии с ГОСТ 13586.5-93. Результаты измерения влажности зерна во времени T сведены в табл. 1, где T – время,  $W_{ВПЗ}$  – показания влажности зерна влагомера,  $W_{лаб}$  – показания влажности зерна, определённые лабораторным способом;

$$\Delta W = W_{ВПЗ} - W_{лаб}$$

## Результаты измерения влажности зерна во времени

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Т, мин	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
W <sub>ВПЗ</sub> , %	14.7	14.8	14.9	14.4	14.0	15.0	17.0	16.7	16.8	16.5	14.6	14.0	13.7	13.7	14.4	15.3	15.6	15.5	15.3	15.0	14.7
W <sub>Лаб</sub> , %	15,0	14,9	14,7	14,2	13,7	14,6	17,4	17,0	17,0	16,8	15,3	14,0	13,8	13,8	15,0	15,7	15,8	15,9	15,6	15,3	15,0
ΔW, %	-0.3	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.7	0.0	0.0	-0.1	-0.6	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3
№ п/п	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Т, мин	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410
W <sub>ВПЗ</sub> , %	14.8	14.8	15.5	14.7	14.8	14.9	14.4	14.0	14.9	15.5	15.4	15.1	14.8	14.0	13.7	14.1	15.3	15.6	15.5	15.7	15.0
W <sub>Лаб</sub> , %	14,9	14,9	14,8	15,1	14,7	15,2	14,6	14,4	15,2	15,4	15,6	15,3	14,5	14,2	13,9	14,7	15,7	15,2	15,2	15,3	15,2
ΔW, %	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	0.1	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.4	0.4	0.3	0.4	-0.2

Гипотеза о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, проверяется при помощи следующего критерия.

Вычисляется отношение

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}| / (nS^*), \quad (48)$$

где  $S^*$  - смещенная оценка среднего квадратического отклонения -

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}, \quad (49)$$

$\tilde{A}$  - среднее арифметическое результатов наблюдений -

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (50)$$

$n$  - количество наблюдений.

Результаты наблюдений можно считать распределенными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \tilde{d} < d_{q_1/2}, \quad (51)$$

где  $d_{1-q_1/2}, d_{q_1/2}$  - квантили распределения;  $q_1$  - заранее выбранный уровень значимости критерия.

Вычисляем  $d$  по формуле (48):  $d = 0,7798$ . Выбрав уровень значимости  $q_1 = 0,05$  при  $n = 46$ , находим  $d_{0,05} = 0.8508$ ;  $d_{0,95} = 0.7496$ . Поскольку  $0.7496 < 0.7798 < 0.8508$ , то критерий выполняется.

Определим вероятность заданного отклонения нормально распределенной случайной величины по абсолютной величине в соответствии с формулой

$$P(|X| < 0.5) = 2\Phi(0.5/\sigma), \quad (52)$$

где  $P(X)$  - вероятность,  $\Phi(X)$  - функция Лапласа,  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение нормального распределения

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (53)$$

Испытания опытного образца влагометрической системы показали, что вероятность абсолютной погрешности (не превышающей  $\pm 0.5$  (%)) составляет 0.94.

Предложенная в работе автоматизированная система контроля и управления процессом сушки зерна, обеспечивает, с одной стороны, прямую экономию топлива, с другой стороны, своевременность принятия мер по поддержанию режима сушки в заданном температурном интервале; при этом влажность зерна поддерживается близкой к целевому значению (14%).

На основе анализа существующих технологических установок влаго-тепловой обработки зернистых сыпучих материалов растительного происхождения определены состав и требования к элементам системы, реализующей использование достижений науки и техники. Выполнен анализ информационно-измерительной подсистемы АСУТП установок влаго-тепловой обработки зерновой продукции, обеспечивающей требуемые технико-экономические показатели производства.

Предложена методика автоматизированной поверки средств измерения влажности сыпучих материалов. При оптимизации процедуры автоматизированной поверки по критериям минимума числа наблюдений и максимума апостериорной достоверности  $D_r$  результата типа «годен» решена специфическая задача нелинейного программирования. Показана возможность формализации всех параметров поверки, за исключением исходного -  $D_r$ , задаваемого по методу «ступенчатого спуска» из перечня допускаемых решений 0,9999; 0,999; 0,99; 0,9; 0,8; 0,67. Тривиальное требование положительности верхней границы зоны годности

$$\Delta_{ог} = |\Delta_g| - 2|\Delta_{ог}|(1 - \alpha - \beta), \quad (54)$$

(где  $\Delta_{ог}$  - предел допускаемой погрешности образцового средства измерения), приводит к условию выбора допускаемого отношения погрешностей образцового и поверяемого приборов

$$\xi = \frac{\Delta_{ог}}{|\Delta_d| \leq 0,5(1 - \alpha - \beta)} = \sup_D \xi, \quad (55)$$

где  $\sup_D \xi$  - верхняя грань множества значений отношения  $\xi$  по множеству допускаемых значений априорной достоверности результатов поверки  $D = 1 - \alpha - \beta$ .

При автоматизированной поверке всегда  $0,5 < \sup_D \xi < 1,0$ . Это означает, что стандартный предел отношения погрешности при традиционной ручной поверке, равный 1:3, существенно повышается при автоматизированной поверке. За счет этого последняя удешевляется, поскольку снижается требование к точности образцовой аппаратуры.

Обоснованная методика автоматизированной поверки средств измерения влажности сыпучих материалов основана на методах последовательного анализа А. Вальда, теории вероятности, планирования экспериментов, а также имитационного моделирования процесса поверки измерительных средств.

Осуществлена постановка и дано решение задачи оценки и восстановления достоверности результатов измерений количественной и качественной информации в АСУТП. Обоснована методика анализа информационной подсистемы АСУТП с целью выявления первичных источников информации с низкой достоверностью.

Данная методика, используя в качестве входных данных несистематизированную информацию о свойствах информационной подсистемы АСУТП, позволяет осуществлять построение перечня количественных и качественных параметров, наиболее полно описывающих технологический процесс, выявлять источники информации, подверженные систематической погрешности, а также анализировать ее влияние на эффективность управления технологическим процессом.

Предложено, используя функциональные группы (ФГ), позволяющие воссоздать логику рассуждения эксперта об изменении одного технологического параметра и влиянии его на другие, строить функциональные зависимости с несколькими входными и одним выходным технологическим параметром. Показана целесообразность использования двух типов функциональных групп: групп только с количественными персменными параметрами и групп как с количественными, так и с качественными технологическими параметрами. Структуру первого типа отражает корреляционная матрица взаимного влияния первого порядка. Определение структуры второго типа осуществляется посредством опроса экспертов и обработки полученных результатов.

Для определения параметров функциональных групп первого типа использовалась адаптивная нечеткая нейронная сеть, для второго типа – продукционная база знаний.

Структура функциональных групп, построенная с использованием предлагаемой методики, может применяться в качестве базы знаний метода оценки и восстановления первичной информации в АСУТП. Особенностью здесь является совместное использование количественной и качественной информации и применение гибридной модели проверки достоверности результатов измерения технологических параметров объектов контроля влажности и других параметров зерновой продукции.

Измеренные значения количественных источников информации поступают в соответствующую функциональную группу. Выходом каждой группы является рассчитанный зависимый технологический параметр. Затем для оценки достоверности элементов группы для каждого рассчитанного выходного параметра осуществляется его сравнение с измеренным



значением:

$$\mu_i(f_i) = 1/\exp(k|f_i' - f_i|), \quad (56)$$

где  $k$  – масштабирующий множитель,  $f_i'$ ,  $f_i$  – соответственно рассчитанное и измеренное значение выходного параметра,  $i$  – номер функциональной группы.

Величина  $\mu_i(f_i)$  характеризует соответствие измеренного и рассчитанного значений выходного источника информации каждой группы.

Если  $f_i' = f_i$ ,  $\mu_i(f_i) \approx 1$ , то принимается решение о достоверности результатов измерений технологических параметров в функциональной группе. Если  $f_i' \neq f_i$ , то  $\mu_i(f_i) < 1$  и тогда принимается вывод о недостоверности результатов измерений технологических параметров, включенных в данную группу, а также о необходимости их корректировки. При наличии нескольких групп с одним и тем же выходным источником информации его значение выбирается по группе с максимальным значением  $\mu_i(f_i)$ :

$$T = \arg \max(\mu_i(f_i)) . \quad (57)$$

Группы, в которых  $\mu_i(f_i) < 1$ , нуждаются в подстановке восстановленных значений источников информации из групп, где  $\mu_i(f_i) \approx 1$ , после чего повторно рассчитываются выходные параметры этих групп.

На основе рассмотренного метода предложена система поддержки принятия решений (СППР) для оценки и восстановления достоверности первичной информации в АСУТП. Синтезирован алгоритм СППР оценки и восстановления достоверности первичной информации в АСУТП в режиме реального времени, позволяющий осуществлять построение продукционной базы знаний с возможностью дальнейшей ее корректировки в режиме реального времени. Алгоритм включает в себя формирование структуры функциональных групп и обучение нейросети.

В работе выполнена экспериментальная проверка теоретических результатов, осуществлена оценка их достоверности и точности, определены статистические характеристики элементов АСУТП сушки зерна, выбраны оптимальные параметры системы контроля и управления процессами влаго-тепловой обработки зернопродукции.

Сравнение результатов ручного и автоматического управления процессом сушки зерна показало, что в первом случае положение регулирующих органов длительное время остается неизменным, поэтому процесс сушки протекает не в оптимальном режиме, а с перерасходом энергоносителей. При автоматическом управлении достигается экономия энергоносителей на 10-15% при одновременном увеличении выхода сухого зерна на 5-10%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решается сложная научно-техническая проблема разработки научно-методических основ проектирования и реализации высокоэффективных первичных измерительных преобразователей и приборов для измерения электрофизических характеристик сыпучих материалов растительного происхождения.

Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. Проанализировано современное состояние и тенденции развития теории и техники измерения электрофизических характеристик сыпучих зернистых материалов с точки зрения создания единого информационного пространства для эффективного функционирования АСУТП влаго-тепловой обработки зерновой продукции.

2. Сформулированы научно-методические основы измерения электрофизических параметров зернопродуктов, представляющие собой совокупность концепций, принципов, методов и алгоритмов расчета, проектирования и реализации измерительных средств, обеспечивающих требуемую точность, достоверность и оперативность первичной производственно-технологической информации, циркулирующей в АСУТП.

3. Разработана опытно-экспериментальная установка, оснащенная современной метрологически аттестованной измерительной аппаратурой, позволяющей изучать электрофизические свойства зерновой продукции и раскрыть многофакторные функциональные зависимости типа «свойство испытуемого материала - электрофизические параметры», которые необходимы для определения состава и свойств сыпучих материалов.

4. С позиций теории диэлектриков сыпучие материалы рассмотрены как объект автоматического контроля. Предложена методика расчета емкостных датчиков для измерения диэлектрической проницаемости сыпучих тел. Осуществлен рациональный выбор размеров электродов емкостных датчиков для контролируемых материалов.

5. Обоснована эквивалентная электрическая схема замещения емкостных измерительных преобразователей и показана перспективность реализации инвариантных преобразователей параметров электрических цепей с сочетанием многоканальных и селективных методов. Определены оптимальные конфигурации и чувствительности схем измерительного преобразователя по каждому из параметров емкостного датчика. Предложены функциональные схемы преобразователей в напряжение, частоту и интервал времени, обеспечивающие более широкие диапазоны измерения параметров емкостных датчиков с полной компенсацией и частичной перекompенсацией влияния сквозной проводимости.

6. Обоснованы критерии оценки точности измерительных преобразователей электрофизических свойств зернопродуктов; предложены методики расчёта их характеристик преобразования; получена математическая модель первичного преобразователя импульсного датчика технологических параметров, на основе которой определены условия достижения наивысшей чувствительности характеристики преобразования импульсного датчика.

7. Разработана методика автоматизированной поверки средств измерения влажности сыпучих материалов и предложены способы анализа и повышения достоверности первичной количественной и качественной производственно-технологической измерительной информации о влажности сыпучих тел в режиме реального времени.

8. Применительно к запросам АСУТП влаго-тепловой обработки сыпучих материалов разработана следующая серия измерительных приборов и устройств: емкостной влагомер для определения диэлектрической проницаемости зерновой продукции; полевой электронно-цифровой емкостной влагомер для измерения влажности фуражного зерна и зеленой силосной массы; полевой и операционный (поточный) диэлькометрический влагомеры зерна; СВЧ-влагомер сыпучих материалов, обладающий повышенными точностными характеристиками; приборы для определения электрофизических параметров зернистых материалов на основе импульсных измерительных преобразователей; идентификатор качества зерна; прогнозатор влажности партий пшеничного зерна, поступающих на промышленную переработку.

9. Обоснована структурная схема и определён состав функциональной подсистемы информационного обеспечения АСУТП влаго-тепловой обработки зерновой продукции сельского хозяйства и создана новая аппаратура для получения и обработки первичной производственно-технологической информации, обеспечивающая заданную точность и устойчивость функционирования системы.

10. Совокупный ожидаемый экономический эффект от реализации разработок диссертации на одном мукомольном предприятии превышает 24 млн сумов в год.

Результаты диссертации внедрены в учебный процесс кафедр «Автоматизация производственных процессов», «Автоматизация и управление» и «Метрология, стандартизация и сертификация» ТашГТУ, «Автоматизация, электроника и информатика» ТашХТИ и Ургенчского филиала ТУИТ.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

*1. Монографии и статьи, опубликованные в научных журналах*

1. Касымов С.С., Матякубова П.М., Расулева М.А. Разработка алгоритмов прогнозирования на основе процедур последовательной динамической фильтрации // «Известия Вузов», серия «Технические науки». – 1999. – №1. – С.146-150.
2. Матякубова П.М. Исследование электрофизических свойств сыпучих материалов // «Наука, медицина и технологии». – 1999. – №3. – С.43-45.
3. Матякубова П.М. Экспериментальная установка для исследования электрофизических свойств сыпучих материалов // Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан. – 1999. – №2. – С.27-29.
4. Сагатов М.В., Матякубова П.М. Задача восстановления входных сигналов неидеальных измерительных преобразователей // Вестник Каракалпакского отделения Академии РУз. – Нукус, 2002. – С.48-49.
5. Каримов М.М., Матякубова П.М. Оптимизация структуры компьютерной сети с помощью алгоритма насыщенного сечения и сравнение его с алгоритмом релаксации Лагранжа сигналов неидеальных приборов // Вестник Каракалпакского отделения Академии РУз. – Нукус, 2002. – С.64-65.
6. Джураев Х.Ф., Матякубова П.М., Абдуллаев А.Ш, Зайнутдинова М.Б. Исследование процесса сушки плодоовощных культур на вальцевых сушилках // «Химия и химическая технология». – 2003. – №2. – С.67-70.
7. Юсупбеков Н.Р., Адылов Ф.Т, Мирбабаев Ф.А., Матякубова П.М. Алгоритмы автоматического контроля технологических процессов и производств // «Стандарт». - 2003. - №3. - С. 53-54.
8. Матякубова П.М. Математическое моделирование процесса сушки зерна в зерносушилках // «Вестник ТашГТУ». - 2003. - №4. - С.46-50.
9. Матякубова П.М. Изучение частотно-влажностных характеристик сыпучих материалов // «Химия и химическая технология». - 2004. - №1-2. - С.74-76.
10. Матякубова П.М. Исследование моделей измерительной информационной подсистемы АСУТП сушки зерна // «Вестник ТашГТУ». Ташкент, 2004. - №1. - С.68-73.
11. Матякубова П.М. Адаптивное управление распылительной сушильной установкой // «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2004.- №2. - С.26-31.
12. Матякубова П.М, Ишчанов Ж.Р. Применение методов теории диэлектриков к определению параметров сыпучих материалов // «Техника югузлари». – Ташкент, 2004. - №1. - С.43-45.
13. Турсунхужаев П.М., Матякубова П.М. Концептуально-теоретические основы технологических процессов переработки инорайонных и местных сортов зерна в мукомольном производстве // «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2005. - №3. - С.39-43.
14. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Синтез оптимальных законов управления билинейного адаптивного

регулятора // «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005. - №3, – С.3-8.

15. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Адаптивное управление распылительной сушильной установкой // «Вестник ТашГУ». – Ташкент, 2005.- №2. – С.41-45.

16. Юсупбеков Н.Р, Матякубова П.М. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом сушки зерна // «Химия и химическая технология». – Ташкент, 2006. - №2. – с. 72-75 .

17. Матякубова П.М., Якубов С.И. Измерительная информационная подсистема АСУТП сушки дисперсных материалов // «Композиционные материалы». – Ташкент, 2006. - №1. – С.65-66.

18. Юсупбеков Н.Р, Матякубова П.М, Максудова Ш.А. Математическое моделирование и экспериментальное исследование процесса сушки дисперсных материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением // «Химия и химическая технология». – Ташкент, 2007. - №4. - С.61-65.

19. Гулямов Ш.М., Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Матякубова П.М. Автоматизированное управление процессом приемки зерна на мукомольном предприятии // «Промышленные АСУ и контроллеры». - Москва, 2008. - №4. – С.4-7.

20. Юсупбеков Н.Р, Гулямов Ш.М, Рашидов Ю.Р, Матякубова П.М. Адаптивная система автоматического управления процессом вытяжки волоконно-оптических световодов // «Промышленные АСУ и контроллеры». - Москва, 2008. - №6. – С.13-16.

21. Матякубова П.М., Шарипов М.С., Гафурова Д.А. Стабилизация технологических свойств зерна посредством смешивания разнородных по качеству партий зерна // «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2008. - №6. – С.58-63.

22. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Адаптивное управление распылительной сушильной установкой // Научно-технический центр «Современные информационные технологии» АН РУз, Препринт. - Ташкент, 2005. – 40 с.

23. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Адаптивное управление билинейными динамическими объектами на примере распылительной сушильной установки // Научно-технический центр «Современные информационные технологии» АН РУз, Препринт. – Ташкент, 2006. – 53 с.

24. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Адаптивные алгоритмы управления билинейными динамическими объектами // Институт математики и информационных технологии АН РУз, Препринт. - Ташкент, 2008. – 44 с.

25. Матякубова П.М. Синтез дифференциаторов первого и второго порядка// «Вестник ТашГУ». – Ташкент, 2008.- №2 – 3 . – С.265-267.

26. П.М.Матякубова, Б.М.Темербекова, Ш.А.Максудова. Повышение достоверности первичной производственно-технологической информации в АСУТП влаготепловой обработки зерновой продукции // «Химическая технология, контроль и управление». -Ташкент, 2009. - №1. - С.22-26.

## II. Авторские свидетельства и патенты

Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Игамбердиев Х.З., Матякубова П.М. Устройство для измерения влажности. Заявка №IAP.20090133. Зарегистрировано-12.05.2009.

Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Игамбердиев Х.З., Матякубова П.М., Раджабова М.А. Устройство для измерения влажности материалов.. Заявка №IAP.20090134. Зарегистрировано-12.05.2009.

## III. Статьи, опубликованные в научных сборниках, материалы и тезисы докладов конференций

27. Матякубова П.М. Автоматический прибор для измерения диэлектрической проницаемости электропроводящих веществ // Сборник научных трудов докторантов, аспирантов, соискателей и научных сотрудников «Исследования научно-технических достижений высшей школы», ТашГТУ. - Ташкент, 1996. - С.106-110.

28. Матякубова П.М. Зерновая сыпучая масса - как объект автоматического контроля // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук», вып 3, ТашГТУ. - Ташкент, 1998. - С.7-12.

29. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Сапаров Б.Т., Матякубова П.М. Алгоритмы контроля технологических процессов промышленных производств // Сборник научных докладов второй Международной НТ и ПК «Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления» («Автоматизация-99»). - Ташкент, 1999. - с.38-43.

30. Матякубова П.М., Каландаров П.И. Влияние различных факторов на диэлектрические характеристики влажного материала // Урганч шахрини 350 йиллигига бағишланган «Университет профессор уқитувчиларининг илмий – амалий анжумани», УрДУ. - Урганч, 1999.- С.36-37.

31. Матякубова П.М., Каландаров П.И. Методы выбора датчиков для определения влажности хлебопродуктов // Урганч шахрини 350 йиллигига бағишланган «Университет профессор уқитувчиларининг илмий – амалий анжумани», УрДУ. - Урганч, 1999. - С.35-36.

32. Матякубова П.М. К расчету емкостных датчиков для измерения влажности сыпучих материалов с переменной толщиной // Сборник научных докладов второй Международной НТ и ПК «Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления (Автоматизация-99)». - Ташкент, 1999. - С.16-20.

33. Матякубова П.М., Ниязов З.К. Методика расчета емкости датчика влажности одностороннего типа // VIII Международная НТК «Информационная технология: наука, техника, технология, образование, здоровье», «MicroCAD-2000». - Харьков, 2000. - С.19-22.

34. Матякубова П.М. Термоваккуумный влагомер для измерения влажности сыпучих материалов // Межвузовский сборник научных трудов, «Актуальные вопросы в области технических фундаментальных наук», вып

1., ТашГТУ. - Ташкент, 2000. - С.97-99.

35. Юсупбеков Н.Р., Мухамедханов У.Т., Матякубова П.М., Ешматова Б.И. Взаимодействие средств интеллектуальной поддержки в системах автоматизированного контроля и управления // Сборник трудов 13 Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-2000), том 6. - Санкт-Петербург, 2000. - С.189-191.

36. Матякубова П.М. Повышение достоверности измерительной информации о влажности сыпучих материалов // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук», вып 1. - Ташкент, 2001. - С.119-122.

37. Матякубова П.М. Исследование частотных характеристик сыпучих материалов // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук», вып. 1. - Ташкент, 2001. - С.123-128.

38. Матякубова П.М., Ниязов З.К. Формализация функционирования сырьевого хозяйства мукомольного предприятия как системы массового обслуживания // «Илм сарчашмалари». -2001. - №3. - С.64-69.

39. Матякубова П.М. Методика автоматизированной поверки средств измерения влажности сыпучих материалов // «Илм сарчашмалари». - 2001. - №4. - С.80-82.

40. Гулямов Ш.М., Шахмарданова Г.С., Умарова Г.М., Матякубова П.М. Автоматизированная экспериментальная установка для исследования процессов пневмотранспортирования, подсушки и очистки хлопковых семян // Сборник трудов НТК «Передовые технологии в пищевой промышленности», ТХТИ. - Ташкент, 2002. - №4. - С.92-95.

41. Мухамедханов У.Т., Адылов Ф.Т., Матякубова П.М. Анализ взаимодействия информационных потоков в сложных технологических системах // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально - экономических наук», вып 2. - Ташкент, 2003. - С.11-13.

42. Матякубова П.М. К формализации технологического процесса сушки зерна как объекта автоматического управления // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально - экономических наук», вып 2. - Ташкент, 2003. - С.65-67.

43. Матякубова П.М. Повышение точностных характеристик систем контроля электрофизических параметров зернопродуктов // Материалы XI Международной конференции по автоматическому управлению «Автоматика - 2004», том 2. - Киев, 2004. - С.42.

44. Матякубова П.М. Повышение достоверности измерительной информации о влажности сыпучих материалов // Материалы XI Международной конференции по автоматическому управлению «Автоматика - 2004», том 2. - Киев, 2004. - С.43.

45. Mukhamedkhanov U.T., Kimizbaeva O.E., Matyakubova P.M., Eshmatova B.I. Some principles of building layered information-measuring systems of ensuring the quality of industrial products // Сборник докладов

международной НК «Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании». - Ташкент, 2004. – С.136 -138.

46. Zaynutdinova M.B., Kimizbaeva O.E., Matyakubova P.M. Application of neurocomputing technology to approximation of multivariate functions // Proceedings of Second World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag, 2004. – pp.41-45.

47. Матякубова П.М. Влагомер для сыпучих материалов // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук», вып. 1. - Ташкент, 2004. – С.34-36.

48. Матякубова П.М. Алгоритм управления технологическим процессом сушки зерна // «Техника юлдузлари», №3, 2004. –с.32-34.

49. Матякубова П.М., Зохилов А.А. Идентификация математических моделей зерновых сушилок // Сборник научных трудов «75 лет кафедре «Теоретические основы теплотехники» ТашГУ. - Ташкент, 2004. – С.69 -72.

50. Матякубова П.М., Гафурова Д.А. Идентификатор показателей качества зерна // Материалы международной НПК «Инфотекстиль-2005». - Ташкент, 2005. – С.232-233.

51. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Матякубова П.М. Моделирование измерительной информационной подсистемы АСУТП сушки зерна // «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе», том 2, ТУИТ. - Ташкент, 2005. - С. 73-77.

52. Матякубова П.М. Разработка СВЧ-влагомеров сыпучих материалов // «Ахборот коммуникация технологиялари сохасида фан, таълим ва ишлаб чиқариш ҳамда уларни интеграциялаш» Республика илмий-техникавий конференцияси, ТУИТ. - Ташкент, 2005. - С.250-252.

53. Матякубова П.М. Разработка емкостных влагомеров сыпучих материалов // Международная НТК «Состояние и перспективы развития связи и информационных технологий Узбекистана», ТУИТ. - Ташкент, 2005.- С.76-79.

54. Мухамедханов У.Т., Матякубова П.М. Основы интеллектуализации технологий автоматизированного контроля качества технологических сред // Материалы Республиканской НК «Современные проблемы математического моделирования», том 2. - Нукус, 2005. - С.33-34.

55. Матякубова П.М. Измерительная информационная подсистема АСУТП сушки материалов // Материалы Республиканской НК «Современные проблемы математического моделирования», том 2. - Нукус, 2005. - С.31-32.

56. Mukhamedkhanov U.T., Matyakubova P.M., Radjabova M.A., Shakhmardanova G.S. Neural networks time series forecasting //Proceedings of Third World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag, 2006. – pp.284-286.

57. Raviлов Sh.M., Sharipov M.S., Matyakubova P.M., Khilalova S.Sh. Intelligent systems on estimation reliability of information // Proceedings of Third World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag, 2006. – pp.193-196.



58. Юсупбеков Н.Р., Якубов А.Х., Матякубова П.М. Задачи аппроксимации кривых равновесия влагосодержащих материалов // Материалы Республиканской НТК «Фан ва таълимда ахборот - коммуникация технологиялари», III том, ТУИТ. -Ташкент, 2006.- С.153-157.

59. Юсупбеков Н.Р., Якубов А.Х., Матякубова П.М. Достоверная оценка равновесных зависимостей по выборкам экспериментально полученных данных // Материалы Республиканской НТК «Фан ва таълимда ахборот - коммуникация технологиялари», III том, ТУИТ. -Ташкент, 2006.- С.150-153.

60. Матякубова П.М. Функциональное диагностирование непрерывного технологического процесса сушки // Межвузовский сборник научных трудов «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук», вып 1. -Ташкент, 2006. – С.88-89.

61. Матякубова П.М. Обобщенный алгоритм управления процессом сушки зерна // Сборник тезисов Республиканской НТК «Роль женщин в образовании, воспитании и научно- техническом прогрессе», ТГТУ.- Ташкент, 2006.- С.148-150.

62. Матякубова П.М., Равилов Ш.М., Ешматова Б.И. Модифицированный метод восстановления достоверности первичной измерительной информации // Международная конференция «Innovation 2007», ТГТУ. - Ташкент, 2006. - С.323-325.

63. Юсупбеков Н.Р., Матякубова П.М, Максудова Ш.А. Разработка методики экспериментального исследования электрофизических характеристик твердых сыпучих материалов // Тезисы докладов Международной конференции по химической технологии «Химическая технология - 2007». - Москва, 2007. – С.341-344.

64. Юсупбеков Н.Р., Нуритдинов Ш., Якубов А.Х., Матякубова П.М. Математическое моделирование кинетики сушки хлопковой мятки // Сборник трудов республиканской НТК «Современные технологии переработки местного сырья и продуктов», ТХТИ. - Ташкент, 2007. - С.388-392.

65. Матякубова П.М, Максудова Ш.А. Разработка емкостных влагомеров для сыпучих материалов // Материалы Республиканской НТК «Istiqlol» (с международным участием), «Геотехнология: инновационные методы недропользования в XXI веке». - Москва-Навои, 25-27 сентября 2007. –С.38-39.

66. Матякубова П.М. Информационная поддержка систем управления технологическими процессами сушки зерна // Материалы Республиканской НПК «Олима аёлларнинг фан ва техникада тутган ўрни», ТГТУ. - Тошкент, 2007.- С.13-14.

67. Юсупбеков Н.Р, Гулямов Ш.М, Мухамедханов У.Т , Матякубова П.М. Синтез оценителя на основе концепции динамической фильтрации Калмана // Материалы Международной конференции IX Международного форума «Высокие технологии XXI века» «Интеграция образования, науки и производства». - Москва, 2008. - С.72-75.

68. Мухамедханов У.Т., Матякубова П.М., Шарипов М.С. Повышение точности колориметров спектрального типа в задачах контроля качества

хлопкового масла // *Материалы Международной конференции IX Международного форума «Высокие технологии XXI века» «Интеграция образования, науки и производства»*. - Москва, 2008. - С.41-44.

69. Юсупбеков Н.Р., Матякубова П.М, Максудова Ш.А., Шарипов М.С. Информационная поддержка задач автоматизированного управления процессом сушки зерна // *Сборник трудов республиканской научно-технической конференции «Современные технологии переработки местного сырья и продуктов», ТХТИ*. - Ташкент, 2008.- С.401-405.

70. Матякубова П.М, Ахмедов Б.М., Максудова Ш.А., Шарипов М.С. Математическая модель первичного преобразователя для контроля технологических параметров процесса сушки зернистых материалов // *Сборник трудов республиканской научно-технической конференции «Современные технологии переработки местного сырья и продуктов», ТХТИ*. - Ташкент, 2008.- С.370-373.

71. Матякубова П.М., Максудова Ш.А., Кодиров Д.Т. Моделирование процесса сушки дисперсных материалов. // *Международная конференция «Innovation 2008», ТГТУ*. - Ташкент, 2008. - С. 327-328.

72. P.M.Matyakubova, M.S.Sharipov, Sh.A.Maksudova. Conceptual bases of intellectual support of measuring instruments of structure and properties of firm loose materials // *Proceedings of Fourth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation*, b-Quadrat Verlag, 2008. – pp. 423-428.

73. N.R.Yusupbekov, Sh.M.Gulyamov, P.M.Matyakubova. Increase of reliability of the primary industrial-technological information in ASUTP vlagothermal processing of grain production // *Proceedings of Fourth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation*, b-Quadrat Verlag, 2008. – pp. 358-365.

74. Матякубова П.М. Информационная поддержка автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами и установками влажно-тепловой обработки зерновой продукции // *Материалы Республиканской научно-практической конференции «Энергосбережение при использовании альтернативных источников энергии: проблемы и решения»*. - Карши, 2008. - С.177-179.

75. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухамедханов У.Т., Матякубова П.М. Колориметрический контроль параметров тонких пленок в производстве интегральных схем. Сборник трудов XXI Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-21, том 7. - Саратов, 2008. – С.57-60.

**Техника фанлари доктори илмий даражасига талабгор  
Матякубова Парахат Майлиевнанинг 05.11.13 – «Табиий мухит, моддалар,  
материаллар ва буюмларни назорат қилиш усуллари ва асбоблари» ихтисослиги  
бўйича «Дон махсулотларини намлик-иссиқлик қайта ишлашда параметрларни  
назорат қилиш усуллари ва техник воситалари» мавзусидаги диссертациясининг  
РЕЗЮМЕСИ**

**Таянч сўзлар:** бирламчи ўлчов ўзгарткичлари; материалларнинг электрофизик характеристикалари; табиий мухит, моддалар, материал ва буюмларни назорат қилиш усуллари; назорат ўлчов асбобларининг метрологик характеристикалари.

**Тадқиқот объекти:** сочилувчан дон махсулотларининг электрофизик характеристикаларини ўлчов ўзгарткич жараёнлари.

**Ишнинг мақсади:** дон махсулотларини электрофизик хоссаларини автоматик назорат қилиш тизимларини ишлаб чиқиш ва амалга ошириш ҳисобига материалларни намлик-иссиқлик билан қайта ишлаш қурилмалари ва мураккаб иссиқлик ва масса алмашиниш жараёнларини назорат қилиш ва бошқариш самарадорлигини ошириш.

**Тадқиқот усули:** табиий мухит, моддалар, материал ва буюмларни назорат қилиш усуллари, технологик ўлчаш усуллари, кимёвий технологик жараёнларни математик моделлаштириш ва автоматик бошқариш, ноэлектр катталикларни электр ўлчаш усуллари, назорат ва бошқарув объектларини идентификациялаш.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги;**

- кишлоқ хўжалиги дон махсулотларини электрофизик характеристикалари мажмуаси ҳақидаги миқдор ва сифат кўрсаткичли бирламчи технологик ўлчаш ахборотини олиш концепцияси;

- дон махсулотларининг электрофизик характеристикалари бирламчи ва иккиламчи ўлчаш ўзгарткичларининг рационал структураларини танлашни асослаш;

- сочилувчан материалларнинг электрофизик характеристикаларини ўлчаш ўзгарткичларининг математик моделлари;

- реал вақт режимида дон махсулотларининг электрофизик кўрсаткичлари тўғрисида бирламчи ахборотнинг ишончилигини баҳолаш алгоритмининг синтез қилиш;

- бугдой дони ва пахта чигитининг намлигини тезкор башорат қилиш масалаларини счиш;

- дон ва дон махсулотлари сифатининг компьютерли виртуал идентификатори.

**Амалий аҳамияти.** Диссертация ишнинг амалий аҳамияти шундан иборатки, тадқиқот принципи, усули ва алгоритмлари сочилувчан дон махсулотларига намлик-иссиқлик билан ишлов беришнинг ТЖАБТ ларини ўлчов-ахборот тизимларига асосланган. Сочилувчан жисмларнинг электрофизик тавсифларини комплекс ўрганиш ва «тадқиқ қилинаётган материалнинг хоссаси – электр параметрлар» туридаги кўп факторли боғлиқликни очиб бериш имконини берувчи тажрибавий қурилма ишлаб чиқилган. Сигимли намлик ўлчагичлар, дон махсулотлари негatronли импульс датчиклари, сочилувчан материалларга мўлжалланган УЮЧ-намлик ўлчагичлари, дон махсулотлари сифатининг компьютерли идентификатори ва бугдой донлари намлигини виртуал башорат қилгичнинг макетли намуналари ишлаб чиқилган ва саноат ишлаб чиқариши синовларидан ўтказилган.

**Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** диссертация ишнинг ишланмалари «Хоразмдонмахсулотлари» ОАЖ марказий лабораторияси шароитида ишлаб чиқариш синовидан ўтказилди ваушбу корхонада амалиётга тадбиқ этишга қабул қилинди.

Диссертация ишланмаларини Республиканинг ун ишлаб чиқариш корхоналарида амалиётга тадбиқ этилишидан қутилаётган йиллик иқтисодий самараси битта ун корхонаси учун 24 млн. сўмдан орттироқни ташкил этади.

Диссертациянинг ишланмалари ТошДТУ, ТошКТИ ва ТАТУ нинг Урганч филиали ўқув жараёнларига тадбиқ қилинган.

**Қўлланиш соҳаси:** агросаноат комплексларининг қайта ишлаш соҳаларида.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Матякубовой Парахат Майлиевны на тему: «Методы и технические средства контроля параметров влаго-тепловой обработки зерновой продукции» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

**Ключевые слова:** первичные измерительные преобразователи; электрофизические характеристики материалов; методы контроля природной среды, материалов, веществ и изделий; метрологические характеристики контрольно-измерительных приборов.

**Объекты исследования:** процессы измерительного преобразования электрофизических характеристик сыпучих зернистых материалов.

**Цель работы:** повышение эффективности контроля и управления сложными тепло- и массообменными процессами и установками влаго-тепловой обработки материалов за счёт разработки и реализации систем автоматического контроля электрофизических свойств зернопродуктов.

**Методы исследования:** методы контроля природной среды, материалов, веществ и изделий, методы технологических измерений, математического моделирования и автоматического управления химико-технологическими процессами, методы электрических измерений неэлектрических величин, идентификации объектов контроля и управления.

**Полученные результаты и их новизна:**

- концепция получения первичной производственно-технологической измерительной информации количественного и качественного характера о комплексе электрофизических характеристик зерновых материалов сельскохозяйственного производства;

- обоснование выбора рациональных структур первичных и вторичных измерительных преобразователей электрофизических параметров зерновых продуктов;

- математические модели измерительных преобразователей электрофизических характеристик сыпучих материалов;

- синтез алгоритмов оценки достоверности первичной информации об электрофизических показателях зернистых материалов в режиме реального времени;

- решение задачи оперативного прогнозирования влажности хлопковых семян и пшеничного зерна;

- виртуальный компьютерный идентификатор качества зерна и зернопродуктов.

**Практическая значимость** состоит в том, что разработанные принципы, методы и алгоритмы заложены в основу измерительно-информационной подсистемы АСУТП влаго-тепловой обработки сыпучих зернистых материалов. Разработана экспериментальная установка, позволяющая комплексно изучать электрофизические характеристики сыпучих тел и раскрывать многофакторные зависимости типа «свойства исследуемого материала – электрические параметры». Разработаны и в опытно-промышленных условиях испытаны макетные образцы ёмкостных влагомеров, негатронных импульсных датчиков электрофизических параметров зернопродуктов; СВЧ-влагомера для сыпучих тел, компьютерного идентификатора качества зерна, виртуального прогнозатора влажности пшеничного зерна.

**Степень внедрения и экономическая эффективность:** Разработки диссертации прошли опытно-производственные испытания в условиях центральной заводской лаборатории ОАО «Хорезмдонмахсулотлари» и приняты к внедрению на этом предприятии.

Ожидаемый совокупный экономический эффект от внедрения разработок диссертации на одном мукомольном предприятии республики составляет более 24 млн. сумов в год.

Разработки диссертации внедрены в учебный процесс ТашГУ, ТашХТИ и Ургенчского филиала ТУИТ.

**Область применения:** перерабатывающие отрасли промышленности агропромышленного комплекса.

## RESUME

Of Matyakubova Parahat Maylievna thesis on the subject: "Measuring-informative support of the automated control systems by technological processes and installations of moistening-thermal processing of gain production" on competition of a scientific degree of Dr.Sci.Tech. on a speciality 05.11.13 - «Methods and means of the control of parameters of damp processing of grain production»

**Key words:** primary measuring converters of electrophysical characteristics of materials; methods of environmental monitoring, materials, substances and products; the metrological features control-measuring instrumentations.

**Subject of the inquiry:** processes of the measuring converter of electrophysical characteristics of loose granular materials of processing branches of agroindustrial complex.

**Aim of the inquiry:** increase of efficiency of the control and management complex thermal -and mass exchanging processes and installations of moistening-thermal processing of materials of a phytogenesis due to device and realization of systems of the automatic control of electrophysical properties of gain products.

**Method of inquiry:** methods of environmental monitoring, materials, substances and products; methods and ways of technological measurements, mathematical modeling and automatic control of chemist-technological processes and systems, methods of electric measurements of nonelectric values, numerical methods of estimation and identifications of the control and management objects.

**The results achieved and their novelty.**

– The concept of the reception, analysis and system use of the operative, exact and authentic primary industrial-technological measuring of quantitative and qualitative character about a complex of electrophysical characteristics of grain materials of an agricultural production;

– A substantiation of a choice of rational structures of primary and secondary measuring converters of electrophysical parameters of grain products of an agricultural production;

– Mathematical models of primary measuring converters of electrophysical characteristics of loose materials;

– Synthesis of algorithms of an estimation and reconstruction of reliability of the primary information on electrophysical parameters of granular materials in a mode of real time;

– The decision of a problem of operative forecasting humidity of cotton seeds and wheaten grain;

– The virtual computer identifier of grain quality and gain products;

– Methods and algorithms of functioning of the new equipment of reception and exchange of the primary industrial-technological information.

**Practical value.** practical value of executed dissertational work consists that the principles designed in its, methods and algorithms are mortgaged in a basis of measuring-informative subsystem ASCTP of moistening -thermal processing loose granular materials. It is designed experimental installation, allowing a complex study the electrophysical characteristics of loose bodies and reveal multifactorial dependences of the type « properties of an investigated material - electric parameters » which are necessary for determination of composition and properties of grain production of processing branches of agroindustrial complex. Are developed and in experienced-industrial condition practiced model-based sample capacitive hydrometers, negatron pulsed sensors of electrophysical parameters gain products; the microwave-hydrometer for loose bodies, the computer identifier of grain quality, virtual predictor humidity of cotton seeds and wheaten grain.

**Degree of embed and economic effectivity.** Development of the dissertation in the form of breadboard models of pre-production models capacitive dealcometric sensors of humidity, pulsed sensors of electrophysical parameters gain products on negatrons and - microwave hydrometer have passed experienced-production tests in conditions of central factory laboratory of Urgench bread-baking complex and are accepted to introduction at this enterprise.

Expected total economic benefit of introduction developments of the dissertation at the flour-grinding enterprises makes more than 24 million sum per year.

Developments of the dissertation are introduced in educational process of faculties « Automation of the production processes », « Automation and control » and « Metrology, standardization and certification » TashSTU, « Automation, electronics and information science » TashChTI and Urgench subsidiary of TUIT.

**Sphere of usage:** processing branches of industry, agroindustry complex chemical, petroleum-refining industry, industry of building materials.



**Сонскатель!**

---

Подписано к печати 15.06.2009 г. Формат 60x84 1/16.  
Объем 2 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 93.

---

Отпечатано в типографии ТГТУ, г.Ташкент,  
ул.Талабалар 54. тел: 246-63-84.