

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Соснин Константин Владимирович

УДК 681.5:664.723

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СУШКОЙ ЗЕРНА

Специальность 05.13.07 – автоматизация процессов управления

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Ткачев Виктор Васильевич
доктор технических наук, профессор

Днепропетровск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ В СУШИЛКАХ ШАХТНОГО ТИПА	
1.1. Характеристика сушки зерна в сушилках шахтного типа.....	13
1.2. Методы контроля параметров сушки зерна в сушилках шахтного типа.....	22
1.3. Методы математического описания сушки зерна в сушилках шахтного типа.....	26
1.4. Постановка задачи исследования.....	34
1.5. Декомпозиция общей задачи исследования.....	35
Выводы по разделу 1.....	36
РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ	
2.1. Состояние вопроса управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа..	38
2.2. Формулирование цели управления процессом сушки зерна.....	44
2.3. Идентификация управления сушкой зерна на основе нечетких множеств с многопараметрической оценкой.....	48
2.3.1. Методы построения функций принадлежности.....	48
2.3.2. Выполнение многопараметрической идентификации. Анализ результатов.....	51
2.4. Моделирование управления сушкой зерна при помощи нечеткого вывода.....	53
2.4.1. Принцип проведения вычислительных исследований.....	54
2.4.2. Описание условий, результаты вычислительных исследований.....	55
Выводы по разделу 2.....	63

РАЗДЕЛ 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ШАХТНОЙ СУШИЛКЕ

3.1. Анализ методов измерения влажности зерна.....	65
3.2. Исследование влияния возмущающих воздействий на диэлектрическую проницаемость зерна	72
3.2.1. Исследование влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна.....	72
3.2.2. Разработка способа компенсации влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна.....	79
3.2.3. Проверка способа компенсации влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна.....	81
3.3. Исследование распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения шахтной сушилки ДСП-32.....	84
3.3.1. Принцип исследования распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения шахтной сушилки ДСП-32 на основе планирования и проведения эксперимента.....	84
3.3.2. Определение величины отклонения влажности потока зерна между шахтами сушилки шахтного типа ДСП-32 на выходе зоны охлаждения.....	89
Выводы по разделу 3.....	91

РАЗДЕЛ 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУШКИ ЗЕРНА

4.1. Принцип системы интеллектуальной поддержки принятия решений сушки зерна.....	94
4.1.1. Разработка алгоритма, структуры базы знаний.....	98
4.2. Принцип подсистемы контроля влажности потока зерна.....	101
4.2.1. Разработка подсистемы контроля влажности потока зерна	102
4.2.2. Разработка преобразователя влажности сыпучих материалов.....	107
4.3. Анализ результатов опытной эксплуатации подсистемы контроля влажности потока зерна для сушилок шахтного типа	113

4.3.1. Оценка достоверности измерения влажности потока зерна подсистемой контроля влажности потока зерна.....	113
4.3.2. Оценка экономической эффективности полученных научно-технических решений	117
Выводы по разделу 4.....	120
ВЫВОДЫ.....	122
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты исследования диэлектрической проницаемости от влажности и температуры зерна ржи.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Результаты исследования распределения влажности зерна в шахте зерносушилки шахтного типа ДСП-32 (выход зоны охлаждения).....	136
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Результаты исследования распределения влажности между шахтами зерносушилки шахтного типа ДСП-32 (выход зоны охлаждения)...	137
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Акты о внедрении результатов исследований кандидатской диссертации.....	138

ВСТУПЛЕНИЕ

Актуальность темы. В Украине наблюдается повышение урожайности, валового сбора зерна – в 1990 году собрано 50 млн. тонн зерна в 2013 году собран рекордный урожай зерновых 61,5 млн. тонн. Министерство аграрной политики Украины заявляет про возможность увеличения производства зерна до 2016 года до 80 млн. тонн. Увеличение валового сбора зерна, способствует увеличению составляющей экспорта страны. Отечественная и мировая практика сушения зерна на заготовительных предприятиях базируется на тепловом методе сушки с конвективным энергоподводом. Приоритет тепловой сушки в потоке сохранится и в будущем. Процесс сушки зерна перед хранением (очистка, сушка) характеризуется наибольшим количеством параметров. На 96% предприятий Украины используются шахтные сушилки. Поэтому обеспечение качественных показателей зерна после сушки в сушилках шахтного типа является актуальной научно-технической задачей для Украины.

Зерно, поступающее на заготовительные предприятия, очищается, сушится (до базисных норм) для дальнейшего сохранения и переработки. Время на сбор урожая ограничивается несколькими неделями (месяц). За этот короткий промежуток зерно должно быть очищено, высушено. Если зерно пересушить, то это приведет к снижению его веса, перерасходу топлива/энергии, увеличению себестоимости продукции, снижению производительности технологической линии. Это сопровождается снижением качества зерна, снижением его стоимости. Если зерно недосушить, то это приведет к дополнительным мероприятиям при его хранении, таким как: периодическому контролю температуры, своевременному охлаждению зерна, и дополнительным экономическим затратам. Существующая инструкция по сушке и эксплуатации сушилок полностью не указывает значений управляющих воздействий (температура агента сушки, время сушки/экспозиция, расход зерна) в той или иной ситуации. Для

заготовительного предприятия, важно, не только соблюдение инструкции, но и соответствие зерна требованиям контракта после очистки, сушки, хранения.

При управлении сушкой зерна задачей оператора является снижение влажности при сохранении качественных показателей (хлебопекарских, продовольственных, кормовых) зерна. Эффективность сушки определяется соответствием влажности после сушки заданному значению при сохранении других качественных показателей. Сегодня режим сушки зерна в шахтных сушилках устанавливается оператором. Контроль процесса сушки выполняется на основании результатов лабораторного анализа проб зерна (до и после сушки), показаний контролирующих приборов (температура), визуального контроля за работой агрегата и профессионального опыта оператора. Поскольку периодичность лабораторного анализа находится в интервале от часа до двух часов, возникает неопределенность в оценке состояния сушки зерна в межконтрольный период. Собственный опыт оператора, личная (органолептическая) оценка таких показателей зерна как температура, качество оболочки, цвет, запах, влажность помогают ему выбрать управляющие воздействия в условиях неопределенности. Умение квалифицированных операторов при разных качественных показателях сушеного зерна из года в год, эффективно управлять сушкой, используя опыт и профессиональные способности, обосновывает для моделирования процедуры управления использовать аппарат нечетких множеств. Знания оператора при оценке процесса сушки, принятие решений по управлению сушкой зерна в условиях неопределенности приводят к существенным колебаниям качества зерна.

Повышение стоимости зерна в мире, колебание цен энергоносителей, которые импортируются в нашу страну, требуют исследования и разработки технических решений, которые повышают количество качественно высушенного зерна. Данная работа направлена на исследование процесса управления сушкой зерна оператором, получения математической модели путем выявления взаимосвязи значений параметров процесса сушки с качественными показателями зерна. Сформулированные знания оператора сохраняются для поддержки принятия решений при сушке зерна в условиях

неопределенности, что направлено на уменьшение влияния фактора человека-оператора на качество продукта после сушки, повышение эффективности сушки.

Связь работы с научными программами, планами, темами

В основание диссертации положены материалы, научно-исследовательских работ, которые выполняются в Державном ВНЗ «НГУ» в рамках госбюджетной темы № 0115U002296 «Энергосберегающее управление электромеханическими технологическими комплексами и системами горно-металлургической промышленности»; также работа соединена с тематическим планом научно-исследовательских работ Национального горного университета, в соответствии с договорами про совместную деятельность между кафедрой автоматизации и компьютерных систем с предприятиями Просянська філія ДП Сантрейд, ПрАТ «Новомиргородський елеватор».

Цель и задачи научного исследования. Целью диссертационной работы является повышение эффективности сушки зерна путем усовершенствования методов и моделей автоматизированного управления на основании применения нечетких множеств и регрессии в составе системы интеллектуальной поддержки принятия решений (ППР) сушкой зерна в сушилках шахтного типа.

Достижение поставленной цели реализуется через формулирование и решение следующих задач, а именно:

1. выполнение анализа технологического процесса сушки зерна, анализа методов контроля параметров, процесса управления и математических моделей конвективной сушки зерна в сушилках шахтного типа.

2. Моделирования процесса управления сушкой зерна оператором на основе модели нечетких множеств, определение и исследование эффективности управления для автоматизации поддержки принятия решений по выбору величины управляющих воздействий при сушке зерна.

3. Обоснование научно-технического решения по оперативному контролю влажности, проведение исследования влияния возмущений при измерении влажности потока зерна в шахтной сушилке.

4. Предложение технической реализации системы интеллектуальной поддержки принятия решений сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна в сушилках шахтного типа, оценивание показателей эффективности от использования.

Объект исследования – процесс управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа.

Предметом исследования – методы и модели управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа.

Методы исследований. Анализ и обобщение современной научно-технической литературы, технологических инструкций и опыта организации процесса сушки в производственных условиях использовано для определения цели и задач исследований. Метод нечетких множеств при идентификации управления сушкой зерна использован для моделирования. Метод ситуационного управления применен для разработки принципов управления, поддержки принятия решений при автоматизированном управлении сушкой зерна. Метод компьютерного имитационного моделирования с использованием современного пакета инструментальных программ использован для разработки и исследования модели управления. Метод планирования эксперимента и методы математической статистики использованы для экспериментальных исследований в условиях производства при исследовании влияния влажности и температуры на диэлектрическую проницаемость; при исследовании распределения влажности потока зерна на выходе зерносушилки; при определении отклонения в показаниях разработанной подсистемы контроля влажности потока зерна и образцового метода измерения влажности согласно ГОСТ 13586.5-93. Метод регрессионного анализа применен при определении математических зависимостей диэлектрической проницаемости от температуры и влажности зерна.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые получена недетерминированная многопараметрическая математическая модель сушки зерна на основе нечетких множеств. Модель расширяется в соответствии с назначением зерна, действующими

нормативными документами и содержит апостериорные значения параметров, которые измеряются приборами и оцениваются человеком, в том числе качество оболочки, цвет, запах зерна, используется оценка эффективности сушки.

2. Получила дальнейшее развитие имитационная модель нечеткого вывода в соответствии с алгоритмом И. Мамдани на примере сушки зерна пшеницы в сушилке ДСП-32. Эта модель, в отличие от существующих, использует совместно с влажностью априорные значения качественных параметров, которые необходимы для учета на заготовительном предприятии, в том числе, качество оболочки, цвет, запах зерна, что позволяет более полно, для условий производства, прогнозировать значения выходных параметров процесса сушки.

3. Получил дальнейшее развитие метод оценки эффективности процесса управления сушкой зерна посредством совместного использования параметров, которые измеряются и субъективно оцениваются в лингвистическом, числовом виде на основе нечетких множеств. Это позволяет использовать критерий эффективности (один параметр) для автоматизации обучения, выбора режима сушки в системе интеллектуальной поддержки принятия решений, что позволяет быстрее выполнять обработку данных, принимать решения по выбору значений управляющих воздействий в условиях неопределенности.

4. Усовершенствованы зависимости, которые связывают диэлектрическую проницаемость с влажностью, температурой зерна пшеницы и аппроксимируются полиномами первой и второй степени регрессионной модели, которая адекватна по F – критерию на уровне значимости 0,05, при этом обеспечивается непрерывность значений параметров влажности и температуры, которые характеризуют процесс сушки. Это позволяет компенсировать влияние температуры и повысить количество качественно высушенного зерна, эффективность управления путем оперативного контроля влажности потока зерна в сушилке шахтного типа.

Практическое значение полученных результатов.

1. Разработана система интеллектуальной поддержки принятия решений при сушке зерна, которая адаптируется в соответствии с сезонными

особенностями, качества зерна и конструктивными особенностями сушилки на основе недетерминированной модели нечетких множеств.

2. Предложен алгоритм процедуры принятия решений для выбора режима сушки, учитывающий параметры качества зерна та эффективность сушки зерна.

3. Разработан способ отображения многопараметрической оценки на плоскости в виде окружности. Правильная форма круга является свидетельством того, что процедура управления соответствует цели, это позволяет человеку повысить оперативность принятия решения по выбору режима сушки.

4. Обоснован способ интегрального измерения влажности потока зерна в сушилке шахтного типа ДСП-32 несколькими электродами измерительного преобразователя, что повышает достоверность оперативного контроля влажности потока зерна.

5. Разработан измерительный электрод датчика влажности, что позволяет размещение электродов измерительного преобразователя в середине сушилки шахтного типа, таким образом, чтобы исключить возможность накопления посторонних предметов (остатки растений, камни и т.п.) которые вносят ошибку в результат контроля влажности потока зерна.

6. Полученные результаты использованы для поддержки принятия решений при сушке зерна, при контроле влажности потока зерна в сушилках шахтного типа на предприятиях ПрАТ “Новомиргородський елеватор” (Кировоградская область), Просянська філія ДП “Сантрейд”, ВАТ “Лебединський насіннєвий завод” (Черкасская область), ВАТ “Миргородський КХП-2” (Полтавская область) и др.

Повышение количества качественно высушенного зерна достигнуто за счет использования интеллектуальной системы поддержки принятия решений сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна, что позволило для параметра «влажность после сушки» уменьшить более чем в два раза среднее квадратическое отклонение, увеличить с 0,56 до 0,87 относительную длительность ($D_{отн}$) пребывания в заданном допуске ($\pm 1.0\%$). Экономический эффект составляет 21 000 грн. при сушке примерно 5 тыс. тонн зерна.

7. Результаты исследований используются в учебном процессе Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» при подготовке магистров та специалистов специальностей 8(7).05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами», 8(7).05020101 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика».

Личный вклад соискателя в полученных научных и практических результатах, которые изложены в диссертационной работе.

Научные положения и результаты, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно. Соискатель принимал непосредственное участие в практических исследованиях, в работах по внедрению полученных результатов, а также самостоятельно выполнял теоретические исследования. Личный вклад соискателя в работах, опубликованных в соавторстве: [101] – в функциональной структуре интегрированной автоматизированной системе управления комбинатом хлебопродуктов разработаны функции автоматизированной системы управления технологическим процессом, в том числе, для процесса сушки зерна; [67] – обоснован метод измерения влажности зерна, обоснованы параметры оказывающие наибольшее влияние на диэлектрическую проницаемость зерна; [105] – соискатель выбрал методику обработки данных для расчета ошибки измерения влажности потока зерна в сравнении с образцовым методом высушивания до постоянного веса. Выделил составляющие экономического эффекта при внедрении подсистемы контроля влажности потока зерна; [47] – обосновано использование аппарата нечетких множеств для моделирования управления сушкой зерна. Обоснованы лингвистические переменные процесса управления сушкой зерна. Предложена классификация параметров сушки зерна в соответствии со сложностью измерения при сушке техническими средствами. Представлены примеры функций принадлежности с лингвистической отметкой. Разработан алгоритм обучения сушки зерна; [60,61] – соискатель выполнил описание современного состояния процесса управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа. Разработана структура объекта управления. Представлены примеры функций принадлежности с лингвистической отметкой. Представленная оценка

эффективности управления в числовом и лингвистическом виде; [37, 38] – выполнен аналитический обзор. Представлена параметрическая схема объекта управления и перечень лингвистических составляющих, терм-множеств, графическая интерпретация функций принадлежности. Составлена база правил по сушке зерна пшеницы, выполнено моделирование, представлены числовые и аксонометрические интерпретации результатов, выполнены выводы; [102] – в разработанном датчике влажности сыпучих материалов в потоке предложено использование нескольких охранных электродов, а также их размещение с обеих сторон изолирующей пластины. [103, 104] – в разработанном датчике влажности сыпучих материалов в потоке предложено трансформатор последовательно соединить с измерительным и охранными электродами первичного преобразователя экранированным проводом.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на 4-ой международной научно-практической конференции «Проблеми і перспективи застосування геоінформаційних технологій у гірській справі» (г. Днепропетровск, 2002); отраслевом семинаре Державної продовольчо-зернової корпорації України (м. Умань – 2013 р.); 19th International Drying Symposium (IDS-2014) (France, Lyon, 2014); Международной научно-технической конференции «Проблемы ресурсо– и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК (ПРЭТ-2014) (Россия, г. Иваново, 2014).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 14 печатных работ, среди них 7 в научных специализированных изданиях Украины, 1 статья в журнале, входящем в наукометрическую базу РИНЦ, 3 в сборниках трудов научно-технических конференций, 3 патента Украины на изобретение.

Структура и объем диссертации. Работа содержит вступление, четыре раздела, выводы, список использованной литературы, приложения. Полный объем диссертации составляет 143 страницы, из которых 9 страниц содержат 4 приложения. Работа содержит 32 рисунка, 20 таблиц. Список использованной литературы содержит 105 наименований представленный на 10 страницах.

РАЗДЕЛ 1

ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ В СУШИЛКАХ ШАХТНОГО ТИПА

Задачей автоматизации управления производственным процессом [1] является совершенствование управления производственным процессом, направленное на улучшение его технических и экономических показателей. Назначением раздела является получение характеристики объекта и предмета исследования путем анализа литературных источников, систематизация данных выбранной темы исследования.

1.1. Характеристика сушки зерна в сушилках шахтного типа

Процесс сушки заключается в удалении влаги из различных материалов, базируется на общих фундаментальных законах тепло- массообмена и широко используется в производстве (обработке) различных концентратов в горной промышленности, материалов для огнеупоров, металлизированных окатышей, извести, цемента, азотных удобрений, зерна, измельченной древесины и др. Сушке подвергают различные пищевые продукты, полуфабрикаты и сырье (зерно, солод, крахмал, кормовые и пищевые дрожжи и пр.) [2]. Задача сушки – доведение до возможного минимума всех жизнедеятельных процессов при сохранении зерна как живого организма.

Сушку, как одну из операций послеуборочной обработки зерна, проводят на заготовительных предприятиях (хлебоприемных пунктах и элеваторах). Технология обработки продовольственного зерна на заготовительных предприятиях складывается из целого ряда операций, в результате которых получают зерно необходимого качества. Процесс предусматривает взвешивание исходного материала, разгрузку автомашин и железнодорожного транспорта, предварительную очистку, сушку, первичную и вторичную очистку, сортирование, транс-

портировку зерна и отходов, взвешивание готовой продукции, протравливание, временное хранение, вентилирование, длительное хранение в силосах, в складах насыпью или мешкотаре.

В Украине и в мире на заготовительных предприятиях распространена конвективная сушка. При конвективном способе сушки тепло передается зерну от перемещающегося сушильного агента [3], а влага перемещается от высушиваемого зерна к сушильному агенту. На 96% предприятий [4] Украины используются шахтные зерносушилки (на 48 % предприятий используются шахтные отечественного производства; 38% - шахтные зарубежного производства; 10% - шахтные отечественного производства и зарубежного производства). На заготовительном предприятии по причине географического расположения и специализации перечень культур, подлежащих заготовке (сушке), ограничивается несколькими наименованиями.

Зерносушилка в технологии послеуборочной обработки зерна на заготовительном предприятии располагается, как показано на рисунке 1.1. Здесь представлены две прямоточные шахтные зерносушилки, расположенные рядом для большего снижения влажности за проход через технологическую линию. Такой пример часто можно встретить на заготовительном предприятии.

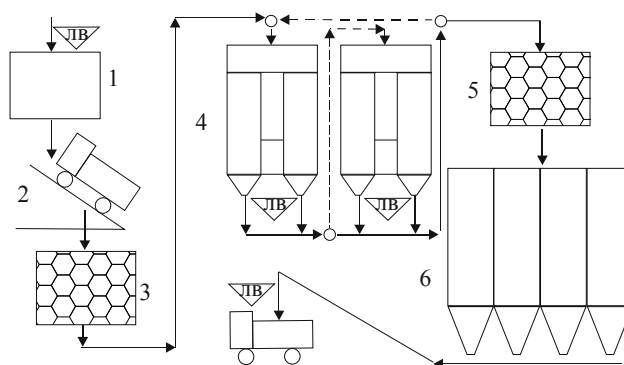


Рис. 1.1 Схема послеуборочной обработки зерна на заготовительном предприятии

На рисунке обозначено: 1 – автомобильные весы; 2 – автомобилеразгрузчик; 3 – зерноочистительная машина (для предварительной очистки); 4 – зер-

носушилки прямоточные ДСП; 5 – зерноочистительная машина (для вторичной очистки); 6 – элеватор.

Принимая партию зерна на хранение или переработку, лаборатория предприятия определяет его качество, т.е. классифицирует партию зерна согласно ГОСТа на данную культуру. Качество партии зерна контролируется при приемке после очистки, сушки, во время хранения и при отгрузке.

Учитывая, что энергоматериалы являются импортируемым продуктом и в значительной степени влияют на цену зерна, необходимо учитывать и структуру энергозатрат при производстве зерна (табл.1.1)[5].

Таблица 1.1

Структура энергозатрат в процессе выращивания, уборки и первичной обработки влажного зерна

Технологическая операция	Удельные энергозатраты, %	В том числе	
		Топлива	электроэнергии
1. Выращивание (почвообработка, семена, посев, уход за посевом)	43	90	10
2. Уборка	15	100	-
3. Первичная обработка, всего	30	65	35
В том числе: сушка	21	85	15
очистка	9	-	100
4. Хранение	7	10	90
5. Транспортирование	5	85	15

Из таблицы видно, что энергозатраты послеуборочной обработки зерна используются на сушку, очистку, хранение, транспортирование. Все вместе составляет 42% и соответствует энергозатратам на почвообработку, посев семян, уход за посевом. В послеуборочной обработке сушка зерна обладает высокими удельными энергозатратами, которые составляют 21%. Необходимо понимать, что расход энергии при сушке зависит от зерновой культуры, её назначения, состояния, требуемой технологии обработки. Например, для пшеницы затраты энергии на послеуборочную обработку составляют 18-25%, а для кукурузы семенной – 50-60%[5].

На заготовительных предприятиях сушка выполняется конвективным способом в основном в шахтных зерносушилках. В послеуборочной обработке

сушка зерна является самым энергозатратным процессом. Для раскрытия системы управления сушкой зерна следует выполнить анализ характеристик (особенностей) сушки в шахтных сушилках, выявить параметры и критерии управления.

Зерносушилка типа ДСП (двухступенчатая зерносушилка разработки ЦНИИПромзернопроект) производительностью 12, 16, 20, 25, 32 и 50 плановых тонн/час [6], выпускаемые ОАО «Карловский машиностроительный завод» г. Карловка, Полтавская обл., являются наиболее распространенными. В таких зерносушилках применяется конвективная сушка зерна в плотном движущемся слое.

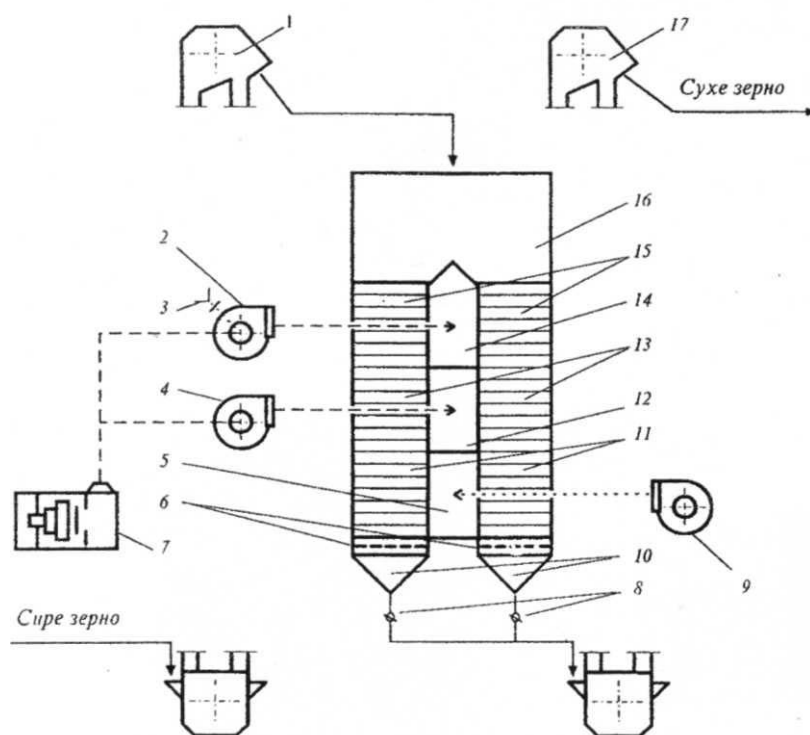


Рис. 1.2. Схема проточной шахтной зерносушилки типа ДСП,

где 1 — нория сырого зерна; 2, 4 — вентиляторы сушильных зон; 3 — патрубок с дроссельной заслонкой; 5 — воздушораспределительная камера охлаждающей зоны; 6 — выпускные механизмы; 7 — топка; 8 — заслонки; 9 — вентилятор охлаждающей зоны; 10 — подсушильные бункера; 11 — охлаждающая зона; 12 — газораспределительная камера второй зоны; 13 — вторая сушильная зона; 14 — газораспределительная камера первой зоны; 15 — первая сушильная зона; 16 — газораспределительная камера первой зоны; 17 — сухое зерно.

ная камера первой зоны; 15 — первая сушильная зона; 16 — надсушильный бункер; 17 — нория сухого зерна.

По характеру движения зерна [7] все шахтные зерносушилки делятся на прямоточные и рециркуляционные. В прямоточных сушилках зерно проходит один раз через шахту, после чего полностью выпускается из сушилки. В рециркуляционных зерносушилках часть высушенного зерна циркулирует по замкнутому контуру, проходя циклично стадии смешивания с влажным зерном, отлеживания полученной смеси и сушки. Зерно сушат агентом сушки, что представляет собой подогретый в калориферах воздух или смесь атмосферного воздуха с горячими продуктами сгорания газоподобного или жидкого топлива.

В прямоточных зерносушилках зерно проходит через сушильную шахту один раз. Возможное снижение влажности зависит от принятого режима сушки. Обычно, во избежание перегрева и ухудшения качества зерна, влажность его снижается за один прием не более 6-7%. При необходимости большего снижения влажности приходится применять двух - трехкратный пропуск зерна через зерносушилку или устанавливать последовательно несколько зерносушилок (рис.1.1). Повторная сушка сырого зерна усложняет поточную обработку, резко снижает коэффициент использования сушильных мощностей, приводит к непроизводительным затратам средств на погрузочно-разгрузочные работы. Устанавливая последовательно несколько прямоточных зерносушилок, обеспечивают обработку наибольшего количества зерна. Для прямоточных зерносушилок необходимы партии зерна с близкой начальной влажностью. Различие по влажности отдельных партий зерна не должно превышать 2...3 %. В рециркуляционных зерносушилках, в отличие от прямоточных, часть выпускаемого зерна смешивается с сырым зерном и вновь возвращается в зерносушилку. Благодаря этому, можно высушить зерно с высокой начальной влажностью до сухого состояния, стойкого для хранения.

Сушка зерна на предприятиях стран бывшего СССР регламентируется инструкцией [7]. Основной задачей сушки зерна является уменьшение влажности для приведения зерна в стойкое для хранения состояние. При сушке не допуска-

ется ухудшение хлебопекарных, продовольственных и кормовых качеств зерна и качества маслосемян. Работники, которые обслуживают зерносушилку, должны придерживаться режимов сушки зерна, выполнять нормы продуктивности, экономить топливо и электроэнергию. За количественную и качественную сохранность зерна во время сушки на смене несут ответственность зерносушильщик (оператор зерносушилки) и лаборант, который контролирует процесс сушки, отбирая пробы зерна. Инструкция определяет требования к безопасной эксплуатации сушилок, чтобы избежать возгорания сушилки, перегрева, порчи зерна при сушке, но инструкция не указывает конкретных значений управляющих воздействий, например, для различных культур указаны лишь верхние граничные значения температуры агента сушки по зонам.

Описывая процесс управления сушкой зерна стоит отметить, что это управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются, осуществляются при непосредственном участии человека-оператора. Это управление с обратной связью [8], при котором текущие управляющие воздействия вырабатываются с учетом состояния объекта управления. Сведения о качественных показателях зерна после сушки позволяют реализовать управление по отклонению [8], когда управляющие воздействия вырабатываются только по значениям воздействий (сигналов) отклонений.

В процессе сушки контролируются параметры [9]: температура агента сушки, температура нагрева зерна, состояние оборудования и др., а также качественные показатели партии зерна в лаборатории предприятия: запах, цвет, влажность, количество и качество клейковины в пшенице, всхожесть для семян, состояние оболочек (поджаренные, потемневшие), зараженность и др.

Разобьём условно параметры, характеризующие процесс сушки пшеницы [10] на ряд групп (рис.1.3). Контролируемые возмущающие воздействия - параметры определяющие качество исходного материала шифруются следующим образом: Культура – зерновая культура; $K_3V_{\text{вх}}$ - влажность зерна; $K_3ЗАП_{\text{вх}}$ - запах зерна, т.е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива; $K_3Ц_{\text{вх}}$ - цвет зерна; $K_3КО_{\text{вх}}$ - качество оболочки зерна (потемнение, подгорание, рас-

тресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой); K_3ZAP_{BX} – зараженность; K_3PC_{BX} – примесь сорная; K_3PC1_{BX} – примесь сорная в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрубленных зерен, крошащийся эндосперм; K_3PZ_{BX} – примесь зерновая; K_3H_{BX} – натура; K_3KKL_{BX} – количество сырой клейковины; $K_3KKЧ_{BX}$ – качество клейковины.

Управляемые параметры сокращенно обозначены: $T_{ag.1}$ – температура сушильного агента на входе в сушильную шахту первой зоны; $T_{ag.2}$ – температура сушильного агента на входе в сушильную шахту второй зоны; C_3 – скорость (расход) зерна.



Рис. 1.3. Структура объекта управления

Выходные параметры сокращенно обозначены: T_3 – Температура зерна на выходе второй зоны нагрева; $T_{3.ВЫХ}$ – температура зерна на выходе; $K_3B_{ВЫХ}$ – влажность зерна; $откл. K_3ZAP_{ВЫХ}$ – отклонение запаха зерна, т.е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива; $откл. K_3Ц_{ВЫХ}$ – отклонение цвета зерна; $откл. K_3KO_{ВЫХ}$ – отклонение качества оболочки зерна (потемнение, подгорание, растресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой); $K_3ZAP_{ВЫХ}$ – зараженность; $K_3PC_{ВЫХ}$ – примесь сорная; $K_3PC1_{ВЫХ}$ – примесь сорная, в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрубленных

ных зерен, крошащийся эндосперм; $K_3\Pi_{\text{ВЫХ}}$ - примесь зерновая; $K_3H_{\text{ВЫХ}}$ - натура; $K_3KK_{\text{ЛВЫХ}}$ - количество сырой клейковины; $K_3KK_{\text{ЧВЫХ}}$ - качество клейковины.

При изменении культуры или назначения зерна (например, семенное зерно) перечень параметров может измениться. Для отдельного выходного параметра правило (задание) управления задается формулой:

$${}_{\text{откл}}X_{\text{вых}} = |X_{\text{вых}} - X_{\text{ц}}| \rightarrow \min \quad (1.1)$$

где ${}_{\text{откл}}X_{\text{вых}}$ – отклонение параметра после сушилки от целевого значения;

$X_{\text{ц}}$ - целевое значение параметра после сушилки;

$X_{\text{вых}}$ - значение параметра после сушилки.

$${}_{\text{откл}}K_3B_{\text{вых}} = |K_3B_{\text{вых}} - K_3B_{\text{вых.ц}}| \rightarrow \min \quad (1.2)$$

где ${}_{\text{откл}}K_3B_{\text{вых}}$ – отклонение параметра влажность после сушилки от целевого значения;

$K_3B_{\text{вых.ц}}$ - целевое значение параметра влажность после сушилки;

$K_3B_{\text{вых}}$ - значение параметра после сушилки.

$${}_{\text{откл}}K_3KO_{\text{вых}} = |K_3KO_{\text{вых}} - K_3KO_{\text{вх}}| \rightarrow \min \quad (1.3)$$

где ${}_{\text{откл}}K_3KO_{\text{вых}}$ – отклонение параметра качество оболочки после сушилки от целевого значения;

$K_3KO_{\text{вх}}$ - значение параметра качество оболочки до сушилки;

$K_3KO_{\text{вых}}$ - значение параметра качество оболочки после сушилки.

$${}_{\text{откл}}K_3\Pi_{\text{вых}} = |K_3\Pi_{\text{вых}} - K_3\Pi_{\text{вх}}| \rightarrow \min \quad (1.4)$$

где ${}_{\text{откл}}K_3\Pi_{\text{вых}}$ – отклонение параметра цвет зерна после сушилки от целевого значения;

$K_3\Pi_{\text{вх}}$ - значение параметра цвет зерна до сушилки;

$K_3\Pi_{\text{вых}}$ - значение параметра цвет зерна после сушилки.

$${}_{\text{откл}}K_3\Pi C1_{\text{вых}} = |K_3\Pi C1_{\text{вых}} - K_3\Pi C1_{\text{вх}}| \rightarrow \min \quad (1.5)$$

где ${}_{\text{откл}}K_3\Pi C1_{\text{вых}}$ – отклонение параметра примесь сорная после сушилки от целевого значения;

$K_3\Pi C1_{\text{вх}}$ - значение параметра примесь сорная до сушилки;

$K_3\Pi C1_{\text{вых}}$ - значение параметра примесь сорная после сушилки.

Подобно правила записываются для параметров ${}_{\text{откл}}K_3ЗАП_{\text{ВЫХ}}$ отклонение запаха зерна, $K_3\Pi C_{\text{ВЫХ}}$ примесь сорная, $K_3\Pi_{\text{ВЫХ}}$ примесь зерновая, $K_3KK_{\text{ЛВЫХ}}$ ко-

личество сырой клейковины, $K_3 K K ч_{\text{вых}}$ качество клейковины. Для параметров $K_3 ZAP_{\text{вых}}$ зараженность, T_3 температура зерна на выходе второй зоны нагрева, $T_{3.6\text{ых}}$ температура зерна на выходе записываются отдельные правила управления.

$$K_3 ZAP_{\text{вых}} \rightarrow \min \quad (1.6)$$

где $K_3 ZAP_{\text{вых}}$ – значение параметра зараженность после сушки.

$$T_3 \leq T_{3.ц} \quad (1.7)$$

где T_3 – значение параметра температура зерна на выходе второй зоны нагрева, $T_{3.ц}$ – целевое значение параметра температура зерна на выходе второй зоны нагрева;

$$T_{3.6\text{ых}} \leq (T_{\text{воз.}} - 10) \quad (1.8)$$

где $T_{3.6\text{ых}}$ – значение параметра температура зерна на выходе, $T_{\text{воз.}}$ – значение параметра температура окружающего воздуха;

Для параметра $K_3 H_{\text{вых}}$ – натура правило управления не записывается. Этот параметр должен контролироваться один раз за смену, предназначается, в том числе, для оценки массы партии просушенного зерна.

Целью управления сушкой зерна является снижение влажности зерна при сохранении других качественных характеристик, определяемых назначением зерна после сушки. Набор правил управления формулирует цель процесса управления и является критерием сушки зерна. Этот сложный комплексный показатель результативности учитывает измеряемые и субъективно оцениваемые параметры зерна, работы зерносушилки.

В соответствии с инструкцией по сушке зерна и эксплуатации сушилок допускаются отклонения в параметрах: температура зерна не более чем на 5 °С, температура агента сушки, не более чем на 5 °С от заданного значения для прямоточных сушилок и на 10 °С для рециркуляционных сушилок. Отклонение по влажности зерна на выходе из сушилки не более 0,5 % от заданного уровня.

Инструкция по сушке и эксплуатации сушилок не содержит конкретных значений управляющих воздействий для культур, подлежащих сушке. Ответственность за результативность (качество) сушки зерна по инструкции возлагается на оператора и лаборанта отбирающего пробы зерна до и после сушки. Ла-

борант сообщает результаты анализа отобранных проб оператору. Сушка зерна многопараметрический, многосвязный процесс. Система управления человеко-машинная (автоматизированная), оператор поддерживает выходные параметры вблизи целевых значений. Рассмотрим методы контроля параметров сушки для выработки управляющих воздействий.

1.2. Методы контроля параметров сушки зерна в сушилках шахтного типа

Одним из основных требований интенсификации процесса сушки зерна является ведение процесса на максимально допустимых температурах нагрева зерна, т.е. в условиях значительного риска снижения его качества [9,11]. Согласно инструкции по сушке зерна и эксплуатации сушилок [7], для достижения максимальной производительности сушилки и высокого качества просушенного зерна оператор обязан регулярно контролировать температуру агента сушки, максимальную температуру нагрева зерна, а также уровень зерна в тепловлагообменнике, оперативном бункере и бункере над камерой нагрева, загрузку норрии, постоянно наблюдать за работой оборудования зерносушилки. Лаборатории предприятия предписано осуществлять систематический контроль температурных режимов и качества зерна при сушке, для чего не реже чем каждые 2 часа отбирать пробы зерна до и после сушки на анализы. По этим пробам определять температуру зерна, влажность, запах, состояние оболочек (поджаренные, потемневшие), цвет, зараженность, количество и качество клейковины в пшенице. Результаты анализа немедленно сообщать оператору. Из контрольных проб зерна до и после сушки составляются пробы за смену, в которых, кроме указанных показателей, определяют натуру, сорную примесь, в том числе испорченные зерна, зерновую примесь. В процессе сушки не должно быть поджаренных зерен, зерен с лопнувшими или вздутыми оболочками, с запахом дыма, сернистого газа, жидкого топлива, с налетом копоти, запаренных (с сырой оболочкой); снижения количества и качества клейковины (при сушке пшеницы); увеличения числа битых и дробленых зерен.

Самым простым для измерения параметром является температура. Для измерения температуры агента сушки и атмосферного воздуха используют логометры (цифровые приборы) с термометрами сопротивления (тип ТСП – термометр сопротивления платиновый). Термометр сопротивления устанавливают в подводящем диффузоре или воздуховоде непосредственно перед сушильными зонами, в воздуховодах. Правильность показаний дистанционных термометров проверяется путем сопоставления с показаниями ртутных термометров, которые устанавливаются рядом с термометрами сопротивления в тех же диффузорах или воздуховодах. Для измерения температуры зерна пользуются логометрами (цифровые приборы) с термометрами сопротивления (тип ТСМ – термометр сопротивления медный), выверенными стеклянными термометрами. Температуру зерна с помощью стеклянных термометров определяют посредством отбора проб зерна. Работникам лаборатории предписано для определения максимальной температуры нагрева зерна при пуске сушилки пробы отбирать каждые 30 мин, при установившемся режиме - каждые 2 ч.

Из проб, отобранных до и после сушилки, в лаборатории измеряются параметры: натура [12], влажность зерна [13], сорная, зерновая примеси [14], зараженность [15], запах, цвет [16], клейковина [17]. С точки зрения затраченного времени, наиболее длительны в определении параметры клейковины и влажности, занимающие один час времени.

Анализ инструкции [7] и организации сушки на предприятии позволяет утверждать, что отбор проб зерна, их анализ возлагается на лаборанта, а управление сушилкой, ответственность за результат сушки возлагается на оператора.

Современные сушилки зарубежного производства [18, 19, 20, 21, 22] оснащаются техническими средствами автоматизации, однако, развернутое описание отсутствует, что ограничивает анализ технических решений со ссылкой на производителя.

Поточная линия в послеуборочной обработке зерна, включая сушку, была исследована [23] с задачей определения оптимальной совокупности автоматических устройств и оптимального распределения функций между оператором

ром и автоматическими устройствами. Приводятся результаты исследований информационных характеристик системы «Оператор - поточная линия», где оценивалось качество автоматизированного (ручного) управления поточной линией послеуборочной обработки зерна и возможности человека-оператора по приему, обработке и использованию информации. Отмечается, что оператор (зерносушильщик) осуществляет периодический контроль процессом сушки, важным параметром которого является период цикла. При автоматизированном (ручном) управлении периоды циклов, как показали исследования [23], оказались случайными величинами. В таблице 1.2. приведены средние значения циклов контроля параметров $T_{ц.о.}$, там же представлен параметр среднее значение времени $t_{оп.}$, затрачиваемого оператором на получение измерительной информации.

Таблица 1.2.

Характеристики измерительной информации

№ п/п	Наименование контролируемых параметров	Период цикла контроля		Время действия оператора $t_{оп.}$, с	Критерий ценности информации	Ранги ценности параметров
		Опытные значения $T_{ц.о.}$, мин	Расчетные значения $T_{ц.р.}$, мин			
1	Влажность поступающего зерна	120	80,1	300	0,025	7
2	Влажность зерна после сушки	60	17,7(3,3 ¹)	300	0,122	1
3	Температура теплоносителя в сушилке	26	8,5	126	0,047	5
4	Температура зерна в сушилке	26	14,8	126	0,034	6
5	Относительная влажность наружного воздуха	-	34,6	140	0,087	2
6	Уровень зерна в надсушильном бункере	24,8	24,8	125	0,051	4
7	Наличие факела в топке сушилки	29,7	29,7	125	0,021	8
8	Состояние электродвигателей привода	480	480	940	0,072	3

Примечание: 1 – согласно литературе [6].

Сопоставление расчетных и опытных циклов позволяет заключить, что на практике интервал времени контроля большинства параметров в 2...5 раз больше, чем требуется. Особенно продолжительный интервал контроля влаж-

ности потока зерна после сушки – интервал контроля в настоящее время в 4(18) раз больше рекомендованного значения. Это приводит к снижению качественных характеристик. Эффективность управления процессом сушки зерна оператором можно охарактеризовать опытными данными [23], приведенными в таблице 1.3.

Таблица 1.3.

Показатели работы сушиллки при автоматизированном управлении

№ п/п	Наименование параметров	Характеристики параметров	
		Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
1	Влажность поступающего зерна, %	20,7	3,5
2	Температура теплоносителя в сушилке, °С	69,8	10
3	Температура зерна в сушилке, °С	32,8	5
4	Влажность обработанного зерна, % (на выходе сушилки)	14,4	2,5

Из этой таблицы видно, что оперативный персонал при автоматизированном управлении не в состоянии обеспечить требуемые режимы сушки семенного зерна. Температура теплоносителя в сушилке изменялась в широких пределах. Значительные колебания влажности обработанного семенного зерна вызвано, как колебаниями температуры теплоносителя, так и низкой периодичностью и выборочностью контроля влажности зерна на выходе зерносушилки. Даже средние значения влажности не соответствовали кондиционным значениям, а с учетом средних квадратических отклонений этих показателей за время опыта получено, около 50% семян, некондиционных по влажности. Этот пример подтверждает, что оператор недостаточно информирован о состоянии сушки зерна, что отражается на результате.

В условиях отсутствия достоверных сведений о состоянии процесса сушки зерна опытные операторы контролируют состояние зерна при помощи органов чувств (органолептическим методом): температура зерна, качество оболочки, цвет, запах, вкус, влажность зерна.

Следовательно, эффективность сушки зерна зависит: 1) от оперативности контроля параметров, наиболее важным из которых является «влажность зер-

на» и должен контролироваться фактически непрерывно; 2) от квалификации оператора, его умения выбрать рациональный режим сушки, при отсутствии достоверных сведений о состоянии объекта.

Следует заметить, что лаборант и оператор осуществляют периодический контроль параметров процесса сушки с интервалом времени выше требуемого. Интервал контроля по времени параметра «влажность зерна после сушки», как наиболее значимого, в 3...18 раз выше, чем требуется. Длительность лабораторного анализа позволяет оператору выявлять взаимосвязь между возмущающими воздействиями, выходными и управляемыми параметрами с интервалом во времени, как правило, 2 часа. Таким образом, оператор управляет сушкой зерна в условиях неопределенности. Необходимо рассмотреть существующие методы математического описания сушки для получения модели объекта.

1.3. Методы математического описания сушки зерна в сушилках шахтного типа

Управление объектом предполагает наличие модели данного объекта, представленной в том либо другом виде. Проанализируем существующие модели процесса сушки зерна и их пригодность для автоматизации управления технологическим процессом.

Математическое описание процесса сушки зерна как коллоидного капиллярно-пористого материала [24] в общем виде характеризуется уравнениями тепло- и массо-обмена. Состояние объекта характеризуется функциями распределения, точное аналитическое решение затруднено. В связи с этим, при математическом описании процесса, в каждом конкретном случае поступают по-разному, в частности, прибегая к упрощению задачи, получению полуэмпирических и эмпирических выражений.

В работе [3, 25] рассмотрена математическая модель процесса сушки зерна в шахтной сушилке, состоящей из одной или двух параллельных шахт прямоугольного сечения. Шахта разделена на секции, в которых зерно и сушильный агент движутся по принципу прямотока и противотока. В каждую секцию

сушильный агент вводится и выводится через горизонтальный ряд коробов. Зерно вниз последовательно проходит все секции, а сушильный агент – одну, т.е. в каждую секцию подается неотработавший сушильный агент. Авторами принята упрощенная схема механизма сушки: а) влага из зерна выделяется по закону испарения со свободной поверхности (в данном случае – геометрической наружной поверхности зерна); б) сухое вещество и влага в зерне имеют одинаковую во всех точках температуру; в) влага из зерна испаряется и удаляется одновременно; г) между слоями зерна, а также между слоями сушильного агента влаго- и теплообмен не наблюдаются, он происходит только между зерном и сушильным агентом; д) теплообмен с окружающей средой не учитывается; е) стационарные поля температур и влажности принимаются одномерными, изменяющимися по координате, отсчитываемой в направлении движения зерна.

Нестационарный процесс сушки, протекающий по такой схеме для слоя ∂x прямоточной секции, описывается системой уравнений (для противоточных секций необходимо взять ∂x отрицательное):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + 3600 v_z \frac{\partial \omega}{\partial x} = -\beta m \frac{76}{\gamma_z g b} (P_H - P_H); \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + 3600 v_z \frac{\partial \omega}{\partial x} = -\frac{\gamma_{ca} \delta}{10 \gamma_z} \left(\frac{\partial D}{\partial t} + 3600 v_{ca} \frac{\partial D}{\partial x} \right); \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial t_{ca}}{\partial t} + 3600 v_{ca} \frac{\partial t_{ca}}{\partial x} = -a_g \frac{\gamma_z}{\gamma_{ca} \delta c_{ca}} (t_{ca} - t_z); \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_{ca}}{\partial t} + 3600 v_{ca} \frac{\partial t_{ca}}{\partial x} = & -\frac{\gamma_z c_z}{\gamma_{ca} \delta c_{ca}} \left(\frac{\partial t_z}{\partial t} + 3600 v_z \frac{\partial t_z}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{\gamma_z r^I}{100 \gamma_{ca} \delta c_{ca}} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} + 3600 v_z \frac{\partial \omega}{\partial x} \right). \end{aligned} \quad (1.12)$$

В приведенных уравнениях ω , t_z, c_z, v_z и t_{ca}, c_{ca}, v_{ca} - влажность (%), температура ($^{\circ}\text{C}$), удельная теплоемкость (ккал/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$), скорость (м/с) зерна и агента сушки; D, b и γ_{ca} влагосодержание (г/кг), барометрическое давление (мм.рт.ст.) и удельный вес (кг/м 3) сушильного агента; β - коэффициент испарения воды со

свободной поверхности, ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст.}$); m - доля геометрической наружной поверхности зерна, с которой происходит испарение по закону Дальтона; α_g - коэффициент теплообмена ($\text{ккал/кг} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$); t - время, (ч); γ_s и δ - объемный вес (кг/м^3) и коэффициент скважности зерновой массы; ϑ - отношение объема зерновой массы к наружной поверхности зерна, заключенной в нем, (м); $P_H = at_s - c$ - давление насыщенного пара, (мм.рт.ст.) (в диапазоне температур зерна, характерных для режима сушки семенного материала, $a = 2,15$, $c = 25$); $P_H = 1,137D$ при $D < 50$ (г/кг) – парциальное давление пара в сушильном агенте, (мм.рт.ст.); $r' = r + c_H(t_{ca} - t_s)$, где r - скрытая теплота парообразования при температуре t_s зерна (ккал/кг), а c_H - удельная теплоемкость перегретого пара, ($\text{ккал/кг} \cdot \text{град}$).

Одним из первых, исследования процесса сушки зерна, в том числе в шахтных зерносушилках, выполнил В.И. Жидко. В работах [3, 26, 27, 28] отмечено, что конечный полезный эффект работы сушиллки – влагосъем, или значение конечной влажности зерна на выходе сушиллки, определяется изменением влажности зерна, температуры зерна в корпусе зерносушиллки, зависящим от влажности зерна и температуры зерна на входе в сушиллку, его качественных параметров (культуры, степени зрелости, исходного качества клейковины, назначения после сушки), скорости движения зерна в шахте, текущей температуры зерна и агента сушки, расхода агента сушки и его влажности, конструктивных параметров сушиллки (толщины продуваемого слоя, характера движения зерна, распределения агента сушки и др.), температуры и бараметрического давления наружного воздуха и ряда других переменных незначительно влияющих на характер протекания процесса: относительной влажности наружного воздуха, качества монтажа и др.

Одна из моделей процесса сушки зерна, охватывающая различные режимы сушки в плотном и кипящем слоях является модель составленная А.С. Бомко и В.И. Жидко [3] на основании законов тепло- и массопереноса при целом ряде упрощающих допущений. В частности, авторы не учитывают потоки тепла в слое за счет теплопроводности по сравнению с конвективными потоками. Для

упрощения модели принято, что слой состоит из зерновок бесконечной цилиндрической формы, движущихся в декартовой прямоугольной системе координат в направлении оси x , совпадающей с осью цилиндров. Сушильный агент движется перекрестно (под углом 90°) вдоль оси y . Модель содержит эмпирические коэффициенты теплообмена и массообмена, может быть использована на различных стадиях моделирования процессов при изучении кинетики и динамики процесса. С точки зрения типизации модели, то она является диффузионной многопараметрической и описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных.

Уподобив зерно неограниченному цилиндру, и не учитывая теплопроводность зерновой массы, а только приведенные выше ограничения, А.С. Жидко и В.И. Бомко получили систему дифференциальных уравнений [3], которую приняли в качестве математической модели сушки зерна в шахтных зерносушилках для изучения изменения влажности и температуры зерна по длине шахты и по времени. Погрешность модели, по данным авторов, для сушилок ВТИ-15, ДСП-24, ДСП-32 находится в пределах 4-7%.

Авторы следующего математического описания отмечают, что зерносушилки ДСП-32 являются достаточно сложным и энергоемким технологическим агрегатом, свойства которого как объекта управления существенно изменяются с изменением режима работы, вида зерна приходящего на сушку, параметров сушильного агента и других факторов. Структурно имитационную модель зерносушилки ДСП-32 [29] можно разделить на несколько частей: модель формирования сушильного агента, модели первой и второй зон сушки, модель зоны охлаждения зерна и модель эффективности функционирования зерносушилки. В данной работе развитие получила математическая модель процессов сушки зерна за счет учета энергии отрыва молекул воды от зерна, ограничений на относительную влажность отработанного сушильного агента, изменения скорости удаления влаги из зерна по мере его высушивания, перераспределения сушильного агента по слоям зерна, корректного расчета времени пребывания зерна в зонах сушки при изменении производительности сушилки;

алгоритм управления для пусковых режимов работы системы гарантирующего управления с формированием базовой траектории переходного процесса.

Представляется, что приведенные модели позволяют моделировать разные методы конвективной сушки зерна в зависимости от подвода тепла к материалу и гидродинамического состояния зернового слоя в процессе сушки. Так например, конвективная сушка [3], учитывающая состояние слоя зерна и давления (агента сушки) в сушильной камере, может быть в плотном подвижном и неподвижном слоях, в кипящем и виброкипящем слоях, во взвешенном состоянии, в падающем слое. Приведенные выше модели оперируют параметрами не измеряемых на предприятиях, согласно инструкции по сушке зерна. Примерами этих параметров являются: эмпирический коэффициент теплообмена; эмпирический коэффициент массообмена; влагосодержание(г/кг), барометрическое давление (мм.рт.ст.) и удельный вес (кг/м^3) сушильного агента; коэффициент испарения воды со свободной поверхности($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст.}$); доля геометрической наружной поверхности зерна, с которой происходит испарение по закону Дальтона и т.д. Эти модели не учитывают всех параметров измеряемых, субъективно оцениваемых на предприятии, которые регламентированы инструкцией. В модели не указывается, как выполнить расчет для конкретной модели сушки, как выполнить расчет для партии зерна подлежащей сушке с учетом наименования культуры и других качественных характеристик.

Математическую модель, устанавливающую связь между управляемыми величинами и управляющими воздействиями получили для шахтной зерносушилки СЗШ-8 методом планирования эксперимента [30]. В качестве исследуемых откликов выбраны влагосъем за один пропуск, температура нагрева зерна. В качестве входных воздействий (факторов) приняты влажность зерна, температура зерна, температура теплоносителя на входе в сушильную камеру, частота колебаний выпускного аппарата. Реализовав ортогональный план эксперимента и обработав опытные данные на ЭЦВМ, получили математические модели процесса сушки в виде квадратичных полиномов (см. табл. 1.4., 1.5.). Авторы отмечают, что полученные модели отражают распределение температуры

и влажности зерна по высоте сушильной камеры и позволяют рассчитывать кривые кинетики нагрева и сушки зерна при различных сочетаниях входных факторов, как для всей сушильной камеры, так и для отдельных её зон. Динамические свойства сушильной камеры определялись по разгонным кривым, полученным методом подачи на входы каналов типовых единичных воздействий с последующей обработкой их на ЭВМ.

Таблица 1.4.

Передаточные функции сушильной камеры СЗШ-8

	Наименование канала передачи	Ряд коробов по высоте	
		2...4 ряд коробов	6...15 ряд коробов
1.	Канал температура теплоносителя t_{ca} - температура зерна t_z ($t_{ca} - t_z$)	$\frac{K_{t_{ca}t_z} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$	$\frac{K_{t_{ca}t_z} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$
2.	Канал частота колебаний выпускного аппарата $\tau_{ва}$ - влажность зерна w ($\tau_{ва} - w$)	$\frac{K_{\tau_{ва}w} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$	$\frac{K_{\tau_{ва}w} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$
3.	Канал температура теплоносителя t_{ca} - влажность зерна w ($t_{ca} - w$)	$\frac{K_{t_{ca}w} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$	$\frac{K_{t_{ca}w} e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$
4.	Канал влажность зерна до сушки $w_{вх}$ - влажность зерна после сушки w ($w_{вх} - w$)	$K_{w_{вх}w} e^{-\tau P}$	$K_{w_{вх}w} e^{-\tau P}$

Таблица 1.5.

Значения постоянных времени

Постоянные времени, мин	Пределы изменения по каналам передачи		
	($t_{ca} - w$)	($t_{ca} - t_z$)	($\tau_{ва} - w$)
T1	14.38...32.32	10.06...19.53	15.19...31.93
T2	6.66...15.36	4.49...9.23	6.76...15.56
τ_0	11.3...12.9	3.7...5.1	6.7...16.7

Полученные результаты в ходе исследования [30] характеризуют шахтную сушилку как многосвязную, распределенную динамическую систему, обладающую значительной инерционностью по каналам управления и транспортным запаздыванием. Основным возмущающим воздействием процесса сушки являются колебания влажности зерна на входе. Представленные передаточные функции характерны для одной культуры зерна на момент проведения эксперимента, для одной сушильной камеры СЗШ-8, в которой проводился

эксперимент; учитывают из качественных характеристик зерна только влажность и температуру зерна, что недостаточно для сушки зерна в условиях предприятия. Невозможно выполнить расчет для другой культуры зерна, тем более для другой сушильной камеры.

Представленные выше математические описания процесса сушки зерна относятся к классу детерминированные (определенные), стохастические (вероятностные). Обзор процесса управления сушкой зерна показывает, что конечный полезный эффект работы сушилки – влагосъем, или значение конечной влажности зерна после сушилки, определяется пространственными изменениями текущей влажности зерна, зависящей от множества значений качественных параметров зерна и множества значений технологических параметров. Учет множества параметров процесса сушки зерна, при построении вероятностной модели требует выполнения условий: 1). Массовость проводимых экспериментов, т.е. наличие большой выборки; 2). Повторяемость условий экспериментов, оправдывающая сравнение их результатов; 3). Статистическая устойчивость [31]. Это свидетельствует, что стохастический подход заведомо нельзя применять к единичным экспериментам. Применение стохастического подхода практически трудновыполнимо для сушки зерна. Управляя сушкой, из года в год, оператор взаимодействует с живой природой, которая изменяется и никогда в точности не повторяется. Поэтому важно и необходимо значение опыта, интуиции и личностных качеств оператора для эффективного управления сушкой зерна.

Примеры недетерминированной модели управления сушкой представлены авторами , 33, 34, 35, 36 однако, с очень сильным упрощением по количеству параметров, не учитывается качество сушеного продукта. Отмечается, что процессом сушки зерна очень сложно управлять из-за временных задержек и нелинейного поведения. Представленная модель[32], содержит два входных параметра: ошибка между фактической влажностью зерна на выходе и пороговым значением; скорость изменения ошибки. Один выходной параметр системы управляет скоростью потока зерна. Проверка адекватности проведена с ис-

пользованием модели процесса, разработанной Лю и Bakker-Arkema (2001 г.) для поточной кросс сушки зерна. Отмечается простота процесса проектирования на основе нечетких множеств. Эту модель можно рассматривать как упрощенный пример процесса управления, для ознакомления с математическим аппаратом нечеткого вывода. Данное математическое описание не учитывает параметров оцениваемых оператором на предприятии. Тем не менее, подходы, заложенные в данную модель оказываются наиболее адаптированными к условиям сушки зерна на предприятии, поскольку позволяют дать количественную оценку факторам, оцениваемым оператором на основе собственного опыта, субъективно.

Не смотря на начало публикаций о моделях сушки зерна в 60-80 гг. прошлого столетия, на заготовительных предприятиях сегодня не применяются системы с автоматическим режимом сушки зерна, исключаящим оператора. Ни одна из приведенных моделей не применяется для управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках по причине недостоверности математического описания, нестационарностью объекта управления. Такими причинами являются:

- неточности самой модели процесса (неполнота информации о параметрах системы);
- погрешность и помехи измерения входных и выходных параметров системы;
- изменчивость физико-механических свойств (качественных показателей) обрабатываемой зерновой массы (влажность, засоренность, натура, клейковина для пшеницы и др.);
- изменчивость конструктивных особенностей зерносушилок.

Однако замечено, что операторы справляются с задачей получения на выходе зерносушилki зерна заданного качества. Для получения на выходе зерносушилki зерна заданного качества существенное влияние оказывают знания оператора. Потому что наряду с достоверными количественными данными и результатами присутствуют неоднозначные субъективные, что требует новых подходов в математическом описании. Замечено, что квалифицированный опе-

ратор принимает решение по управлению на основании контрольно-измерительных приборов, имеющихся на зерносушилке, результатов лабораторного анализа и собственном опыте сушки зерна. Необходимо выбрать математическое обеспечение для формулирования знаний оператора, чтобы техническая система воспроизводила (помогала повторить) достигнутый ранее результат (эффект) опытным оператором.

Поэтому перспективным направлением по управлению процессом сушки зерна является использование для целей автоматизированного управления модели, позволяющей учитывать опыт и знания квалифицированных операторов. Данное направление предполагает разработку недетерминированной модели процесса с использованием аппарата нечетких множеств для формулирования знаний квалифицированных операторов и представления субъективных восприятий операторов качественных характеристик зерна и других характеристик процесса сушки, анализируемых при помощи органов чувств.

1.4. Постановка задачи исследований

1. Выполнить моделирование процесса управления сушкой зерна оператором на основе модели нечетких множеств, определить и исследовать эффективность управления для автоматизации поддержки принятия решений по выбору величины управляющих воздействий при сушке зерна.

2. Обосновать научно-техническое решение по оперативному контролю влажности, провести исследование влияния возмущающих воздействий на измерение влажности потока зерна в шахтной сушилке;

3. Предложить техническую реализацию системы интеллектуальной поддержки принятия решений сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна в сушилках шахтного типа, оценить показатели эффективности ее использования.

1.5. Декомпозиция общей задачи исследования

1. Решение задачи моделирования процесса управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа на основе нечетких множеств целесообразно разбить на два этапа. 1.1. Исследовать процедуру управления сушкой зерна (на основании данных технологического процесса сушки) на основе нечетких множеств с оценкой эффективности в числовом и лингвистическом представлении; 1.2. исследование модели управления сушки зерна методом имитационного моделирования нечеткого вывода при помощи данных технологического процесса сушки зерна.

Первый этап разбивается на стадии. 1.1.1. Определение системы (выбор структуры, выбор параметров, построение функции принадлежности); 1.1.2. Определение метода исследования; 1.1.3. Исследование процедуры управления сушкой зерна в условиях производства; 1.1.4. Анализ результатов.

Второй этап разбивается на стадии. 1.2.1. Построение базы правил по управлению сушкой зерна пшеницы – наиболее распространенной ранней зерновой культуры на юго-востоке Украины; 1.2.2. Процедура фазификации; 1.2.3. Процедура нечеткого вывода; 1.2.4. Процедура дефазификации; 1.2.5. Анализ результатов.

2. Решение задачи обоснования научно-технического решения по оперативному контролю влажности, проведения исследования влияния возмущающих воздействий на измерение влажности потока зерна в шахтной сушилке целесообразно разбить на следующие этапы. 2.1. Обоснование метода измерения влажности потока зерна; 2.2. Для сушки зерна в шахтных сушилках обоснование возмущающих параметров на измеряемую величину. Выполнение исследования, анализ результатов; 2.3. Исследование распределения влажности зерна в шахте сушиллки; 2.4. Проведение исследования ошибки (достоверности) контроля влажности потока зерна в шахтной сушилке в сравнении с образцовым методом измерения влажности для условий предприятия;

3. Решение задачи разработки функциональной структуры системы поддержки принятия решения для сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна в сушилках шахтного типа, оценки экономических показателей от ее использования целесообразно разбить на следующие этапы. 3.1. Разработка концепции автоматизированной системы поддержки принятия решения по выбору режима сушки зерна. Разработка рекомендаций к реализации базы знаний процесса управления сушкой зерна. 3.2. Разработка подсистемы контроля технологических параметров. 3.3. Оценка экономической эффективности полученных научно-технических решений по управлению процессом сушки зерна в зерносушилках шахтного типа.

Выводы по разделу 1

На предприятиях по заготовке зерна в технологическом процессе послеуборочной обработки зерна проанализирован процесс управления сушкой в зерносушилках шахтного типа и выявлены следующие особенности.

1. Распространенным типом зерносушилок (96%) на предприятиях Украины являются шахтные зерносушилки с конвективным способом сушки. Технологический процесс сушки зерна, регламентируемый инструкцией, не допускает снижение хлебопекарских, продовольственных и кормовых качеств зерна и семян масленичных культур. Оператор должен придерживаться режимов сушки зерна, выполнять нормы продуктивности, экономить топливо и электроэнергию. При таких условиях, эффективность работы зерносушилок (снижение влажности при сохранении качественных показателей) зависит от квалификации оператора и уровня автоматизации.

2. Оператор зерносушилки от 2 до 5 раз реже контролирует параметры процесса сушки, чем требуется. Наиболее критической величиной для контроля является влажность зерна после сушки – фактический интервал времени ее контроля до 18 раз больше рекомендуемого;

3. Известные модели процесса сушки нерационально использовать для управления в силу присущих им недостатков: 1) детерминированные модели из-за наличия дифференциальных уравнений тепло - массообмена с функциями, которые не имеют точного аналитического решения и использующие полуэмпирические или эмпирические выражения, полученные для конкретных условий; 2) наличия большого числа параметров не измеряемых в условиях заготовительных предприятий; 3) вероятностные модели – из-за привязки к зерносушилке определенного типа (зерносушилке СЗШ-8) и ограниченного учета только влажности и температуры зерна, из множества показателей, подлежащих оценке согласно нормативным документам; 4) недетерминированная модель упрощена и сведена до двух входных параметров и одного выходного, что также не соответствует требованиям нормативных документов. Рассмотренные модели не реализованы технически в виде устройств автоматизации, не используются на заготовительных предприятиях для повышения эффективности сушки.

4. Эксплуатация шахтных сушилок осуществляется при неполноте информации о состоянии объекта управления, что исключает математическое описание процесса управления сушкой детерминированными или вероятностными моделями. Наиболее перспективным направлением усовершенствования систем управления сушкой зерна являются системы, построенные на подходах, заложенных в недетерминированную модель, а именно – использование нечетких множеств для формулирования знаний квалифицированных операторов. Данный подход оказывается наиболее адаптированным к условиям сушки зерна, поскольку позволяет привести к единой количественной оценке совершенно разные физические величины, измеряемые и оцениваемые оператором на основе собственного опыта, субъективно.

РАЗДЕЛ 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

2.1. Состояние вопроса управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа

В Украине шахтные сушилки самые распространенные [4]. Количество сушилок одной модели может измеряться сотнями, при этом они содержат конструктивные, технические особенности изменяющиеся во времени. К тому же наблюдается изменчивость физико-механических свойств обрабатываемой зерновой массы (влажность, засоренность, натура, клейковина для пшеницы и др.) в один год в разных областях, в разные годы в одной области. Суть подхода к автоматизации процесса сушки зерна заключается в том, чтобы обучить систему управления процедуре сушки квалифицированным оператором (сушильным мастером). Результатом процедуры должен являться качественный продукт на выходе сушилки. В дальнейшем сформулированные знания квалифицированного оператора можно использовать для автоматического режима сушки зерна или поддержки принятия решения в условиях неопределенности. При такой постановке задачи, интерпретация неопределенных величин как нечетких больше соответствует реальным условиям производства чем интерпретация этих величин как детерминированных, либо случайных. Наблюдения за оператором показало, что им контролируется не только состояние оборудования зерносушилки, но и качественные параметры зерна для принятия решения. Самым важным параметром является влажность на входе и выходе зерносушилки, также им контролируется температура нагрева зерна, запах, цвет, качество оболочки зерна и др. Эти параметры операторы контролируют чаще чем лаборатория, выполняющая отбор проб не реже чем каждые два часа. Структура

формирования данных [37, 38] при контроле состояния сушки зерна графически изображена на рис.2.1.

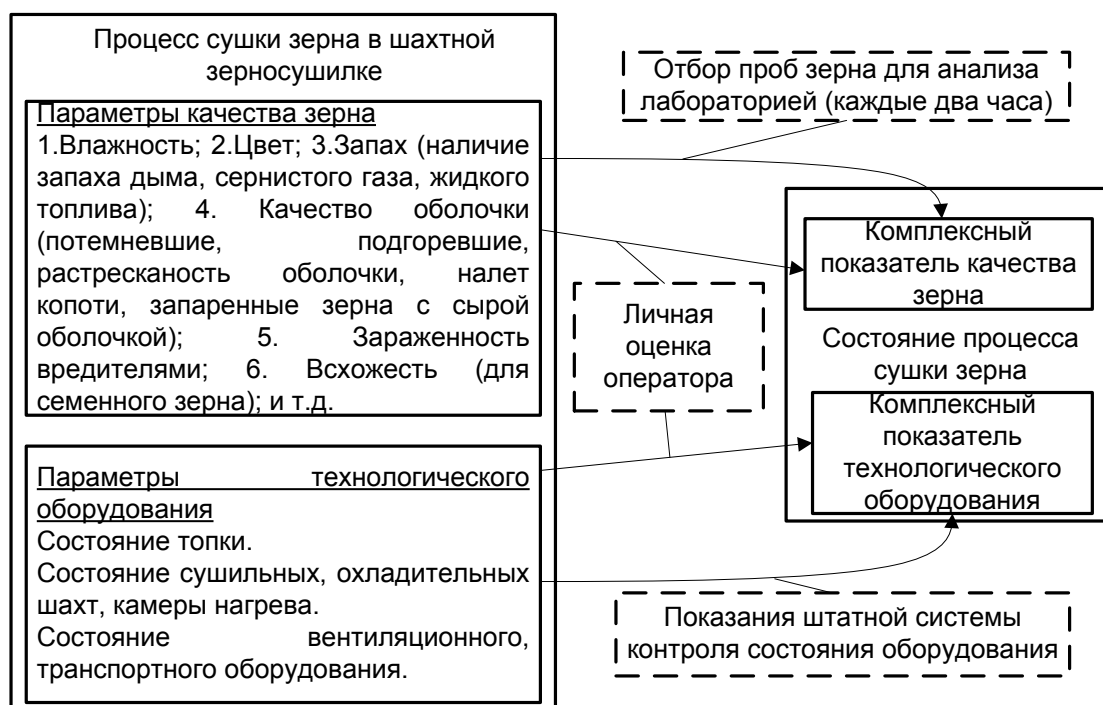


Рис. 2.1. Структура формирования данных для процесса сушки зерна

Множество параметров процесса сушки зерна разделено на два подмножества параметров: параметры качества зерна и параметры технологического оборудования, функционирующего при сушке зерна. Состояние процесса сушки характеризуется двумя показателями: комплексным показателем качества зерна и комплексным показателем технологического оборудования. Комплексный показатель качества зерна формируется на основании результатов анализа лаборатории, выполняемого не реже чем каждые два часа и личной оценки оператора. Оператор при помощи портативных приборов (например, параметры влажность зерна) или при помощи органов чувств (например, параметр запах, цвет, качество оболочки зерна) в необходимый момент времени выполняет оценку (измерение) параметра для принятия решения по управляющему воздействию.

Оператор сушки зерна на основании показаний штатной системы контроля параметров, измерений выполненных портативными приборами, личной оценки некоторых параметров, создает личное представление о состоянии процесса сушки, что позволяет принять решение о величине управляющих параметров.

Наблюдения за сушкой зерна показывают, что операторы вынуждены контролировать не только состояние оборудования зерносушилки, но и качественные параметры зерна, для принятия решения о величине управляющих воздействий по причине длительности лабораторного анализа. Самым важным параметром является влажность до и после сушилки, также ими контролируется температура нагрева зерна, запах, цвет, качество оболочки зерна и др.

Оператор для выработки решения о величине управляющих воздействий, не дожидаясь результатов анализа отобранных проб зерна, оценивает состояние потока зерна (температура, влажность), проходящего через сушилку, в том числе оценивает параметры, не подлежащие измерению, такие как: качество оболочки, цвет, запах.

Обоснованием применения недетерминированной модели является отсутствие достоверного (детерминированного или вероятностного) описания сушки зерна разных культур в шахтной сушилке. Преимуществом недетерминированной модели является возможность моделирования знаний оператора, учитывающих измеряемые и оцениваемые параметры, такие как, запах, цвет, качество оболочки.

Недетерминированные модели.

Модели (имеются ввиду математические модели) представляют собой идеальные (абстрактные, знаковые) концептуальные образы систем, специально создаваемые исследователями для практического осуществления намеченных ими целей исследования систем [39]. В моделях отображаются только наиболее

существенные с точки зрения исследователей элементы, свойства, состояния системы.

Недетерминированные модели применяемые для математического описания можно условно разделить на два класса: искусственные нейронные сети и нечеткие множества. Нечеткие множества лежат в основе метода нечеткого вывода и метода ситуационного управления.

Искусственные нейронные системы и сети.

Искусственная нейронная сеть [40, 41, 42] – математическая модель построенная по принципу сетей нервных клеток живого организма. Обладает возможностью обучения – нахождения коэффициентов связей между нейронами, что позволяет выявлять зависимости между входными и выходными данными. Построение любой нейронной сети предполагает большой объем вычислений (обучение сети является имитационным процессом) [43]. Поэтому только с ростом вычислительной мощности компьютеров для обработки больших выборок появилась возможность применения нейросетей. Применение искусственных нейронных систем для зерносушилки как объекта управления требует обучения разработанной нейронной системы для каждой зерносушилки. Такая работа сопровождается сложностью настройки внутренней структуры сети, зависимостью результата от уровня специалиста, отсутствием каких-либо предварительных оценок требуемого времени для обучения нейросети. Принимая во внимание оценку автора, что численность зерносушилок только в Украине измеряется сотнями (их больше тысячи) применение искусственных нейронных сетей и систем, обучаемых подготовленными инженерами, ограничено большой трудоемкостью метода для каждой зерносушилки из года в год. Это трудоемко наравне с выполнением натурного эксперимента.

Метод нечетких множеств для раскрытия неопределенности.

Нечеткое множество [44, 45] образуется путем введения обобщенного понятия принадлежности, т.е. расширения двухэлементного множества

значений характеристической функции $\{0, 1\}$ до континуума $[0, 1]$. Это означает, что переход от полной принадлежности объекта к классу к полной его не принадлежности происходит не скачком, а плавно, постепенно, причем вводится специальная характеристическая функция множества – так называемая функция принадлежности, которая принимает значения из интервала $[0, 1]$.

Два основных подхода к формализации нечеткости [44]:

Нечеткое множество определяется математически как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$ или (поскольку функция принадлежности является исчерпывающей характеристикой нечеткого множества) непосредственно в виде функции. При этом универсальным множеством X нечеткого множества A называется область определения функции принадлежности μ_A .

В основе второго способа формализации нечеткости лежит теорема декомпозиции, что всякое нечеткое множество можно разложить по множествам уровня, когда нечеткость выражается с помощью набора иерархически упорядоченных четких множеств.

Напротив применение аппарата нечеткого вывода на базе нечетких множеств требует для обучения базы правил от эксперта, реализованных в среде Xfuzzy 2.1 двумя методами нечеткого вывода метод Мамдани и метод Сугено. Экспертом по сушке зерна может выступить квалифицированный оператор.

Метод ситуационного управления.

Данный метод применяется при описании уникального объекта управления, учета в этом описании не только его специфической структуры и функционирования, но и поведения оператора, возможного изменения объекта во времени. Такой метод [46] управления сложными техническими системами, основанный на представлении знаний об объекте управления и способах

управлениях им, использования обучения и обобщения при построении процедуры управления по текущим ситуациям, называется ситуационным управлением. Метод ситуационного управления позволяет множество ситуаций процесса сушки зерна привести к меньшему множеству типовых ситуаций. Перечислим ряд особенностей, присущих методу ситуационного управления:

1. Ситуационное управление требует создания предварительной базы сведений об объекте управления, его функционировании и способах управления им. Это оправдано, когда традиционные пути формализации описания объекта управления и процедуры управления реализовать невозможно;

2. Язык описания ситуаций должен позволять отражать в нем не только количественные факты и соотношения, характеризующие объект управления, но и качественные знания, которые не могут быть реализованы в математическом смысле;

3. Системы ситуационного управления ориентированы лишь на такое управление, когда достигнутые результаты будут не хуже лучших результатов, которые мог получить человек.

Применение ситуационной модели обусловлено следующим:

а) учетом параметров процесса сушки зерна, которые подлежат оценке, не измеряются техническими средствами;

б) квалифицированный оператор имеет представление об управлении сушкой, соответствующем цели управления.

Суть подхода к автоматизации процесса сушки зерна [47] заключается в том, чтобы обучить систему управления, получать на выходе зерно заданного качества, как это выполняет квалифицированный оператор. В дальнейшем сформулированные знания квалифицированного оператора можно использовать для поддержки принятия решения в условиях неопределенности. При такой постановке задачи, интерпретация неопределенных величин как

нечетких больше соответствует реальным условиям производства, чем интерпретация этих величин как детерминированных, либо случайных.

Для выполнения идентификации рассмотрим параметрическую схему сушки зерна в шахтной сушилке.

2.2. Формулирование цели управления процессом сушки зерна

Инструкция по сушке и эксплуатации сушилок [7] содержит описание температурных режимов сушки в шахтных зерносушилках, подчеркивая важность недопущения снижения хлебопекарских, продовольственных, кормовых качеств зерна, сохранение биологических свойств зерна. В обязанности зерносушильщика входит контроль температуры агента сушки. Лаборатория предприятия должна контролировать температурный режим сушки и качество зерна, отбирая каждые два часа пробы зерна на анализ до и после сушки. В этих пробах определить температуру зерна, запах, цвет, влажность, количество и качество клейковины в пшенице, качество оболочки, зараженность и др. показатели качества в зависимости от культуры, её назначения после сушки.

Задачей управления процессом сушки зерна является снижение влажности при сохранении качественных характеристик зерна.

Комплексный показатель качества зерна выбран обобщенным показателем эффективности (качества управления) сушки зерна в шахтных зерносушилках. Этот показатель качества в зависимости от культуры, назначения зерна включает разные параметры. Если зерно семенное, то кроме параметра влажность важным является, например, всхожесть зерна.

Комплексный показатель качества, как критерий управления сушкой зерна, разделяется на ряд параметров, каждый из которых в общем виде представляется формулой

$$откл X_{вых,i} = |X_{i,ц} - X_{i,суш}|, \quad (2.1)$$

где $откл X_{вых,i}$ - ошибка управления по параметру; $X_{i,ц}$ - целевое значение параметра; $X_{i,суш}$ - среднее значение параметра за время сушки.

Расчет средних арифметических параметров за время пребывания зерна в зерносушилке (сушильной шахте).

$$K_3 X_{вых.суш} = \frac{\sum_{i=1}^N K_3 X_{вых,i}}{N}, \quad (2.3)$$

где $K_3 X_{вых.суш}$ – усредненное значение параметра за время пребывания зерна в сушилке (сушильной шахте); $K_3 X_{вых,i}$ – мгновенное значение параметра; i – номер измерения от 1 до N ;

Количество измерений для получения усредненных значений параметров в зависимости от скорости зерна в зерносушилке вычисляется по формуле (2.4).

$$N = \frac{V_{зшт} \cdot n}{V_{затвора} \cdot C_3}, \quad (2.4)$$

где N – количество измерений; n - период измерения параметра (с); C_3 – период открывания выпускного механизма (с); $V_{зшт}$ - объем зерна в зерносушилке; $V_{затвора}$ - объем зерна проходящего при разовом открывании выпускного механизма.

Для усредненных значений параметров вычисляется принадлежность к целевому значению $\mu_j(K_3 X_{суш.вых,j})$. Оценка эффективности управления сушкой зерна проводилась двумя способами: при равной значимости параметров применялась лингвистическая оценка (2.5), при разной значимости параметров применялась числовая оценка (2.6, 2.7). Способ оценки (выборки) на основе лингвистической оценки определяет функцию принадлежности для набора параметров $z_1, z_2, z_3, \dots, z_j$ и затем приводится к лингвистической оценке. Для оценки «отлично» степень принадлежности от $0,81 \div 1$, для «хорошо» степень принадлежности от $0,61 \div 0,8$, для

оценки «удовлетворительно» степень принадлежности от $0,41 \div 0,6$, для оценки «неудовлетворительно» степень принадлежности от $0 \div 0,4$.

$$P(Z) = P(z_1, z_2, z_3, \dots, z_j) = \min[\mu_1(z_1), \mu_2(z_2), \dots, \mu_j(z_j)] \quad (2.5)$$

где $\mu_j(z_j)$ - степень принадлежности параметра j к целевому значению, $P(z_1, z_2, z_3, \dots, z_j)$ - функция принадлежности для параметров $z_1, z_2, z_3, \dots, z_j$. При этом наилучшему результату соответствует максимальное значение $P(Z)$. Такой способ оценки целесообразно использовать, когда любой из параметров одинаково влияет на качество и плохое значение одного не может быть исправлено хорошим значением другого.

Способом оценки качества управления (выборки), при разной значимости параметров, является суммарное взвешенное отклонение от эталона [44].

$$D(Z) = \sum_{j=1}^r \alpha_j \cdot \mu_j(z_{\text{эт}}, z_j), \quad (2.6)$$

$$\mu_j(z_{\text{эт}}, z_j) = \mu_j(z_{\text{эт}}) - \mu_j(z_j), \quad (2.7)$$

где α_j - весовые коэффициенты признаков ($0 \leq \alpha_j \leq 1$; $\sum \alpha_j = 1$); $\mu_j(z_{\text{эт}})$ - целевая степень принадлежности по каждому j -му признаку, $\mu_j(z_j)$ - степень

принадлежности по j -му признаку. $D(Z)$ - оценка по нескольким параметрам. При этом наилучший результат достигается при наименьшем значении оценки $D(Z)$.

Такой способ оценки целесообразно использовать, когда плохое значение одного из параметров может быть исправлено хорошим значением другого.

Для визуализации многопараметрической оценки от функций принадлежности отдельных параметров переходим к функции принадлежности ситуации (рис. 2.5.) или другими словами, функции принадлежности лингвистической переменной «целевое значение зерна на выходе зерносушилки», значения которой определяются всеми переменными процесса сушки зерна.

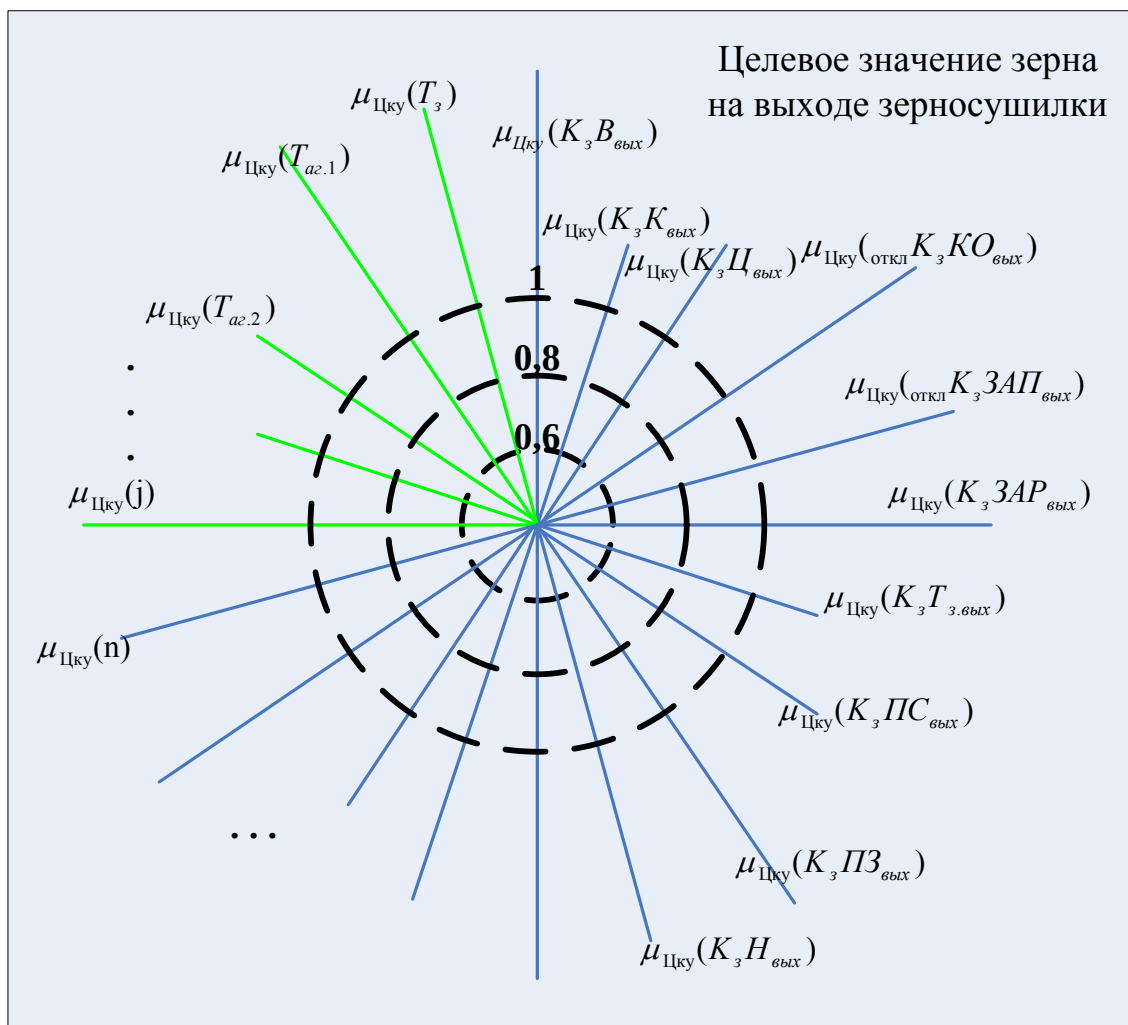


Рис.2.5. Графическое представление принадлежности ситуации к целевому значению.

Для исследования взаимосвязи параметров с оценкой результативности управления выполним следующие этапы: 1.1. исследование процедуры управления сушкой зерна (на основании данных технологического процесса сушки) на основании нечетких множеств с многопараметрической оценкой в числовом и лингвистическом представлении; 1.2. путем имитационного моделирования исследование модели управления сушки зерна на основе нечеткого вывода при помощи данных технологического процесса сушки зерна.

2.3. Идентификация управления сушкой зерна на основе нечетких множеств с многопараметрической оценкой

Выглядит концепция таким образом, что автоматизированная система запоминает режим сушки оператором, если на выходе зерносушилки получается зерно заданного качества. Иными словами, если качество зерна после сушки выше порогового значения процедура управления сушкой зерна запоминается в базе знаний. В дальнейшем при поступлении на сушку зерна с похожими исходными и целевыми значениями параметров из базы знаний извлекаются значения управляющих воздействий, которые используются для поддержки принятия решения или автоматического режима работы.

Идентификацию [8] объекта управления во время сушки при получении на выходе зерна заданного качества представляется выполнить при помощи математического аппарата нечетких множеств. Это обусловлено в том числе необходимостью учета параметров, которые не измеряются техническими средствами, а подлежат оценке.

Выполнение идентификации немислимо проводить без оценки качества управления. Для каждого параметра оценка качества управления выражается при помощи функции принадлежности. Функции принадлежности строятся ответственными за качество зерна после сушки. Все параметры эффективности сушки интегрируются в один показатель – комплексный показатель качества зерна.

2.3.1. Методы построения функций принадлежности

Для оценки результативности управления сушкой зерна ответственный за качество зерна на предприятии задает целевую функцию принадлежности для каждого выходного параметра. Рядом с графиком функции принадлежности указывается лингвистическая оценка принимающая значения – «отлично»,

«хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». График целевой функции принадлежности позволяет определить принадлежность текущего значения параметра к целевому значению (цели). Можно говорить о принадлежности параметра к целевому значению, которая определяется числом из интервала $[0, 1]$. Кроме числовой оценки принадлежности можно получить лингвистическую оценку [38, 47]. Для оценки «отлично» степень принадлежности от $0,81 \div 1$, для «хорошо» степень принадлежности от $0,61 \div 0,8$, для оценки «удовлетворительно» степень принадлежности от $0,41 \div 0,6$, для оценки «неудовлетворительно» степень принадлежности от $0 \div 0,4$.

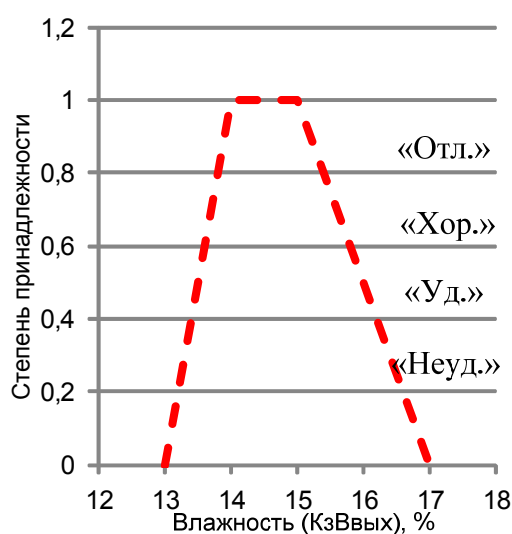


Рис.2.3. Функция принадлежности параметра «Влажность. После сушки»

$K_3 B_{вых}$.

На рисунке 2.3. представлена пунктиром функция принадлежности целевого значения параметра «Влажность. После сушки» ($K_3 B_{вых}$). Степень принадлежности единица соответствует отсутствию отклонения влажности от целевого значения с погрешностью ($\pm 0,5\%$).

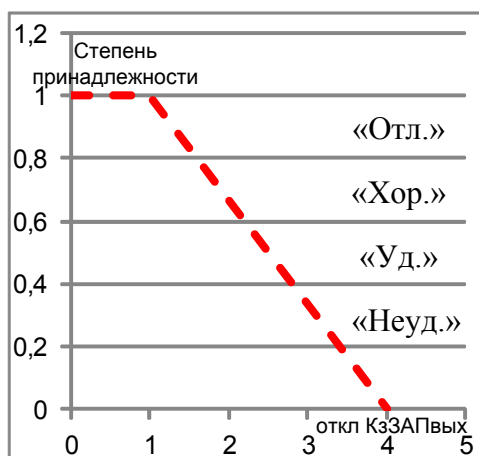


Рис.2.4. Функция принадлежности параметра $откл K_{зЗАП_{вых}}$. «Запах зерна» (наличие запаха дыма или сернистого газа или жидкого топлива).

На рисунке 2.4. представлена пунктиром функция принадлежности целевого значения параметра запах зерна(дыма, сернистого газа, жидкого топлива), оно же соответствует $откл K_{зЗАП_{вых}}$ – среднее значение параметра запах зерна после сушиллки. Степень принадлежности единица(см. табл. 2.1) соответствует отсутствию запаха (дыма, сернистого газа, жидкого топлива).

Таблица 2.1.

Определение интенсивности запаха (дыма, сернистого газа, жидкого топлива)

Интенсивность запаха	Оценка интенсивности запаха	Характер проявления запаха
Нет	1	запах не ощущается
Очень слабая	2	запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании (нагревании).
Слабая	3	запах замечается если обратить внимание
Заметная	4	запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв
Отчетливая	5	запах обращает на себя внимание

2.3.2. Выполнение многопараметрической идентификации. Анализ результатов

Данные для имитационного моделирования брались из протоколов сушки зерна в зерносушилке ДСП-32 элеватора Просянской филиал ДП “Сантрейд”. Были отобраны 5 выборок, каждая отражает сушку зерна не меньше чем за смену. Параметры ($T_{аг,1}$; $T_{аг,2}$; T_3 ; $K_3V_{ВЫХ}$; $T_{3.ВЫХ}$) измерялись техническими средствами в зерносушилке (в потоке), передавались на компьютер для сохранения (интервал 5 мин) с привязкой ко времени для протокола хода технологического процесса. Значения других выходных параметров определялись в лаборатории из отобранных в зерносушилках проб зерна, заносились в журнал. Значения принадлежности к целевому значению для параметров представлены в таблице 2.2. Назначением зерна после сушки является хранение, а наиболее важным параметром определена влажность зерна после сушки, а другим параметрами присвоены следующие коэффициенты.

Таблица 2.2.

Результаты имитационного моделирования процесса сушки зерна

Номер признака	Наименование признака	Значение степени принадлежности					Весовой коэф.
		Номер выборки					
		1	2	3	4	5	
1	T _{аг,1}	0.9	0.85	0.65	0.7	0.78	0.1
2	T _{аг,2}	1	0.8	0.7	0.73	0.82	0.1
3	T ₃	1	0.8	0.71	0.75	0.76	0.1
4	K ₃ V _{ВЫХ}	1	0.65	0.6	0.8	0.7	0.2
5	_{ОТКЛ} K ₃ ЗАП _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.05
6	_{ОТКЛ} K ₃ Ц _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.1
7	_{ОТКЛ} K ₃ КО _{ВЫХ}	1	1	0.2	1	1	0.1
8	K ₃ ЗАР _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.03
9	K ₃ ПС _{ВЫХ}	0.9	1	1	1	1	0.03
10	K ₃ ПС1 _{ВЫХ}	0.9	0.9	0.7	1	1	0.03
11	K ₃ ПЗ _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.03
12	K ₃ Н _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.03
13	T _{3ВЫХ}	1	1	1	0.9	0.9	0.03
14	K ₃ ККЛ _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.03
15	K ₃ ККч _{ВЫХ}	1	1	1	1	1	0.04

Результаты многопараметрической оценки сушки зерна представлены в виде мишени (рис. 2.6). Центр мишени соответствует степени принадлежности со значением 0,2. Плоскость в которой располагается мишень обозначает

понятие цель управления при многопараметрической оценке. Поскольку, цель управления сушкой зерна является получение зерна заданного качества, то чем ближе форма кривой к окружности (также, чем больше площадь), тем ближе выборка к цели управления. Многопараметрическая оценка ситуации выполнена по 15 параметрам. Пять замкнутых кривых линий – многопараметрическая оценка пяти ситуаций, которые сложились при сушке зерна в зерносушилке ДСП-32 под руководством оператора. Пользуясь графиком можно визуально определить ситуации, которые ближе к цели управления по 15 параметрам.

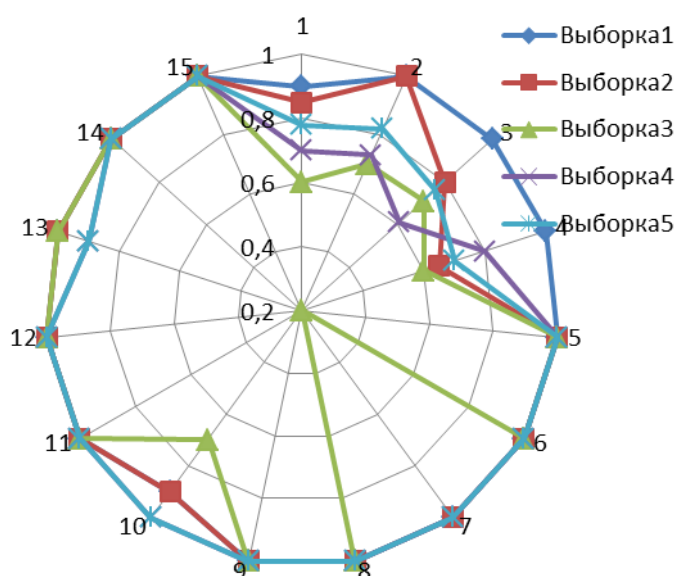


Рис. 2.6. Графическое представление выборок (15 параметров) сушки зерна

Полное описание каждой выборки содержащей входные, выходные и управляющие параметры, оценку качества управления для сохранения в базе знаний представляется оформить в виде продукции. Продукция представляется в виде: «условие применения правила - действие». Оценка эффективности управления служит критерием для сохранения выборки в базе знаний. Оператор для выбора величины управляющего воздействия сможет из базы знаний на основании значений входных возмущающих и целевых параметров выбрать

значения управляющих параметров с наилучшей оценкой. Результаты оценки выборок со значениями управляющих параметров представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Результаты многопараметрической идентификации

Номер выборки	Значения управляемых параметров для сохранения в базе знаний	Оценка выборки	
		Числовая оценка $D(Z)$	Лингвистическая оценка $P(Z)$
1	$T_{ag,1}=108(^{\circ}C)$; $T_{ag,2}=143(^{\circ}C)$; $C_3=35(c)$	0,01	Отл.
2	$T_{ag,1}=107(^{\circ}C)$; $T_{ag,2}=131(^{\circ}C)$; $C_3=40(c)$	0,11	Хор.
3	$T_{ag,1}=134(^{\circ}C)$; $T_{ag,2}=153(^{\circ}C)$; $C_3=60(c)$	0,27	Неуд.
4	$T_{ag,1}=104(^{\circ}C)$; $T_{ag,2}=124(^{\circ}C)$; $C_3=36(c)$	0,14	Хор.

Запоминание системой управляющих воздействий для получения на выходе зерна заданного качества позволит распространить типовую модель управления на множество зерносушилок одного типа.

Выполненные исследования позволили установить научный результат: в условиях неполноты информации для построения модели управления сушкой зерна впервые предложено взаимосвязь значений параметров, которые характеризуют процесс сушки зерна с эффективностью сушки, представить недетерминированной моделью на основе нечетких множеств. При этом управление сушкой зерна оценивается априорными значениями параметров, которые измеряются и субъективно оцениваются, в том числе, качество оболочки, цвет, запах, а не только влажность и температура.

2.4. Моделирование управления сушкой зерна при помощи нечеткого вывода

Для применения аппарата нечетких множеств вводится понятие лингвистической переменной [48, 49, 50, 51, 52, 53]. Лингвистическая переменная описывается набором $(L, T(L), U, G, M)$, в котором L – название этой переменной; $T(L)$ – множество лингвистических значений (терм-множество); U

– универсальное множество; G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $T(L)$; M – семантическое правило, которое формирует смысл каждому лингвистическому значению X . Каждое семантическое правило ассоциируется с лингвистическим значением $M(X)$, причем $M(X)$ обозначает нечеткое подмножество множества U .

Смысл лингвистического значения X характеризуется функцией принадлежности $\mu: U \rightarrow [0,1]$, которая каждому элементу u множества U ставит принадлежность X .

2.4.1. Принцип проведения вычислительных исследований

Знания оператора по управлению сушкой зерна в зерносушилке шахтного типа ДСП-32, формулируются в виде правил, связывающих входы $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и выходы $Y (y_1, y_2, \dots, y_n)$ в форме продукционной системы «Если-ТО» [54, 55, 56].

Для моделирования системы при помощи нечетких множеств использован алгоритм Е. Мамдани [57, 58, 59]. Данный алгоритм (структура) нечеткого вывода наиболее подходит для формулирования знаний оператора (в отличие от Сугено), поскольку функция принадлежности задается в прямом виде. Структура нечеткого вывода состоит из следующих компонентов: базы правил, блока фазификации, блока выработки решений, блока дефазификации.

1. Процедура фазификации определяет значения функции принадлежности для каждого правила.

2. Нечеткий вывод. Определяются уровни отсечения для левой части каждого правила. В качестве t – нормы выступает логический минимум ($\min$).

3. Объединение усеченных функций. С использованием операции максимум ($\max$) производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечёткого подмножества для переменной выхода с функцией принадлежности.

4. Процедуру (дефазификации) преобразования нечеткого множества в число можно выполнить разными методами, предоставленными ниже.

4.1. Метод центра тяжести (centroid), где четкое значение выходной переменной определяется как центр тяжести для кривой (области) на плоскости $\mu(y)$.

4.2. Метод двух секторов (bisector). Четкое значение выходной переменной делит область функции принадлежности $\mu(y)$ на две равные подобласти. Иногда, но не всегда, совпадает с методом центра тяжести.

4.3. Метод среднего максимума (middle of maximum(mom)). Четкое значение выходной переменной находится по середине всех элементов имеющих максимальную степень принадлежности.

4.4. Метод левого (Small of maximum (som)), правого (Large of maximum (lom)) максимума.

Выбирается наименьший или наибольший элемент нечеткого множества среди всех элементов имеющих максимальную степень принадлежности.

2.4.2. Описание условий, результаты вычислительных исследований

Параметры качества зерна контролируемые при сушке представляются множеством параметров согласно ГОСТ на данную культуру и инструкции по сушке зерна и эксплуатации сушилок [7], представлены на рисунке 1.3. В качестве возмущающих входных переменных системы нечеткого вывода моделирующего сушку пшеницы в шахтной зерносушилке ДСП-32 будем рассматривать 8 лингвистических переменных(ЛП): $K_3V_{\text{вх}}$ — влажность зерна; $K_3ЗАП_{\text{вх}}$ — запах зерна, т.е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива; $K_3Ц_{\text{вх}}$ — цвет зерна; $K_3КО_{\text{вх}}$ — качество оболочки зерна (потемнение, подгорание, растресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой); $K_3ЗАР_{\text{вх}}$ — зараженность; $K_3ПС1_{\text{вх}}$ — примесь сорная в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрубленных зерен, крошащийся

ендосперм; $K_3KK_{\text{ЛВХ}}$ — количество сырой клейковины; $K_3KK_{\text{ЧВХ}}$ — качество клейковины. В качестве управляемых параметров системы нечеткого вывода для случая сушки пшеницы будем рассматривать 3 нечетких лингвистических переменных: «Скорость (расход) зерна» ($\langle C_3 \rangle$), «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» ($\langle T_{\text{аз.1}} \rangle$), «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту второй зоны» ($\langle T_{\text{аз.2}} \rangle$).

В качестве выходных параметров выступают 9 лингвистических переменных: T_3 - Температура зерна на выходе второй зоны нагрева; $K_3V_{\text{ВВХ}}$ — влажность зерна; $_{\text{откл}}K_3ЗАП_{\text{ВВХ}}$ — отклонение запаха зерна, т.е. наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива; $_{\text{откл}}K_3Ц_{\text{ВВХ}}$ — отклонение цвета зерна; $_{\text{откл}}K_3КО_{\text{ВВХ}}$ — отклонение качества оболочки зерна (потемнение, подгорание, растресканость оболочки, налет копоти, запаренность зерна с сырой оболочкой); $K_3ЗАР_{\text{ВВХ}}$ — зараженность; $K_3ПС1_{\text{ВВХ}}$ — примесь сорная примесь сорная, в том числе испорченные зерна, наличие битых, обрубленных зерен, крошащийся эндосперм; $K_3KK_{\text{ЛВВХ}}$ — количество сырой клейковины; $K_3KK_{\text{ЧВВХ}}$ — качество клейковины.

В качестве терм-множеств входных лингвистических переменных будем использовать множества: $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$. 1-ая ЛП: «Влажность исходного зерна» ($\langle K_3V_{\text{ВХ}} \rangle$) будем использовать множество $T_1 = \{ \langle \text{сухое} \rangle (\langle \text{dry} \rangle) \text{ — не более } 14,0\%, \langle \text{средней сухости} \rangle (\langle \text{average dry} \rangle) \text{ — } 14,1 \div 15,5 \%, \langle \text{влажное} \rangle (\langle \text{wet} \rangle) \text{ — } 15,6 \div 17,0\%, \langle \text{сырое} \rangle (\langle \text{raw} \rangle) \text{ — } 17,1 \% \text{ и более } \}$.

2-ая ЛП: «Запах зерна» ($\langle K_3ЗАП_{\text{ВХ}} \rangle$) Наличие запаха дыма, сернистого газа, жидкого топлива. Будем использовать множество $T_2 = \{ \langle \text{запах не ощущается (отсутствует)} \rangle \text{ — от } 0 \text{ до } 1, \langle \text{запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании (нагревании)} \rangle \text{ — от } 1,1 \text{ до } 2, \langle \text{запах замечается если обратить внимание} \rangle \text{ — от } 2,1 \text{ до } 3, \langle \text{запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв} \rangle \text{ — от } 3,1 \text{ до } 4, \langle \text{запах обращает на себя внимание} \rangle \text{ — от } 4,1 \text{ до } 5 \}$.

3-ая ЛП: «Цвет зерна» ($\langle K_3 C_{BX} \rangle$). Будем использовать множество $T_3 = \{ \text{«отклонения цвета не замечается (отсутствует)»} — \text{от } 0 \text{ до } 1, \text{ «откл. цвета сразу не замечается, но обнаруживается при тщательном исследовании (в лабораторных условиях)»} — \text{от } 1,1 \text{ до } 2, \text{ «откл. цвета замечается если обратить внимание;»} — \text{от } 2,1 \text{ до } 3, \text{ «откл. цвета легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв»} — \text{от } 3,1 \text{ до } 4, \text{ «откл. цвета обращает на себя внимание»} — \text{от } 4,1 \text{ до } 5 \}.$

4-ая ЛП: «Качество оболочки зерна» ($\langle K_{откл} K_3 KO_{BX} \rangle$). Будем использовать множество $T_4 = \{ \text{«отклонения качества оболочки не замечается (отсутствует)»} — \text{от } 0 \text{ до } 1, \text{ «откл. качества оболочки сразу не замечается, но обнаруживается при тщательном исследовании (в лабораторных условиях)»} — \text{от } 1,1 \text{ до } 2, \text{ «откл. качества оболочки замечается если обратить внимание»} — \text{от } 2,1 \text{ до } 3, \text{ «откл. качества оболочки легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв»} — \text{от } 3,1 \text{ до } 4, \text{ «откл. качества оболочки обращает на себя внимание»} — \text{от } 4,1 \text{ до } 5 \}.$

5-ая ЛП: «Зараженность» ($\langle K_3 ZAP_{BX} \rangle$) в % будем использовать множество $T_5 = \{ \text{«класс 1»} (\langle cl\#1 \rangle) — \text{не более } 0,2\%, \text{ «класс 2»} (\langle cl\#2 \rangle) — \text{не более } 0,3\%, \text{ «класс 3»} (\langle cl\#3 \rangle) — \text{не более } 0,5\%, \text{ «класс 4»} (\langle cl\#4 \rangle) — \text{не более } 0,5\%, \text{ «класс 5»} (\langle cl\#5 \rangle) — \text{не более } 0,5\%, \text{ «класс 6»} (\langle cl\#6 \rangle) — \text{не более } 0,5\% \}.$

6-ая ЛП: «Примесь сорная. Испорченные зерна» ($\langle K_3 PC1_{BX} \rangle$) в % будем использовать множество $T_6 = \{ \text{«класс 1»} (\langle cl\#1 \rangle) — \text{не более } 0,2\%, \text{ «класс 2»} (\langle cl\#2 \rangle) — \text{не более } 0,2\%, \text{ «класс 3»} (\langle cl\#3 \rangle) — \text{не более } 0,5\%, \text{ «класс 4»} (\langle cl\#4 \rangle) — \text{не более } 0,5\%, \text{ «класс 5»} (\langle cl\#5 \rangle) — \text{не более } 1,0\%, \text{ «класс 6»} (\langle cl\#6 \rangle) — \text{не более } 1,0\% \}.$

7-ая ЛП: «Количество сырой клейковины» ($\langle K_3 KKL_{BX} \rangle$) в % будем использовать множество $T_7 = \{ \text{«класс 1»} (\langle cl\#1 \rangle) — \text{не менее } 30\%, \text{ «класс 2»} (\langle cl\#2 \rangle) — \text{не менее } 27\%, \text{ «класс 3»} (\langle cl\#3 \rangle) — \text{не менее } 23\%, \text{ «класс 4»} (\langle cl\#4 \rangle) — \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 5»} (\langle cl\#5 \rangle) — \text{не менее } 18\%, \text{ «класс 6»} (\langle cl\#6 \rangle) — \text{не ограничивается} \}.$

8-ая ЛП: «Качество клейковины» (« $K_3KK_{ч_{вх}}$ ») в единицах прибора ИДК будем использовать множество $T_8 = \{\text{«класс 1» («cl\#1»)} — 45 \div 75 \text{ ед., «класс 2» («cl\#2»)} — 45 \div 100 \text{ ед., «класс 3» («cl\#3»)} - 45 \div 100 \text{ ед., «класс 4» («cl\#4»)} — 20 \div 100 \text{ ед. «класс 5» («cl\#5»)} — 20 \div 100 \text{ ед., «класс 6» («cl\#6»)} — \text{ не ограничивается}\}.$

В качестве терм-множеств управляющих лингвистических переменных будем использовать множества: T_9, T_{10}, T_{11} . 9-ая ЛП: «Скорость движения зерна в сушилке» (« C_3 ») будем использовать параметр интервал времени в секундах между срабатываниями затворной рамы представлен в виде множества $T_9 = \{\text{«Наименьший» («VerySmall»)}, \text{«Малый» («Small»)}, \text{«Средний» («Middle»)}, \text{«Высокий» («High»)}\}$. Производится оценка по 90 бальной шкале, при которой цифре 11 соответствует наименьшая оценка, а цифре 90 наивысшая оценка.

10-ая ЛП: «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{a2.1}$ ») будем использовать множество $T_{10} = \{\text{«Малый» («Small»)} — 80 \div 105 \text{ }^\circ\text{C}, \text{«Средний» («Middle»)} — 95 \div 125 \text{ }^\circ\text{C}, \text{«превышает среднее» («Above Middle»)} — 120 \div 145^\circ\text{C и выше }\}$.

11-ая ЛП: «Температура сушильного агента. На входе в сушильную шахту второй зоны» (« $T_{a2.2}$ ») будем использовать множество $T_{11} = \{\text{«Средний» («Middle»)} — 105 \div 135 \text{ }^\circ\text{C}, \text{«превышает среднее» («Above Middle»)} — 130 \div 165 \text{ }^\circ\text{C }\}$.

Не приводятся терм-множества выходных лингвистических переменных, поскольку диапазоны функций принадлежности соответствуют входным лингвистическим переменным. Для решения задачи фазификации и дефазификации выбраны трапециевидные функции принадлежности. Графическое представление (интерпретация) функций принадлежности для некоторых лингвистических переменных представлено на рис.2.7. Знания оператора по управлению сушкой зерна пшеницы в зерносушилке ДСП-32 представлены в виде совокупности правил (табл.2.4.). Представленные правила интегрально отражают мнения разных операторов (экспертов), позволяют

приблизенно, в рамках заданных функций принадлежности, моделировать управление процессом сушки.

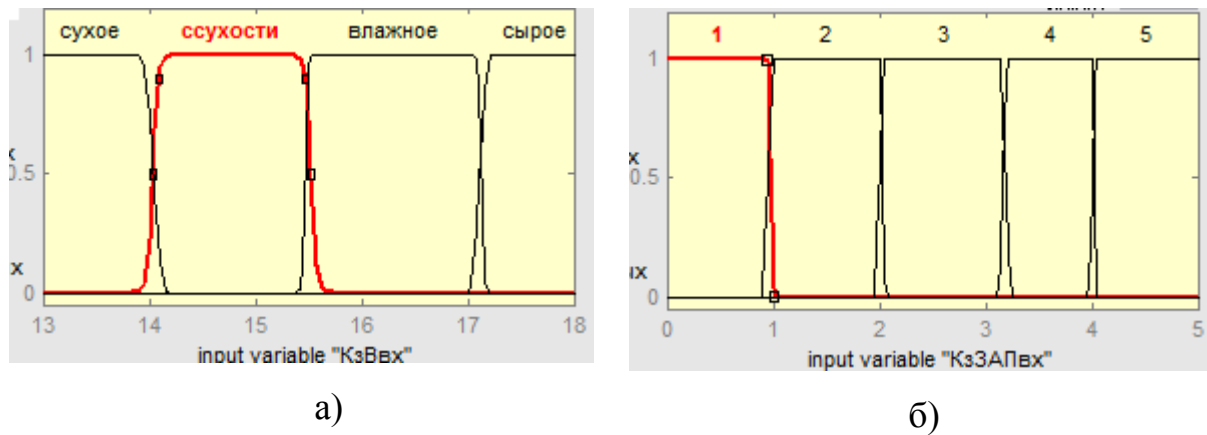


Рис. 2.7. Графическая интерпретация функций принадлежности для лингвистических переменных. а) «Влажность исходного зерна» («K₃B_{вх}»). б) «Запах зерна» («K₃ЗАП_{вх}»)

Таблица 2.4.

Продукционная база знаний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	K_3B_{ex}	K_3Zan_{ex}	$K_3Ц_{ex}$	K_3KO_{ex}	K_3ZAP_{ex}	$K_3ПC1_{ex}$	$K_3KKЛ_{ex}$	$K_3KKЧ_{ex}$	$T_{a2.1}$	$T_{a2.2}$
1	AD	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1	S	M
2	W	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1	M	M
3	R	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1	AM	AM
4	W	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1	AM	AM
5	W	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1	M	M
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	C_3	T_3	K_3B_{6bl}	$откл K_3ЗАП_{6bl}$	$откл K_3Ц_{6bl}$	$откл K_3KO_{6bl}$	K_3ZAP_{6bl}	$K_3ПC1_{6bl}$	$K_3KKЛ_{6bl}$	$K_3KKЧ_{6bl}$
1	S	S	D	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1
2	M	S	D	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1
3	S	S	D	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1
4	VS	AS	D	1,5	2,5	2,5	cl#2	cl#3	cl#2	cl#2
5	H	S	AD	0,5	0,5	0,5	cl#2	cl#2	cl#1	cl#1

Графически некоторые результаты моделирования сушки зерна представлены на рис.2.8. в аксонометрическом виде[60, 61]. Из рисунка 2.8.а. видно, что влажность зерна на выходе зерносушилки не превышает 14(%) если «Влажность исходного зерна» («K₃B_{вх}») соответствует диапазону 15.6÷17,0(%)

«влажное» («wet») и «Температура сушильного агента на входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{a.2}$ ») в диапазоне $105 \div 135$ (°C) т.е. соответствует диапазону «Средний» («Middle»).

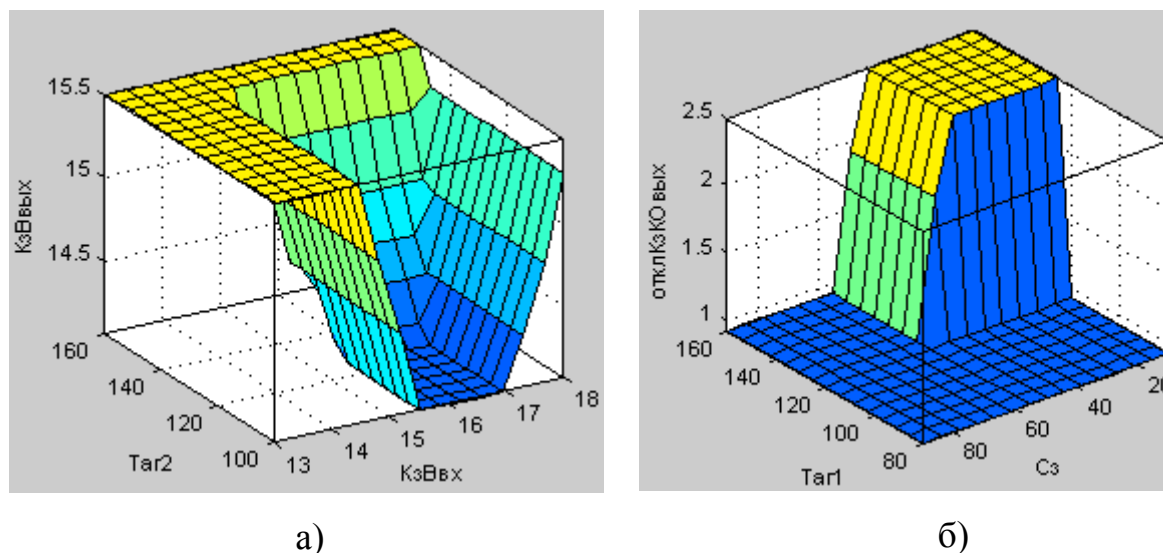


Рис.2.8. Аксонометрическое трехмерное представление результатов моделирования сушки зерна

Из рисунка 2.8.б. видно, что возможно ухудшение качества оболочки зерна до значения «отклонение качества оболочки замечается, если обратить внимание» — от 2,1 до 3 если повысить значения переменной «Температура сушильного агента на входе в сушильную шахту первой зоны» (« $T_{a.1}$ ») и снизить значение переменной скорость движения зерна в сушилке (« C_3 »).

Вопрос подобия (адекватности) модели рассмотрен в таблице 2.5., где выборка из процесса сушки в условиях предприятия (натурный эксперимент) сравнивается с результатом математического моделирования при разных методах дефазификации. Видно, что применение трех методов дефазификации (centroid, bisector, mom) дает одинаковый результат, который не отличается от значений выборки из процесса сушки на предприятии.

Таблица 2.5

Адекватность методов дефазификации натурному эксперименту

Параметр	Натурный эксперимент
$K_3 B_{\text{вх}}, \%$	16,1
$K_3 \text{Зап}_{\text{вх}}$	0,5 (0÷1)
$K_3 \Pi_{\text{вх}}$	0,4 (0÷1)
$K_3 KO_{\text{вх}}$	0,5 (0÷1)
$K_3 \text{ЗАР}_{\text{вх}}, \%$	0,3
$K_3 \text{ПСI}_{\text{вх}}, \%$	0,2
$K_3 \text{ККЛ}_{\text{вх}}, \%$	35
$K_3 \text{ККЧ}_{\text{вх}}, \text{ед}$	50 (45÷75)
$T_{\text{аг.1}}, ^\circ\text{C}$	108
$T_{\text{аг.2}}, ^\circ\text{C}$	117
$C_3, \text{с}$	44

Параметр	Нат. эксперимент	Метод дефазификации									
		centro id	Раз-ность	bisect or	Раз-ность	mom	Раз-ность	som	Раз-ность	lom	Раз-ность
T_3	41	42,5	-1,5	42,4	-1,4	42,4	-1,4	36	5	48,8	-7,8
$K_3 B_{\text{вых}}, \%$	13,9	13,6	0,3	13,6	0,3	13,6	0,3	13	0,9	14,1	-0,2
$\text{откл. } K_3 \text{ЗАР}_{\text{вых}}$	(0÷1)	0,49	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0,9	0
$\text{откл. } K_3 \Pi_{\text{вых}}$	(0÷1)	0,49	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0,8	0
$\text{откл. } K_3 KO_{\text{вых}}$	(0÷1)	0,49	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0,9	0
$K_3 \text{ЗАР}_{\text{вых}}, \%$	0,3	0,25	0,05	0,25	0,05	0,25	0,05	0,2	0,1	0,29	0,01
$K_3 \text{ПСI}_{\text{вых}}, \%$	0,2	0,15	0,05	0,15	0,05	0,15	0,05	0,1	0,1	0,2	0
$K_3 \text{ККЛ}_{\text{вых}}, \%$	35	35	0	35	0	35	0	30	5	40	-5
$K_3 \text{ККЧ}_{\text{вых}}, \text{ед. ИДК}$	50	60	-10	60	-10	60	-10	45	5	75	-25
Лингвистическая оценка	Отлично	Отлично	—	Отлично	—	Отлично	—	Уд.	—	Отлично	—
Числовая оценка	0	0	—	0	—	0	—	0,42	—	0	—

Выполненные исследования позволяют сформулировать научный результат: получила дальнейшее развитие имитационная модель нечеткого вывода в соответствии с алгоритмом И. Мамдани на примере сушки зерна пшеницы в сушилке ДСП-32. Эта модель, в отличие от существующих, использует совместно с влажностью априорные значения качественных параметров, которые необходимы для учета на заготовительном предприятии, в том числе, качество оболочки, цвет, запах зерна, что позволяет более полно, для условий производства, прогнозировать значения выходных параметров процесса сушки.

Математическое моделирование управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа рассмотрено для повышения эффективности сушки зерна путем

совершенствования системы управления. Особенностью моделирования является использование не только параметров влажности и температуры зерна, но и таких параметров качества зерна необходимых для контроля при сушке, которые невозможно измерить техническими средствами. Повышение точности моделирования достигается путем уточнения цели моделирования на всех этапах алгоритма нечеткого вывода. Сформулированные знания на основании априорных данных по управлению сушкой зерна, представленные в виде базы правил, позволяют реализовать недетерминированную модель управления. К недостаткам выполненного моделирования можно отнести 1) неполноту правил для одной культуры (представленные правила сушки соответствуют исходному качеству пшеницы), 2) зависимость конечного результата моделирования от выбранного метода дефазификации. Учитывая, что количество зерносушилок одного типа только в Украине может измеряться сотнями, то для процесса сушки по причине нестационарности необходима постоянно обновляемая (адаптируемая) база правил. Указанные недостатки выполненного моделирования показывают зависимость результата моделирования от квалификации инженера по знаниям.

Сравнение двух способов построения модели 1) на основании апостериорных значений параметров используя ситуационное управление на основе нечетких множеств и 2) на основании априорных данных на основе нечеткого вывода (алгоритм Е.Мамдани) говорит о возможности применения обоих подходов при разработке системы поддержки принятия решений. На взгляд автора, модель основанная на апостериорных значениях параметров менее трудоемка, для адаптации в условиях заготовительного предприятия. Техническая реализация модели нечеткого вывода (алгоритм Е.Мамдани) требует квалификации и навыков наравне с научными работниками, более трудоемкий в технической реализации адаптивной базы правил на сотнях зерносушилок.

Из всех параметров сушки зерна для оператора самым важным параметром является влажность потока зерна в сушилке. Чем чаще он контролируется, тем выше качество управления процессом сушки зерна. Из таблицы 1.2. видно рекомендуемый период контроля влажности зерна на выходе в одном исследовании [23] составил 17,7 мин, а в другом исследовании[6] 3,3 мин.

Выводы по разделу 2

1. Суть научного результата.

1.1. При неполноте априорной и апостериорной информации, что исключает математическое описание процесса управления сушкой классическими методами (детерминированная/вероятностная модель), знания оператора по управлению сушкой зерна представлены при помощи нечетких множеств, учитывая измеряемые и субъективно оцениваемые параметры, в том числе, запах, цвет, качество оболочки зерна.

2. Новизна научного результата.

2.1. Впервые получена недетерминированная многопараметрическая математическая модель сушки зерна на основании нечетких множеств. Модель расширяется в соответствии с назначением зерна, действующими нормативными документами и содержит апостериорные значения параметров, которые измеряются приборами и оцениваются человеком, в том числе качество оболочки, цвет, запах зерна, используется оценка эффективности сушки.

2.2. Получила дальнейшее развитие имитационная модель нечеткого вывода в соответствии с алгоритмом И. Мамдани на примере сушки зерна пшеницы в сушилке ДСП-32. Эта модель, в отличие от существующих, использует вместе с влажностью априорные значения качественных параметров, которые необходимы для учета на заготовительном предприятии, в том числе, качество

оболочки, цвет, запах зерна, что позволяет более полно, для условий производства, прогнозировать значения выходных параметров процесса сушки.

2.3. Получил дальнейшее развитие метод оценки эффективности процесса управления сушкой зерна посредством совместного использования параметров, которые измеряются и субъективно оцениваются в лингвистическом и числовом виде на основании нечетких множеств. Это позволяет использовать критерий эффективности (один параметр) для автоматизации обучения, выбора режима сушки в системе интеллектуальной поддержки принятия решений, что позволяет быстрее выполнять обработку данных, принимать решения по выбору значений управляющих воздействий в условиях неопределенности.

3. Практическая значимость.

3.1. Взаимосвязь значений параметров процесса сушки с качественными показателями зерна в виде недетерминированной модели на основе нечетких множеств позволяет разработать рекомендации к технической реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая адаптируется в том числе, в соответствии с сезонными особенностями качества зерна, конструктивными особенностями сушилки.

3.2. Оценка эффективности управления сушкой зерна в числовом и лингвистическом виде позволяет оценить действия персонала сушилки для получения зерна заданного качества после сушки.

3.3. Разработан способ отображения многопараметрической оценки на плоскости в виде окружности. Правильная форма круга (также, чем больше площадь) является свидетельством того, что процедура управления соответствует цели, это позволяет человеку повысить оперативность принятия решения по выбору режима сушки.

РАЗДЕЛ 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ШАХТНОЙ СУШИЛКЕ

Качество высушенного зерна напрямую связано с периодичностью контроля влажности [6, 23, 62, 63, 64]. Анализ вероятностно-статистических характеристик зерна, шахтных сушилок, опыт в области измерения влажности сыпучих материалов позволил сформулировать требования к оперативности контроля влажности потока зерна при сушке. Контроль влажности после сушки должен составлять не менее одного раза в 5 мин [62], что определено в результате анализа спектральных плотностей измерений с учетом погрешности дискретной оценки.

Отмечается взаимосвязь колебательного характера влажности сыпучего материала с интервалом контроля [62]. Повышение колебаний влажности требует повышения оперативности (снижение интервала) контроля. Урежение контроля влажности приводит к неадекватной оценке состояния процесса сушки зерна при управлении оператором. В подобных случаях управление не обеспечивает требуемого режима сушки, что приводит либо к пересушке зерна (снижение веса, возможна потеря качества, снижение стоимости) и снижению производительности сушилок, либо к получению некондиционного по влажности зерна, что требует дополнительных затрат, например, своевременный контроль температуры и перемещение зерна.

3.1. Анализ методов измерения влажности зерна

Известные методы определения влажности семян и зерна разделяются : по принципам измерения на физические, химические и электрические [65]. По форме полученные результаты - прямые (химические, физические) и косвенные (электрические и неэлектрические) [66]. На предприятиях хранения и пе-

реработки зерна метод определения влажности [13] высушиванием до постоянного веса применяется для экономических расчетов. Метод основан на воздушно-тепловой сушке образца материала до постоянного веса[65]. Влажность рассчитывают по разности между первоначальным весом навески до и после высушивания:

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100[\%] \quad (3.1)$$

где W - влажность вещества в процентах;

G_1 - вес навески и бюксы до сушки;

G_2 - вес навески и бюксы после сушки.

Продолжительность сушки 40 мин при температуре 130 °С. Погрешность метода составляет 0.5%. Данный метод разработан для целого и размолотого зерна. При его использовании время получения показаний влажности состоит из следующих составляющих [67, 68]:

$$T = T_n + T_a + T_c, \quad (3.2)$$

где T_n – время, которое необходимо затратить работнику лаборатории для того, что бы отобрать пробу на зерносушилке и принести образец в лабораторию;

T_a – время проведения анализа методом высушивания(более 40 минут);

T_c – время для сообщения оператору сушилки результата.

Таким образом, при лабораторном измерении влажности время получения результата составляет не менее 60 минут, что существенно превышает рекомендуемый период контроля влажности зерна (см. табл. 1.2.) К достоинствам метода относится простота; к недостаткам длительность определения влажности, неоднократное взвешивание, что не позволяет использовать его в непрерывно-поточных линиях.

Для повышения оперативности контроля влажности в настоящее время применяют портативные экспресс – анализаторы влажности, использующие, в основном, диэлькометрический метод измерения.

Использование экспресс – анализатора влажности зерна имеет следующие недостатки[67, 68]:

- наличие человеческого фактора, которое может проявиться в несвоевременности измерения влажности зерна;
- взятая проба, может характеризовать не весь поток зерна, а лишь ту часть, которая помещается в экспресс- анализатор влажности зерна.

Анализ процесса сушки показывает, что конечный полезный эффект работы зерносушилки – влагосъем или значение конечной влажности (см. табл. 1.2.). Оперативность достоверного измерения влажности потока зерна влияет на эффективность процесса сушки. Исследования показывают, что чем чаще контролируется влажность, тем выше качество высушенного продукта. Поэтому разработка достоверного поточного влагомера для зерносушилок является важной экономической и научно-технической задачей. Из всего многообразия влагомеров (рис. 3.1.), принципы действия которых основаны на использовании различных частот спектра электромагнитных колебаний, наибольшее распространение получили системы, использующие высокочастотный метод измерения емкости (диэлькометрический метод)[61].

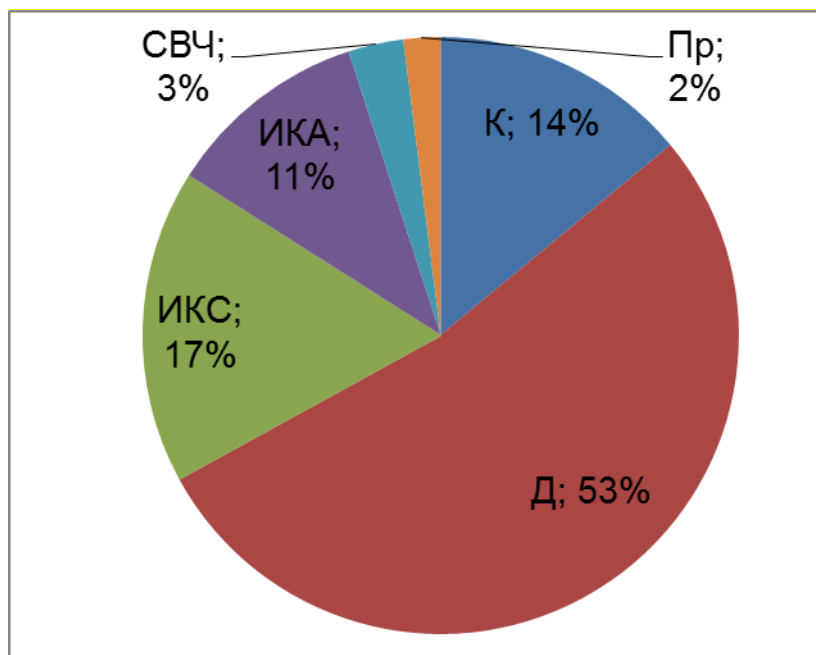


Рис.3.1. Диаграмма распределения влагомеров по используемым методам,

где К – кондуктометрические; Д-диэлькометрические, высокочастотные; ИКС – инфракрасные термогравиметрические; ИКА – инфракрасные анализаторы; СВЧ – сверхвысокочастотные; Пр-прочие влагомеры.

Емкость конденсатора пропорциональна диэлектрической проницаемости диэлектрика помещенного между электродами, площади электродов и обратно пропорциональна расстоянию между электродами [69]. Диэлектрическая проницаемость – макрохарактеристика способности диэлектрика к поляризации во внешнем электрическом поле [70], основная электрическая характеристика диэлектрика [71]. Диэлектрическую проницаемость [65, 72, 73] можно определить как отношение емкости конденсатора с данным диэлектриком к емкости конденсатора тех же размеров, в котором вместо диэлектрика использован вакуум:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_p}, \quad (3.3)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость;

C – емкость конденсатора с данным диэлектриком;

C_p - емкость конденсатора с вакуумом.

Диэлектрическая проницаемость характеризует способность диэлектрика поляризоваться в электрическом поле конденсатора. Поляризация диэлектрика, помещенного между обкладками конденсатора, объясняется тем, что при создании электрического поля в диэлектрике заряды смещаются по направлению к металлическим обкладкам-электродам.

Все материалы характеризуются определенными значениями диэлектрической проницаемости. В основе емкостного метода измерения влажности сыпучих материалов лежит отличие диэлектрической проницаемости сухих материалов основной интервал составляет 2÷5 единиц, от диэлектрической проницаемости воды, 81 единица (при температуре 20⁰C). В общем, при повышении процентного содержания воды (влажности) значение диэлектрической проницаемости материала возрастает. Внесение влажного материала в датчик-

конденсатор, на электроды которого подано напряжение переменного тока, вызывает увеличение емкости датчика до величины

$$C = C_p \cdot \varepsilon, \quad (3.4)$$

где C_p – рабочая емкость датчика (емкость пустого датчика),

ε - диэлектрическая проницаемость влажного зерна.

Высокочастотный контроль влажности [72] предусматривает воздействие на контролируемый материал переменным электромагнитным полем в диапазоне $5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^7$ Гц. Важным вопросом емкостного метода измерения влажности является выбор частоты переменного электрического поля датчика-конденсатора в котором происходит преобразование влажности материала в электрическую величину. Для обоснования выбора частоты выполнено исследование [72] влажностно-частотных характеристик зерна пшеницы. Измерялись характеристики $dC=F(W)$ (здесь dC -приращение емкости конденсатора-датчика, W – влажность зерна) на частотах электрического поля конденсатора-датчика 5, 50, 500, 5000 кГц. Из представленных характеристик на низких частотах - 5 и 50 кГц – dC и степень нелинейности значительно больше, чем на высоких 500, 1500, 5000 кГц.

Емкость датчика, заполненного контролируемым материалом является сложной функцией многих параметров [74]

$$C = F(W; T; \Pi; \Gamma; X; \text{ЭМ}; \dots), \quad (3.5)$$

где W , T , Π , Γ , и X – соответственно влажность, температура, плотность, гранулометрический и химический состав контролируемого материала; ЭМ – электрохимический критерий границы электрод – материал.

Особенностью измерения влажности сыпучего материала находящегося в зерносушилке в технологическом процессе сушки является нагрев сыпучего материала. Из литературы [72] известно, что для влажных сыпучих материалов температура является основным показателем по степени влияния на результат измерения влажности емкостным методом. Поэтому исследование механизма влияния температуры на диэлектрические характеристики сыпучих продуктов для емкостной влагометрии является актуальным вопросом.

При повышении температуры от 0 до 100 °С диэлектрическая проницаемость воды [72] понижается от 89.7 до 53.3. Поскольку диэлектрическая проницаемость влажного сыпучего продукта в основном определяется количеством содержащейся в нем воды, можно предположить, что при повышении температуры она также должна понижаться. Однако на практике наблюдается обратное – при повышении температуры емкость конденсаторного датчика с зерном повышается. Чтобы установить причину этого явления, СКБ «Проектприбор» была проведена экспериментальная работа на зерне пшеницы IV типа рис. 3.2.

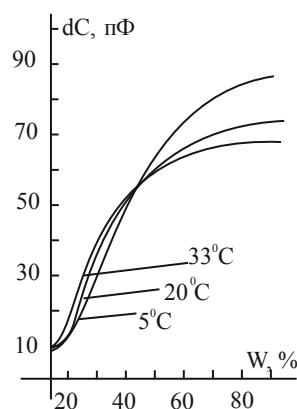


Рис. 3.2. Влияние влажности и температуры контролируемого продукта на емкость конденсатора-датчика

Из построенных по результатам измерений зависимостей (рисунок 3.2.) $dC=F(W)$ видно, что при влажности зерна от 8% до 40 % влияние температуры на емкость конденсаторного датчика при её повышении от 5°C до 35 °С возрастает и емкость датчика повышается; при влажности зерна выше 40% влияние температуры убывает, а при влажности 45% равняется нулю. При влажности зерна выше 45%, знак влияния температуры на емкость конденсатора датчика изменяется, при повышении температуры емкость датчика понижается.

Полученные результаты, а также анализ опубликованных источников показывают, что механизм влияния температуры на диэлектрическую проницаемость влажного зерна объясняется изменением соотношения содержащейся в нем связанной и свободной влаги при нагревании.

Влажное зерно содержит определенное количество связанной влаги, диэлектрическая проницаемость которой значительно ниже, чем свободной воды. При повышении температуры, с одной стороны, уменьшается емкость датчика в результате снижения диэлектрической проницаемости свободной воды, а с другой – емкость датчика увеличивается благодаря повышению диэлектрической проницаемости влажного продукта при переходе части свободной влаги в свободное состояние. При влажности зерна до 45%, последний процесс преобладает над первым, поэтому в случае повышения температуры емкость датчика с влажным зерном растет.

При дальнейшем повышении влажности растет количество свободной влаги. Следовательно, увеличивается влияние её диэлектрической проницаемости на емкость датчика. Когда влажность зерна достигает 45%, противоположно действующие эффекты, происходящие при изменении температуры, становятся равными. Влияние температуры на емкость датчика при этом равно нулю. Такое значение влажности называется критическим.

При значениях влажности выше критической (45%) количество свободной влаги таково, что влияние температуры на её диэлектрическую проницаемость преобладает. Поэтому при повышении температуры емкость датчика с влажным зерном уменьшается. Это объясняет то явление, что увеличение температуры оказывает противоположное воздействие на емкость конденсаторного датчика с водой и влажным зерном.

Анализ данных исследований СКБ «Проектприбор» [72] позволяет сделать следующие выводы:

- влияние температуры на емкость (диэлектрическую проницаемость) влажного зерна зависит от соотношения количества свободной и связанной влаги в зерне;
- графики (рис. 3.2.) $dC=F(W)$ представляют зависимости в широком диапазоне влажности (10-100%), для трех значений температуры (5, 20, 33 °C). Приращение емкости датчика делает зависимости уникальными для данного датчика, но только три значения температуры являются недостаточными для

компенсации влияния температуры. Полученные зависимости пригодны для рассмотрения влияния температуры на емкость датчика с зерном в общем.

При выполнении исследований электрических характеристик материала (зерна), следует вести учет диэлектрической проницаемости материала, а не емкости, что позволяет учесть характеристики материала без датчика. С учетом возможности получения линейной шкалы влажности была выбрана высокая частота тока измерения 1500 кГц.

3.2. Исследование влияния возмущающих воздействий на диэлектрическую проницаемость зерна

Сушке зерна подлежат все культуры зерна и семян принимаемых заготовительным предприятием. Влияние плотности, химического и гранулометрического составов зерна обуславливает зависимость диэлектрической проницаемости от типа культуры зерна.

3.2.1. Исследование влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна

Перечень возмущающих воздействий параметров (3.5) влажность зерна, температура зерна, плотность, гранулометрический и химический состав зерна, электрохимический критерий границы электрод – зерно на диэлектрическую проницаемость представляется целесообразным ограничить до параметров культура зерна, влажность и температура зерна [67, 75].

Задачей исследования данного раздела является уточнение зависимостей диэлектрической проницаемости зерна от температуры зерна в потоке в высокочастотном диапазоне (ВЧ) для компенсации влияния температуры на диэлектрическую проницаемость зерна.

Измерение диэлектрической проницаемости зерна производится на исследовательском образце автоматизированной системы контроля влажности зерна. Функциональная схема образца представлена на рисунке 3.3.

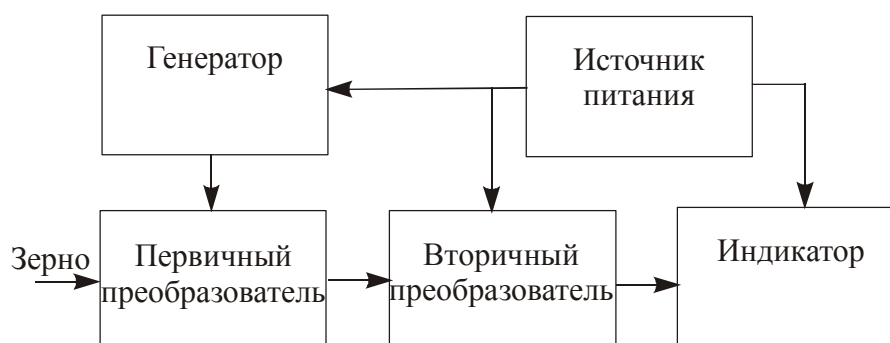


Рис. 3.3. функциональная структура измерителя диэлектрической проницаемости.

Зерно, воздействуя на первичный преобразователь, изменяет высокочастотный сигнал генератора, который преобразуется вторичным преобразователем для отображения диэлектрической проницаемости зерна на индикаторе. Погрешность измерения диэлектрической проницаемости составляет 0.7%. Температура зерна определяется термометром. Влажность зерна определяется в соответствии с ГОСТ 13586.5-93 при помощи сушильного шкафа СЭШ-3М. Подогрев зерна проводился в муфельной печи СНОЛ-1.6-2.5. Охлаждение зерна проводилось в холодильнике Минск-11. Первичный преобразователь представлен на рисунке 3.4.

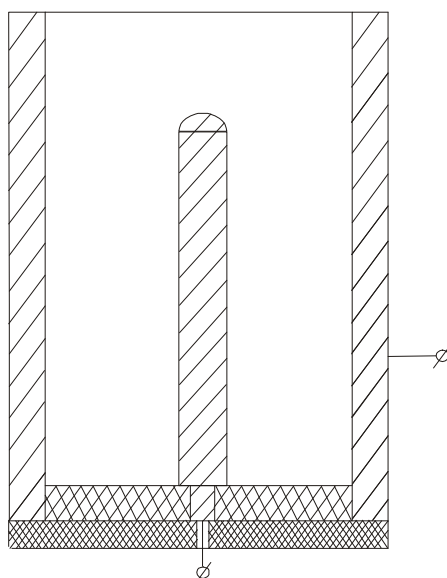


Рис. 3.4. Цилиндрический датчик конденсатор (первичный преобразователь) 1. Внешний электрод; 2. Центральный электрод; 3. Изоляционное дно.

Исследование заключается в том, чтобы измерить диэлектрическую проницаемость потока зерна при различных значениях температуры и влажности [67]. Интервалы варьирования факторов представлены в таблице 3.1. Верхние и нижние значения факторов ограничиваются желанием получить адекватную модель [76, 77, 78, 79].

Таблица 3.1.

Интервалы факторов

Уровень	Температура зерна $T, ^\circ\text{C}$	Влажность зерна $W, \% (\text{Пш})$
1	10	14
2	20	20
3	30	26
4	40	
5	50	

Так для температуры зерна верхний предел обусловлен значением максимально допустимой температуры нагрева зерна при сушке. Нижний предел влажности зерна обусловлен базисной нормой влажности зерна в соответствии с ГОСТ на данную культуру, а верхний обусловлен максимально возможной влажностью зерна.

Исследование проводится с зерном по сорной и зерновой примесям соответствующим требованиям для заготавливаемого зерна по ГОСТу на данную культуру. Для повышения точности измерения влажности и температуры зерна измерение диэлектрической проницаемости производится в статике, в лабораторных условиях, на пробах зерна отобранных из зерносушилки шахтного типа. Из литературных источников известно [65, 74, 80, 81, 82, 83, 84,85, 86], что диэлектрическая проницаемость зависит от плотности, поэтому при проведении исследования старались воспроизвести в первичном преобразователе (см. рис.3.2.) такую же плотность как в месте размещения первичного преобразователя на зерносушилке.

Отобранная из зерносушилки проба зерна подвергается измерению влажности и температуры. Часть пробы зерна данной влажности нагревается, а другая часть охлаждается в герметической емкости после чего подготовленная проба помещается в первичный измерительный преобразователь. В диапазоне температур от 0 до 50 °С шаг изменения принят равным 10 °С.

Для повышения достоверности (информативности) исследования определено количество параллельных опытов. Измерения диэлектрическую проницаемость зерна проведено исследование, заключающееся в сопоставлении количества параллельных опытов со среднеквадратическим отклонением (СКО). Результаты занесены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

Сопоставление количества параллельных опытов со среднеквадратическим отклонением

№ опыта	2	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50
СКО	0,3	0,2	0,15	0,12	0,11	0,1	0,09	0,1	0,11	0,09	0,1	0,1	0,1

Из таблицы видно, что при увеличении количества опытов, среднеквадратическое отклонение уменьшается. СКО 10, 20, 30 наблюдений и 50 наблюдений практически одинаковы. Можно сделать вывод, что достаточно 10-20 па-

раллельных опытов для проведения исследования и получения достоверного результата. Результаты исследований приведены в таблице А.1. Приложение А.

Для оценки адекватности модели рассмотрим теорию и выполним расчет. Для обработки данных и получения независимых оценок параметров модели в многоуровневом эксперименте рассмотрим построение однофакторной модели на основе ортогональных полиномов. Из математического анализа [87] известно, что через N точек на плоскости можно провести параболу $(N-1)$ порядка. При пяти равноотстоящих с шагом d опытных точках, в которых заданы значения отклика y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 можно построить многочлен четвертой степени

$$\hat{y}(x) = b_0 P_0(x) + b_1 P_1(x) + b_2 P_2(x) + b_3 P_3(x) + b_4 P_4(x), \quad (3.6)$$

где P_r – ортогональные полиномы; r – степень полинома, $r = 0, 1, \dots, 4$; b_r – подлежащие определению по данным эксперимента параметры модели (b – коэффициенты; x – кодированная переменная (фактор). Полиномы $P_r(x_u)$, $u = 0, 1, \dots, 4, 5$, удовлетворяют условиям ортогональности [88].

Вычисленные значения коэффициентов b_r полинома (3.6) по выражению (3.7) приведены в таблице 3.3.

$$b_r = \frac{\sum_{u=1}^5 P_r(x_u) \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^5 P_r^2(x_u)}, r = 0, 1, 2, 3, 4, \quad (3.7)$$

где $\bar{y}_u$ – среднее значение отклика в точке u , вычисленное по n параллельным

опытам, $\bar{y}_u = \sum_{f=1}^n \frac{y_{uf}}{n}$.

Среди вычисленных коэффициентов b_r могут быть статистически незначимые, которые не должны входить в уравнение регрессии. Для вычисления статистической значимости коэффициентов b_r необходимо знать их дисперсию σ_{br} , (СКО ошибки определения отклика $\sigma_y = 0.1$) определяемую по формуле:

$$\sigma_{br}^2 = \frac{\sigma_y^2}{n \cdot \sum_{u=1}^5 P_r^2(x_u)}, \quad (3.8)$$

где n – число параллельных опытов.

Таблица 3.3.

Вычисление b_r – коэффициентов модели (3.5)

u	$P_0(x_u)\bar{y}_u$	$P_1(x_u)\bar{y}_u$	$P_2(x_u)\bar{y}_u$	$P_3(x_u)\bar{y}_u$	$P_4(x_u)\bar{y}_u$
1	6,76	-13,52	13,52	-6,76	6,76
2	7,27	-7,27	-7,27	14,54	-29,08
3	7,88	0	-15,76	0	47,28
4	8,61	8,61	-8,61	-17,22	-34,44
5	9,5	19	19	9,5	9,5
$\sum_{u=1}^5 P_r(x_u)\bar{y}_u$	40,02	6,82	0,88	0,06	0,02
$\sum_{u=1}^5 P_r^2(x_u)$	5	10	14	10	70
b_r	8,004	0,682	0,0628	0,006	0,00029
σ_{br}	0,045	0,032	0,027	0,032	0,012
$b_{кр}$	0,088	0,062	0,052	0,062	0,023

При известной дисперсии, значимость коэффициентов b_r проверяется с помощью нормального распределения, из которого для уровня значимости $\alpha = 0,05$, $Z_{\text{табл}} = 1,96$.

Следовательно $b_{кр} = Z_{\text{табл}} \cdot \sigma_{br} = 1,96 \cdot \sigma_{br}$. Значения $b_{кр}$ даны в табл. 3.3.

На уровне значимости $\alpha = 0,05$ незначимыми следует считать коэффициенты $|b_3| = 0,006 < b_{кр} = 0,062$ и $|b_4| = 0,00029 < b_{кр} = 0,023$ (см. табл. 3.3). Таким образом, уравнение регрессии (3.6) примет вид:

$$\hat{y}(x) \Big|_{x_{2=26}} = 8,004P_0(x) + 0,682P_1(x) + 0,063P_2(x). \quad (3.9)$$

Для расчета адекватности модели рассчитываем остаточную сумму квадратов

$Q_{ad} = \sum_{u=1}^5 \Delta y_u^2 = 0.056$, которая имеет $f_{ad} = 5 - 3 = 2$ степени свободы, т.е. по пяти

значениям y_u найдены три коэффициента модели: b_0, b_1, b_2 . Тогда оценка дис-

персии адекватности $S_{ad}^2 = \frac{Q_{ad}}{f_{ad}} = 0,028$.

Проверку адекватности модели выполняем по F -критерию;

$F_p = \frac{S_{ad}^2}{\sigma_y^2} = \frac{0.028}{0.0016} = 2,78; F_{табл} = 2,99; (f_{ad} = 2; f_y = \infty; \alpha = 0,05)$. Следова-

но, модель можно признать адекватной.

Анализ результатов проводится с целью оценки адекватности полученной модели данным, исследования. Результаты представлены графически на рисунке 3.5.

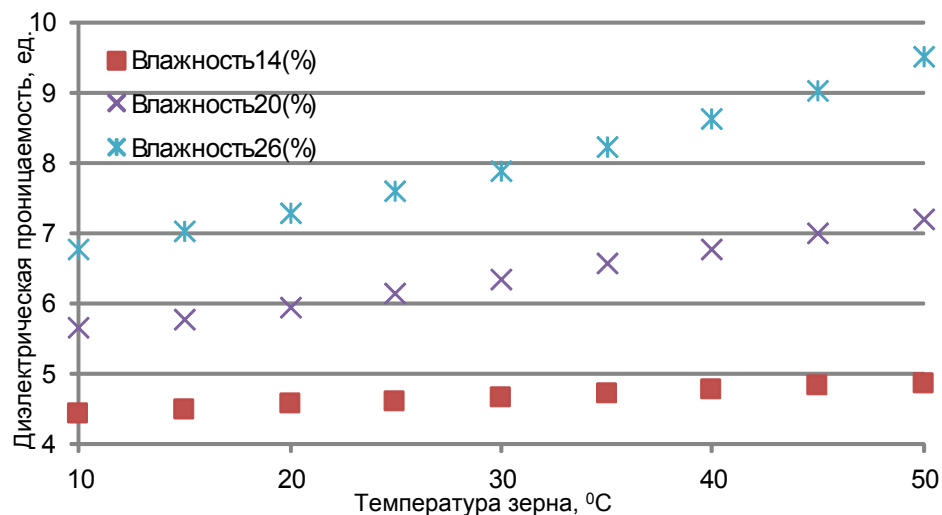


Рис. 3.5. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры при различной влажности для зерна пшеницы

Из рисунка 3.5. видно, что зависимость диэлектрической проницаемости от температуры зерна для пшеницы при высокочастотном методе измерения

носит нелинейный характер и различна при различных значениях влажности. Нелинейность возрастает при увеличении всех трех параметров.

В соответствии с разработанной методикой испытаний может быть получена система уравнений описывающая влияние температуры зерна на диэлектрическую проницаемость и для других культур. Для пшеницы система уравнений имеет следующий вид.

$$\begin{aligned}\varepsilon|_{14} &= 0,0109T + 4,323; \\ \varepsilon|_{20} &= 0,039T + 5,2; \\ \varepsilon|_{26} &= 0,00063T^2 + 0,0304T + 6,399.\end{aligned}\tag{3.10}$$

Это позволило сформулировать научный результат: зависимости диэлектрической проницаемости от влажности и температуры зерна пшеницы аппроксимируются полиномами первой и второй степени, при этом обеспечивается непрерывность значений параметров влажности и температуры, которые характеризуют процесс сушки.

На основании полученных уравнений приступим к разработке метода компенсации влияния температуры на диэлектрическую проницаемость зерна.

3.2.2. Разработка способа компенсации влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна

Суть предлагаемого метода состоит в получении зависимости, которая сводит диэлектрическую проницаемость зерна при различной температуре к диэлектрической проницаемости зерна при определенной температуре. Значение температуры должно быть наиболее близко к среднему значению температуры на выходе зерносушилки шахтного типа, где располагается первичный преобразователь автоматизированной системы контроля влажности потока зерна. Этому значению соответствует температура $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ выбираем как наи-

более близкую к среднему значению температуры зерна на выходе зерносушилки.

В системе уравнений (3.10) перенесем ось ординат в точку T_0 , получаем следующую систему уравнений записанную в общем виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{K_3 B_1} = F(T - T_0); K_3 B_1 = const \\ \varepsilon_{K_3 B_2} = F(T - T_0); K_3 B_2 = const \\ \dots \\ \varepsilon_{K_3 B_n} = F(T - T_0); K_3 B_n = const \end{array} \right\} \quad (3.11)$$

Для реализации метода выполняем преобразование системы уравнений к следующему виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{T0} = F(\varepsilon_{T1}); T_1 = const \\ \varepsilon_{T0} = F(\varepsilon_{T2}); T_2 = const \\ \dots \\ \varepsilon_{T0} = F(\varepsilon_{Tn}); T_n = const \end{array} \right\} \quad (3.12)$$

где ε_{T0} – диэлектрическая проницаемость при $T_0=20^\circ\text{C}$, ε_T – диэлектрическая проницаемость при $T = \text{Var}^\circ\text{C}$.

Уравнения системы (3.12) аппроксимируются полиномом второй степени имеющим вид:

$$\varepsilon_{T0} = A \cdot \varepsilon_T^2 + B \cdot \varepsilon_T + C, \quad (3.13)$$

где A , B коэффициенты и C – свободный член безразмерные величины, которые определяются в соответствии со следующей системой уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} A = F(T/T_0); \\ B = F(T/T_0); \\ C = F(T/T_0); \end{array} \right\} \quad (3.14)$$

Подставляя уравнения системы (3.14) в уравнение (3.13) получаем уравнение компенсирующее влияние температуры зерна на диэлектрическую проницаемость в диапазоне от 0 до 50°C . Для зерна пшеницы это уравнение имеет следующий вид:

$$\varepsilon_{T0} = (0.4 \cdot 10^{-4} \cdot (T/T_0)^2 + 1.9 \cdot 10^{-3} (T/T_0) + 0.011) \cdot \varepsilon_T^2 +$$

$$(4 \cdot 10^{-5} (T/T_0)^3 + 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot (T/T_0)^2 + 3.1 \cdot 10^{-3} (T/T_0) + 0,97) \cdot \varepsilon_T - \\ - 1 \cdot 10^{-4} (T/T_0)^3 + 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (T/T_0)^2 + 0.01 \cdot (T/T_0) + 0,09 \quad (3.15)$$

$$K_3 B = 4,43 \cdot \varepsilon_{T_0} - 6,23 \quad (3.16)$$

где $K_3 B$ – влажность зерна; ε_{T_0} – диэлектрическая проницаемость при $T_0=20$ °C.

3.2.3. Проверка способа компенсации влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна

Методика проверки заключается в получении выборки не меньше 41 значения ($n \geq 41$), разности значений диэлектрической проницаемости приведенной к температуре (T_0) и значения диэлектрической проницаемости при температуре (T_0) при различной влажности зерна (табл. 3.4, 3.5.).

Таблица 3.4

Значения диэлектрической проницаемости приведенные к температуре (T_0)

Температура, (°C)		Диэлектрическая проницаемость							
T	T-20	ε	ε _{T0}	ε	ε _{T0}	ε	ε _{T0}	ε	ε _{T0}
0	-20	2.53	2.76	3.75	4.11	4.21	4.77	4.68	5.53
5	-15	2.61	2.77	3.83	4.10	4.34	4.78	4.89	5.58
10	-10	2.67	2.77	3.92	4.10	4.49	4.8	5.12	5.62
15	-5	2.72	2.76	4	4.09	4.66	4.82	5.39	5.67
20	0	2.78	2.78	4.08	4.08	4.85	4.85	5.64	5.64
25	5	2.82	2.78	4.16	4.06	5.09	4.9	5.96	5.63
30	10	2.87	2.80	4.25	4.05	5.36	4.93	6.35	5.62
35	15	2.91	2.81	4.35	4.04	5.67	4.96	6.83	5.6
40	20	2.95	2.82	4.46	4.02	6	4.96	7.41	5.57
45	25	2.99	2.83	4.59	4.00	6.39	4.97	8.04	5.55
50	30	3.04	2.84	4.74	3.96	6.85	5.02	8.69	5.63

Выборка значений, проверяемая на вероятность заданного отклонения

Таблица 3.5.

i	$\varepsilon_{Tx} - \varepsilon_{T0}$	i	$\varepsilon_{Tx} - \varepsilon_{T0}$	i	$\varepsilon_{Tx} - \varepsilon_{T0}$	I	$\varepsilon_{Tx} - \varepsilon_{T0}$
1	-0.0169	12	0.0347	23	-0.0781	34	-0.113
2	-0.0122	13	0.0227	24	-0.0738	35	-0.0611
3	-0.0141	14	0.0237	25	-0.0542	36	-0.0194
4	-0.0161	15	0.0124	26	-0.0271	37	0.0268
5	0	16	0	27	0	38	0
6	0.00257	17	-0.0154	28	0.0466	39	-0.00788
7	0.0198	18	-0.0275	29	0.0815	40	-0.0213
8	0.03	19	-0.0409	30	0.106	41	-0.0439
9	0.0409	20	-0.0603	31	0.108	42	-0.074
10	0.0503	21	-0.0836	32	0.12	43	-0.0912
11	0.0625	22	-0.116	33	0.169	44	-0.00506

Дальше выполняется проверка выборки на соответствие нормальному закону распределения и оценки вероятности заданного отклонения от математического ожидания.

Для выборки ε_{T0} гипотеза о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, проверяется при помощи двух составных критериев [89].

Критерий 1. Вычисляют отношение

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}| / (nS^*), \quad (3.17)$$

где S^* - смещенная оценка среднего квадратического отклонения –

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}, \quad (3.18)$$

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

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.19)$$

где n - количество наблюдений.

Результаты наблюдений можно считать распределенными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \tilde{d} < d_{q_1/2} \quad (3.20)$$

где $d_{1-q_1/2}, d_{q_1/2}$ - квантили распределения;

q_1 – заранее выбранный уровень значимости критерия.

Вычисляем $\tilde{d}$ по формуле (3.17): $\tilde{d} = 0,7564$. Выбрав уровень значимости $q_1 = 0,01$ при $n = 46$, находим $d_{0,01} = 0.8682$; $d_{0,99} = 0.7256$. Так как $0.7256 < 0.7564 < 0.8682$, то критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Можно считать, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, если не более 2 разностей $|x_i - \tilde{A}|$ превысили значение $z_{P/2}S$, где $z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности $P/2$; S – оценка среднего квадратического отклонения результата наблюдения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{(n-1)}}. \quad (3.21)$$

Принимаем уровень значимости $q_2 = 0.01$. Для $n = 44$ и $q_2 = 0.01$ находим $P = 0,99$ и $z_{P/2} = 2,6$. Отсюда, $z_{P/2}S = 2,6 * 0,61556 = 0,16$. Согласно критерию 2 не более двух разностей $|x_i - \tilde{A}|$ могут превысить число 0,16. По данным расчета, приведенным в таблице, видим, что эта разность только при значении $i = 33$ превышает критическое значение. Следовательно, критерий 2 выполняется.

Таким образом, гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений.

Для определения вероятности отклонения показаний системы контроля влажности не превышающих ± 0.15 от среднего арифметического ($\tilde{A}$), определим вероятность заданного отклонения нормально распределенной случайной величины по абсолютной величине в соответствии с формулой

$$P(|X| < 0.1) = 2\Phi(0.15 / \sigma), \quad (3.22)$$

где $P(X)$ – вероятность,

$\Phi(X)$ – функция Лапласа,

σ - среднеквадратическое отклонение нормального распределения

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (3.23)$$

Вероятность отклонения (3.22), $P(|X| < 0.15) = 0,82$.

3.3. Исследование распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения шахтной сушилки ДСП -32

Для достоверного измерения влажности потока зерна на выходе зерносушилки шахтного типа необходимо определить место расположения первичного измерительного преобразователя в корпусе шахтной зерносушилки ДСП-32. Для определения места расположения датчика на выходе шахтной зерносушилки ДСП-32 необходимо знать распределение влажности потока зерна между шахтами зерносушилки и внутри зерносушилки.

3.3.1. Принцип исследования распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения шахтной сушилки ДСП-32 на основе планирования и проведения эксперимента

Назначением эксперимента является получение распределения влажности зерна в горизонтальном сечении шахты зерносушилки.

Целью эксперимента является определение минимального количества и места размещения датчиков измерения влажности в корпусе зерносушилки ДСП.

Для достижения цели эксперимента необходимо произвести отбор проб зерна из корпуса зерносушилки при протекании процесса сушки зерна. Проба

зерна отбирается при помощи щупа из коробов корпуса зерносушилki в зоне охлаждения, открытых снаружи. Причем внутри короба берется две точки отбора пробы: одна ближе к наружной стенке шахты (1), а вторая (2) ближе к стенке шахты, которая граничит с напорной камерой. Схема расположения мест отбора проб для определения влажности представлена на рисунке 3.6.

Для повышения достоверности (информативности) эксперимента найдено количество параллельных опытов [88] для проведения эксперимента:

$$n \geq \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\bar{y}}^2}, \quad (3.24)$$

где σ_y^2 – среднеквадратическое отклонение одного наблюдения (три измерения), $\sigma_{\bar{y}}^2$ – среднеквадратическое отклонение выборочного среднего влажности.

$$n \geq \frac{(0,13)^2}{(0,1)^2} \geq 1,7. \quad (3.25)$$

Таким образом, надо произвести не менее 1 наблюдения включающего пять измерений, т.е. не менее 5 параллельных опытов. Пробы отбираются последовательно из 14 коробов шахты зерносушилki. Расхождение во влажности потока зерна в одной шахте с влажностью потока зерна в другой шахте определяется путем одновременного взятия проб из одних коробов (точек) обеих шахт, измерения влажности и вычисления разности согласно формулы:

$$\Delta W = W_{\text{ш2}} - W_{\text{ш1}}, \quad (3.26)$$

где $W_{\text{ш2}}$ – средняя влажность зерна в шахте 2,

$W_{\text{ш1}}$ – средняя влажность в шахте 1,

ΔW – разность влажности между шахтами зерносушилki ДСП-32.

На рис 3.6. крестиком показаны места взятия проб в горизонтальном сечении шахты. Заштрихованные части обозначают короба зерносушилki, недоступные для взятия пробы снаружи. После отбора пробы измерение влажности производится двумя методами: электрическим и физическим (высушивание до постоянного веса).

В качестве основного метода измерения влажности принят электрический метод – диэлькометрический лабораторный влагомер РМ-600. В качестве образцового метода, принят метод высушивания на воздушно-тепловой сушке образца материала до постоянного веса в соответствии с ГОСТ 135865-93. Электрический метод применяется для оперативности проведения эксперимента и реализуется при помощи портативного влагомера РМ-600. Погрешность измерения влажности 0.5%. Метод высушивания до постоянного веса в соответствии с ГОСТ 135865-93 применяется для проверки показаний полученных электрическим методом.

Проведение экспериментальных исследований осуществляется на шахтной сушилке ДСП-32, 1980 г. выпуска при сушке пшеницы 4 класса. Результаты эксперимента по исследованию распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения зерносушилки шахтного типа ДСП представлены на рис.3.7., в Приложении Б, таблица Б.1.

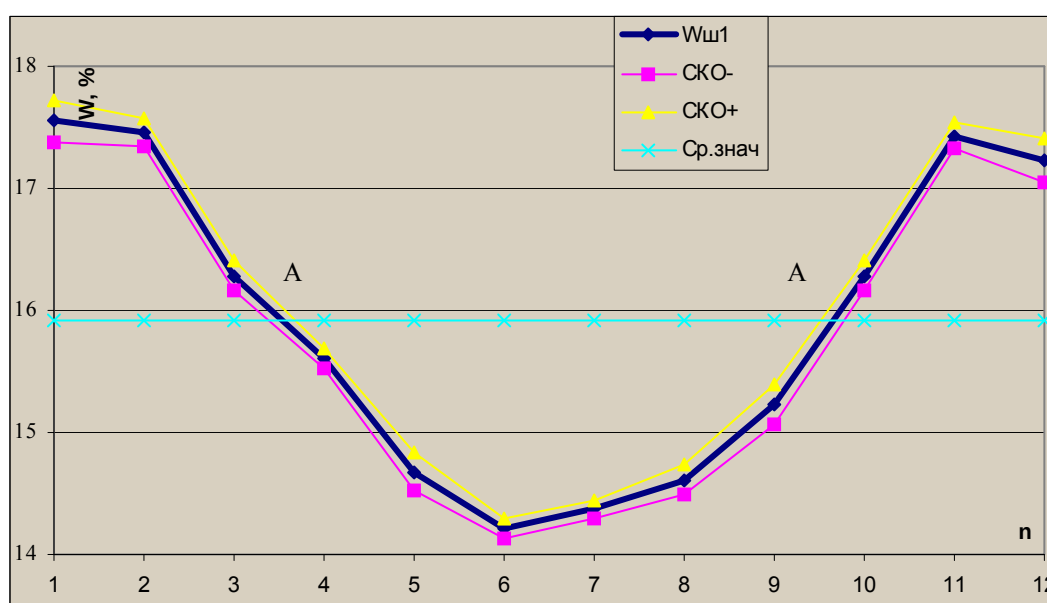


Рис. 3.7. Распределение влажности в зерносушилке ДСП при сушке пшеницы

Из рисунка 3.7 видно, что кривая распределения влажности потока зерна в шахте зерносушилки неравномерна, симметрична относительно центра (коро-

бов 5, 6, 7), разница во влажности между разными точками может составлять до 3.5 % влажности.

Если считать, что влажность зерна загружаемого в силос (загруженного в силос) после сушки равняется среднему значению влажности на выходе зерносушилки, то местом расположения датчиков являются точки пересечения кривой распределения влажности и линии среднего значения. Среднее значение влажности в горизонтальном сечении шахты зерносушилки, определяемое суммированием влажности в каждом коробе и делением на количество коробов, равняется 15.9 (%). Точки пересечения обозначены (А) на рисунке 3.7.

Результаты эксперимента по исследованию распределения влажности потока зерна в горизонтальном сечении зоны охлаждения зерносушилки между шахтами зерносушилки типа ДСП представлены на рис. 3.8., в Приложении В, таблица В.1.

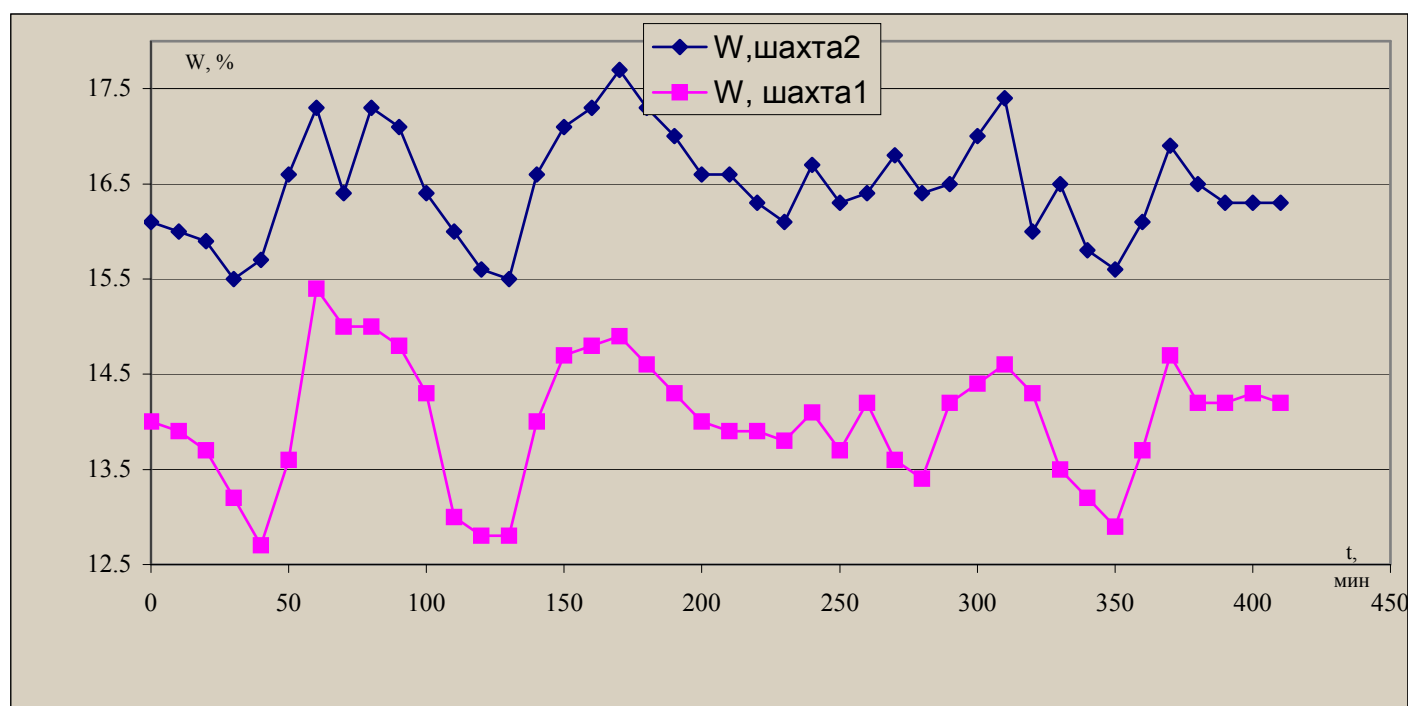


Рис. 3.8. Распределение влажности между шахтами ДСП-32 при сушке пшеницы.

Такие же показания наблюдались и на зерносушилках других предприятий (табл. 3.6.).

Таблица 3.6.

Распределение влажности между шахтами при сушке подсолнечника

Левая шахта зерносушилki		Правая шахта зерносушилki	
Среднее значение, %	СКО, %	Среднее значение, %	СКО, %
Ореховский комбинат хлебопродуктов (Запорожская область)			
7,8	0,7	6,9	0,6
Бузовский элеватор (Днепропетровская область)			
8,5	0,6	7,2	0,8
Новомиргородский элеватор (Кировоградская область)			
7,3	0,8	9,0	0,9

Диапазоны изменения влажности, зафиксированные при проведении испытаний, в полной мере отображают изменение влажности зерна на выходе зерносушилki.

3.3.2. Определение величины отклонения влажности потока зерна между шахтами сушилki шахтного типа ДСП-32 на выходе зоны охлаждения

Ниже представлено доказательство заданного отклонения выборки ΔW по формуле 3.26. с определенной вероятностью. Для выборки ΔW (Приложение В, таблица 3.6), гипотеза о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, проверяется при помощи двух составных критериев [89].

Критерий 1. Вычисляют отношение

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}| / (nS^*), \quad (3.27)$$

где S^* - смещенная оценка среднего квадратического отклонения –

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}, \quad (3.28)$$

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

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.29)$$

где n - количество наблюдений.

Результаты наблюдений считаются распределенными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \tilde{d} < d_{q_1/2} \quad (3.30)$$

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

Вычисляем $\tilde{d}$ по формуле (3.27): $\tilde{d} = 0,7798$. Выбрав уровень значимости $q_1 = 0,05$ при $n = 46$, находим $d_{0,05} = 0.8508$; $d_{0,95} = 0.7496$. Так как $0.7496 < 0.7798 < 0.8508$, то критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Можно считать, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, если не более 2 разностей $|x_i - \tilde{A}|$ превысили значение $z_{P/2}S$, где $z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности $P/2$; S – оценка среднего квадратического отклонения результата наблюдения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{(n-1)}}. \quad (3.31)$$

Принимаем уровень значимости $q_2=0.02$. Для $n=42$ и $q_2=0.02$ находим $P=0,99$ и $z_{P/2}=2,6$. Отсюда, $z_{P/2}S=2,6*0,2777=0,722$. Разность $|x_i - \tilde{A}|$ не превышает не одно значение, из данных таблицы В.1, Приложение В. Следовательно, критерий 2 выполняется.

Таким образом, гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений и следует определить вероятность попадания нормальной случайной величины ΔW в интервал (1, 3.5).

Так как уже определено, что величина ΔW распределена по нормальному закону, то вероятность того, она принимает значение в интервале (1, 3.5), рассчитывается в соответствии с выражением [90]:

$$P(1 \leq \Delta W \leq 3.5) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{3.5} e^{-(\Delta w - a)^2 / (2\sigma^2)} dx. \quad (3.32)$$

окончательно получаем

$$P(1 \leq \Delta W \leq 3.5) = \Phi\left(\frac{3.5 - a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{1 - a}{\sigma}\right), \quad (3.33)$$

где $P(\Delta W)$ – вероятность, $\Phi(\Delta W)$ – функция Лапласа, a – математическое ожидание; σ – среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (3.34)$$

Вероятность нахождения величины ΔW в интервале (1, 3.5) равна

$$P(1 \leq \Delta W \leq 3.5) = 0,94.$$

Выполненные исследования при сушке зерна в зерносушилке ДСП-32 показывают неравномерность распределения влажности потока зерна, что обуславливает установку измерительных преобразователей в обоих корпусах зерносушилки.

Выводы по разделу 3

Для повышения достоверности контроля влажности потока зерна в зерносушилках шахтного типа в результате исследований возмущающих воздействий на измерение влажности потока зерна в шахтной сушилке ДСП получены следующие результаты.

1. Суть научного результата.

1.1. На достоверность измерения влажности потока зерна в сушилке шахтного типа емкостным методом в высокочастотном диапазоне наиболее важными возмущающими воздействиями являются наименование зерновой культуры, температура зерна, неравномерность распределения влажности потока зерна в внутри шахты и между шахтами сушилки шахтного типа.

2. Новизна научного результата.

2.1 Усовершенствованы зависимости, которые связывают диэлектрическую проницаемость с влажностью, температурой зерна пшеницы и аппрокси-

мируются полиномами первой и второй степени регрессионной модели, которая адекватна по F – критерию на уровне значимости 0,05, при этом обеспечивается непрерывность значений параметров влажности и температуры, которые характеризуют процесс сушки. Это позволяет компенсировать влияние температуры и повысить количество качественно высушенного зерна, эффективность управления путем оперативного контроля влажности потока зерна в сушилке шахтного типа.

2.2. Впервые исследовано распределение влажности зерна в сечении шахт сушилки ДСП-32, выявлена неравномерность распределения влажности, наиболее близко описывается параболическим законом.

3. Достоверность научного результата

3.1. Показано, что зависимости диэлектрической проницаемости (в высокочастотном диапазоне) от температуры и влажности с вероятностью 0.95 аппроксимированы полиномами второй и первой степени.

3.2. Установлено, что распределение влажности потока зерна между шахтами прямоточной зерносушилки ДСП-32 находится в интервале от 1 до 3.5% с вероятностью 0.95.

4. Практическая значимость научного результата.

4.1. Разработан метод компенсации влияния температуры на диэлектрическую проницаемость зерна. Оценка точности компенсации влияния температуры в диапазоне от 10 до 50 °С показывает, что с вероятностью 0,84 абсолютная ошибка не превышает значения 0,15 (величина диэлектрической проницаемости)

4.2. По результатам исследований распределения влажности внутри сечения шахт сушилки для достоверного контроля влажности необходимо интегральное измерение влажности потока зерна несколькими измерительными преобразователями с усреднением результата. Для сушилки ДСП-32, где поток сушеного зерна разделен на две шахты, необходим контроль влажности в каждой шахте сушилки. Для одной шахты предложены места установки электродов датчика влажности, вблизи пересечения кривой распределения влажности и линии среднего значения.

РАЗДЕЛ 4

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУШКИ ЗЕРНА

Процесс внедрения результатов работы является органической частью реализации современных систем технологической автоматизации зерносушилок и включает в себя несколько стадий. Можно выделить следующие основные стадии: разработка концепции автоматизации шахтной зерносушилки определенного типа, разработка проектных решений по автоматизации отдельных функций в соответствии с концепцией его автоматизации, подготовка технической базы для внедрения, включая внедрение базовых средств автоматизации, и, собственно, внедрение результатов в промышленность. Полученные в работе научно-технические результаты находятся на различных стадиях внедрения и учитывают специфические условия конкретных объектов автоматизации, на которых они внедрены либо тех, где планируется внедрение.

Существует множество определений систем поддержки принятия решений, которые характерны для различных дисциплин и научных направлений [91]. В одном из определений, система поддержки принятия решений (ППР) определяется как «компьютерная информационная система [92], используемая для поддержки различных видов деятельности при принятии решений в ситуациях, где невозможно или нежелательно иметь автоматическую систему, которая полностью выполняет весь процесс решения». Из определения можно заключить, что система не заменяет человека, автоматизируя процедуру решения, а обеспечивает его различного рода помощью в ходе решения (слабоструктурированной) проблемы. В соответствии с определением [93], к слабо структурированным относятся проблемы, которые содержат как количественные, так и качественные переменные, причем качественные составляющие проблемы имеют

тенденцию доминировать. Неструктурированные проблемы имеют лишь качественное описание. Компонентами архитектуры системы ППР являются [94, 95, 96, 97, 98]: 1. База знаний (база данных); 2. Модель (аналитический аппарат, который проводит обработку информации и выполняет вычисления, формирует советы, их обоснования); 3. Интерфейс пользователя.

4.1. Принцип автоматизированной системы поддержки принятия решения по выбору режима сушки зерна

Характерной особенностью зерносушилок на каждом предприятии является наличие операторского помещения и лаборатории качества. В помещении оператора сходятся все управляемые и контролируемые сигналы штатной системы контроля состояния оборудования сушилки. Дискретные сигналы управления (включение/отключение) некоторыми исполнительными механизмами проходят через соответствующие посты управления. В результате имеет место топологическая концентрация контролирующих и управляющих сигналов в помещении оператора.

В помещении лаборатории качества при помощи лабораторного оборудования выполняется анализ проб зерна, отобранных из сушилки. Показания заносятся в журнал, сообщаются оператору зерносушилки для принятия решения о величине управляющих воздействий.

Данная особенность позволяет концептуально предложить для системы поддержки принятия решения два уровня. На верхнем уровне функциональной структуры выполняется подготовка (поддержка) принятия решения, обучение процедуре управления, вносятся данные лабораторных анализов, располагаются рабочие места инженера по знаниям, рабочие места ответственных за технологический процесс на предприятии. На нижнем уровне реализуется централизованное оперативное управление процессом сушки в режиме реального времени, возлагаются функции по интерактивному

(диалоговому) взаимодействию с оператором. Функциональная структура системы поддержки принятия решения представлена на рис.4.1.

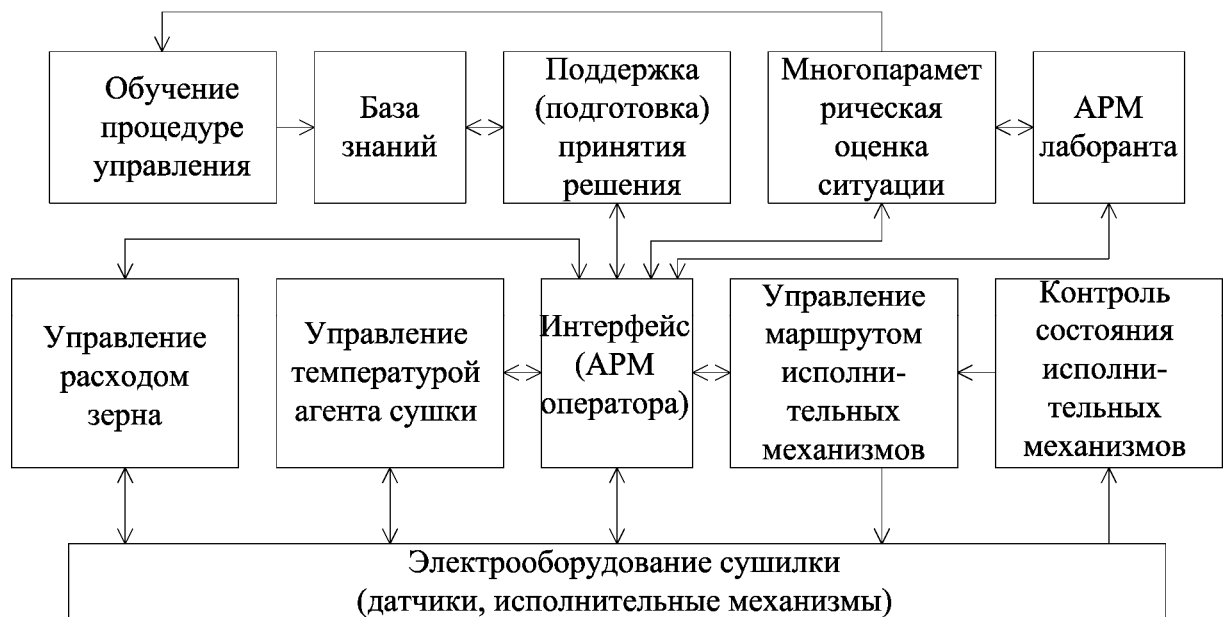


Рис. 4.1. Функциональная структура системы поддержки принятия решения по выбору режима сушки зерна.

Поддержка принятия решений обеспечивается при помощи системы специальных динамических информационных моделей [99] позволяющих оценивать текущие ситуации с возможностью выполнения анализа методом скорейшего пуска, от общего к частному, и получения в случае необходимости данных первичных документов. В системе реализован санкционированный доступ к информации. АРМы имеют возможность доступа к любой информации имеющей отношение к рассматриваемому вопросу (проблеме).

Структура комплекса технических средств по автоматизации принятия решения представлена на рис. 4.2.

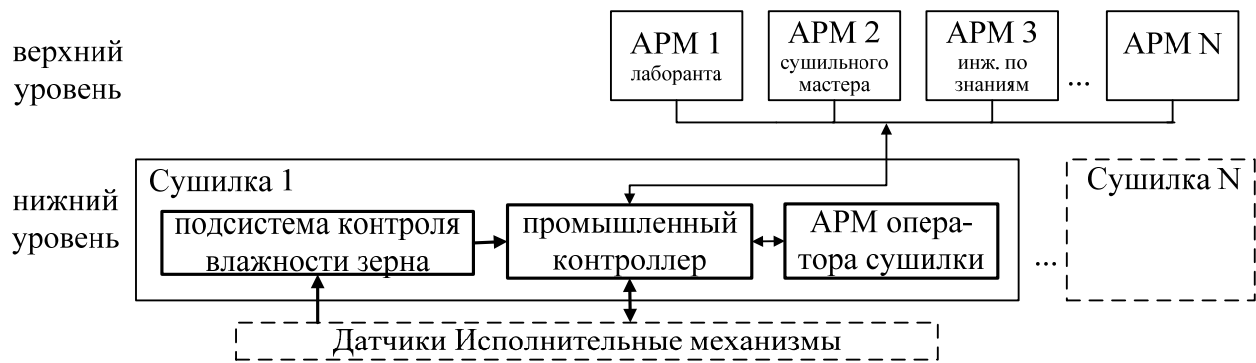


Рис. 4.2. Структура комплекса технических средств по автоматизации сушки зерна.

Нижний уровень комплекса технических средств содержит подсистему контроля технологических параметров (ПКТП), промышленный контроллер, устройство ввода-вывода реализующее автоматизированное рабочее место оператора. ПКТП измеряет технологические параметры процесса сушки: влажность потока зерна, температуру агента сушки в зоне 1, температуру агента сушки в зоне 2, температуру нагрева зерна, температуру зерна после сушки. Промышленный контроллер контролирует состояние, управляет исполнительными механизмами сушилки, выполняет команды оператора через устройство ввода-вывода.

Верхний уровень структуры комплекса технических средств содержит автоматизированные рабочие места ответственных исполнителей за технологический процесс сушки зерна. Основные функции верхнего уровня обучение и поддержка (подготовка) принятия решения по управлению сушкой зерна. Формализованные знания оператора сохраняются в базе знаний с оценкой результативности управления. Автоматизированное рабочее место (АРМ) лаборанта предназначено для введения показателей качества зерна со входа и выхода сушилки, ввода пороговых значений параметров, отображения значений параметров режима сушки. АРМ сушильного мастера (других ответственных исполнителей на предприятии) предназначено для контроля режима сушки, учета параметров сушки таких как расход топлива, расход зерна и др.

Схема автоматизации процесса управления влажностью потока зерна представлена на рис. 4.3.

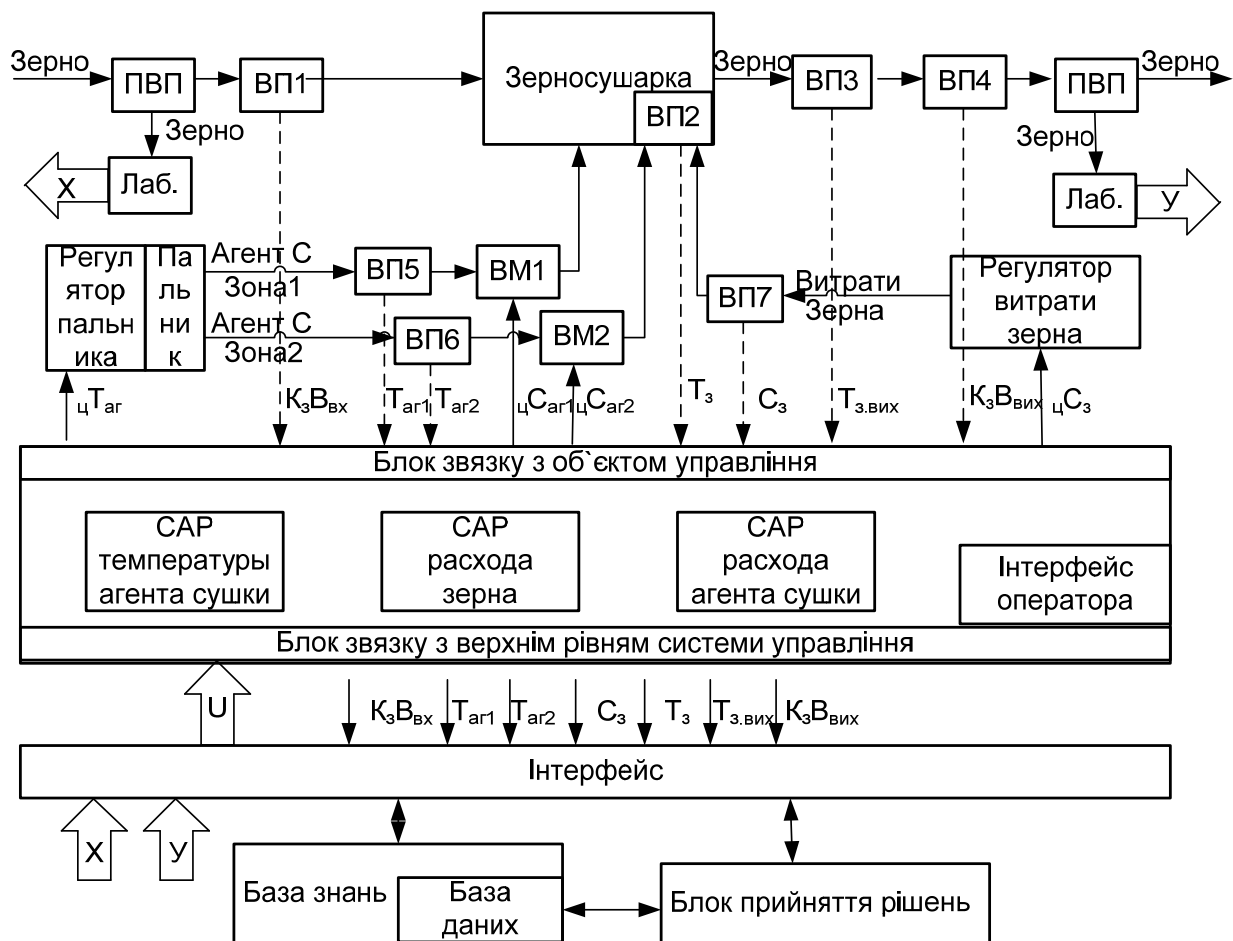


Рис. 4.3. Схема автоматизации сушки зерна в зерносушилке шахтного типа, где ПВП – прибор отбора пробы для лабораторного анализа, ВП – измерительное устройство, ВМ – исполнительный механизм, X – Множество параметров качества зерна на входе в сушилку, Y – множество параметров качества зерна после сушки, U – множество управляющих воздействий.

Разработанная схема автоматизации для заготовительного предприятия позволяет учитывать все возможные управляющие воздействия для алгоритмизации процедуры управления сушкой зерна в сушилках шахтного типа [100].

Программно-техническая реализация системы ППР сушки зерна является составной частью интегрированной системы управления предприятием. АРМы имеют возможность доступа к любой информации имеющей отношение к

рассматриваемому вопросу (проблеме). Так, например, в случае необходимости возможен оперативный просмотр данных сушки зерна (протоколы сушки зерна и др. документов за любой период времени). Основным достоинством интегрированной АСУ, в сравнении с автономными АСУ технологическим процессом и АСУ предприятием, является, возникающая как следствие интеграции, возможность использования общесистемных факторов. Например, определение текущей рентабельности производства за любой период времени, что возможно только в интегрированной АСУ при наличии соответствующей информации от всех звеньев АСУ технологическим процессом и АСУ предприятием [101].

4.1.1. Разработка алгоритма, структуры базы знаний

Алгоритм для выбора режима сушки из базы знаний системы ППР сушки зерна представлен на рис.4.4. Вначале оператор выполняет ручной ввод значений параметров зерна поступающего для сушки (возмущающие параметры, наиболее важными являются: культура, влажность и температура зерна до сушки, температура, влажность окружающей среды, качество клейковины и т.д.) и значения параметров зерна ожидаемых после сушки (целевые параметры, наиболее важными являются: влажность после сушки, температура нагрева зерна и т.д.). Оператор выполняет ручной ввод нижнего значения оценки эффективности в числовом или лингвистическом представлении. Сформированный запрос отправляется в базу знаний. Ответ на сформированный запрос приходит в виде продукции с оценкой эффективности равной и выше введенной. После выбора одной наилучшей продукции оператору предоставляется значения управляющих параметров режима сушки. Если в базе знаний нет продукции, удовлетворяющей запросу, то переходим к завершению алгоритма (см. рис. 4.4).

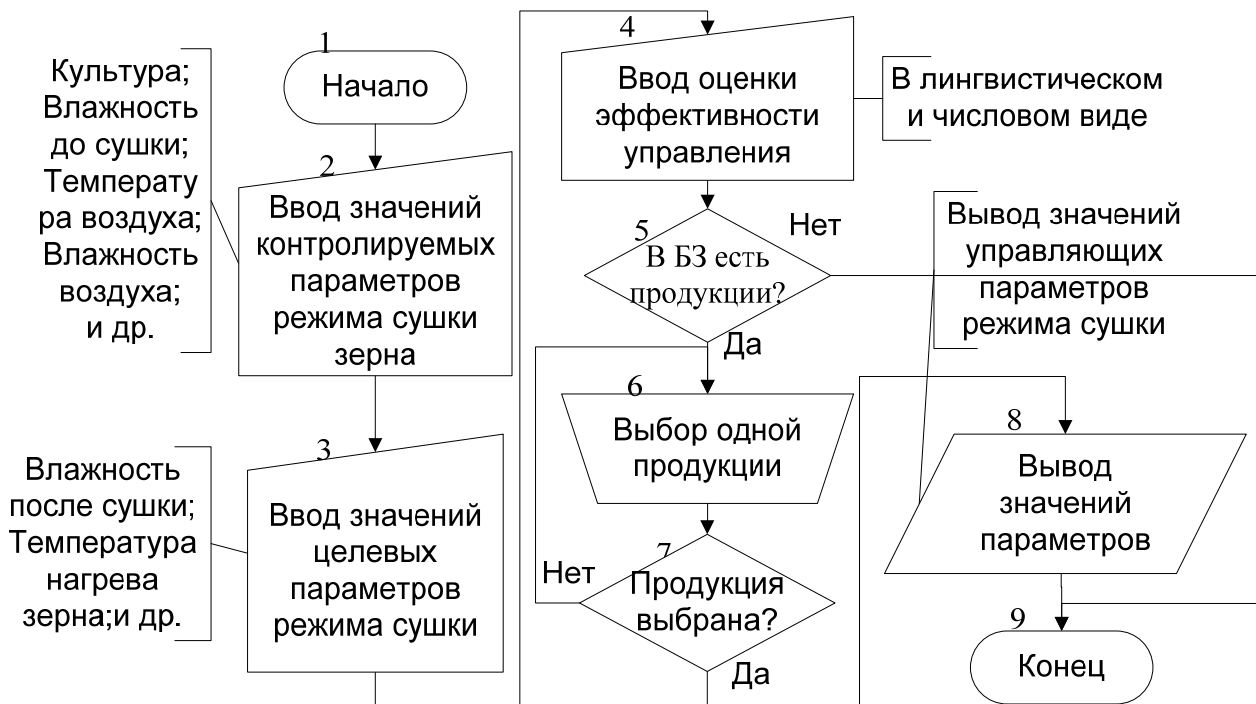


Рис. 4.4. Алгоритм процедуры выбора оператором режима сушки (продукции) из базы знаний

Разработанный алгоритм процедуры выбора режима сушки за счет использования оценки эффективности управления в лингвистическом и числовом представлении сокращает время поиска.

Структурированное представление ситуации преобразуются в специальные языки представления знаний, удобные для организации машинных процедур. В языке представления знаний, используемых в настоящее время, основная единица – слот. Для упорядочивания информации, хранящейся в отдельных слотах, применяется более крупная структурная единица – фрейм. Каждый фрейм такая структура, которая при том или ином заполнении слотов значениями превращается в описание конкретного процесса сушки [46]. Пример фреймовой структуры представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Представление модели процесса сушки зерна в виде фрейма

№	Обозначение слота	Имя слота	Имена атрибутов
1.	КУ	Зерновая культура (согласно ГОСТ)	{<Наименование, ГОСТ> <класс> <назначение>}
2.	Пкз1	Параметры качества партии зерна до сушки (согласно ГОСТ)	$K_3 KO, K_3 H, K_3 Zan, K_3 ПЗ, K_3 ПС, K_3 В$

№	Обозначение слота	Имя слота	Имена атрибутов
3.	Цку	Целевые параметры качества (ГОСТ) после процесса сушки зерна (ПСЗ)	$W_{вых.ц}, K_з K_ц, ДХ,$ $K_з KO_ц, K_з H_ц, K_з Зап_ц, K_з ПЗ_ц, K_з ПС_ц$
4.	Ц	Целевые величины (ограничения) параметров для процесса сушки зерна (инструкция)	$T_{аг.1.ц}, T_{аг.2.ц}, T_{з.ц}, T_{з.вых.ц}$ $огр T_{аг.1}, огр T_{аг.2}, огр T_{з}, огр T_{з.вых}$
5.	отклЦ = {1...i};	Допустимые отклонения параметров от целевых величин в виде функции принадлежности с лингвистической оценкой. (задается ответственным за качество зерна)	$откл W_{вых}, откл K_з K, откл K_з KO, откл T_{з.}, откл T_{з.вых},$ $откл K_з KO, откл K_з Зап, откл K_з H, откл K_з ПЗ$
6.	Пт = {s 1...j; u 1...k}	Параметры технологические для ПСЗ (среднее арифметическое)	$T_{аг.1.суш}, T_{аг.2.суш}, T_{з.суш}, T_{з.вых.суш}, T_{воз.суш},$ $T_{вх.суш}, C_{з.суш}, P_т, У$
7.	Пкз2 = {s 1...j}	Параметры качества зерна для ПСЗ (среднее арифметическое)	$W_{вх.суш}, W_{вых.суш}, K_з K_{суш}, K_з KO_{суш}, K_з H_{суш},$ $K_з ПЗ_{суш}, K_з ПС_{суш}, K_з B_{суш}$
8.	Оц = {1...m}	Лингвистические оценки ситуаций (Показатель качества) ПСЗ	{<Отлично> <Хорошо> <Удовлетворительно> <Неудовлетворительно>}
9.	Сит = {x 1...z}	Ситуации ПСЗ	Множество состояний, полностью описывающее состояние системы в данный момент времени.

Пример структуры представления ситуации процесса сушки в сушилке ДСП-32 в виде продукции представлена ниже.

Если [тип зерносушилки < прямоточная ДСП-32>; культура<Пшеница>, назначение после сушки <хранение до 1 года>];

[качество зерна до сушки: начальная влажность зерна < 18 %>, качество клейковины <от 45 до 75 единиц ИДК>, качество/состояние оболочек зерна<норма>, цвет зерна <норма>, запах зерна<запах не ощущается, норма>, зараженность<норма>, примесь сорная <до 5%>, примесь зерновая <до 5%>, натура<765 г/л>, температура зерна<20 °C>];

[целевые значения технологических параметров: граничная температура нагрева зерна <50 °C>; граничная температура агента сушки при двухступенчатом режиме зона 1 <130 °C>, зона 2 <150 °C>;

целевые значения качества зерна после сушки: влажность на выходе $< 14\% \leq (K_3 V_{\text{вых}})_{\text{ц}} \leq 15\% >$, качество/состояние оболочек зерна<норма>, цвет зерна<норма>, запах зерна<запах не ощущается, норма>, зараженность<норма>, примесь сорная <до 5%>, примесь зерновая <до 5%>, натура<765 г/л>, температура зерна<20 °C>].

То управляющие воздействия: [температура нагрева зерна <50 °C>; температура агента сушки при двухступенчатом режиме зона 1 <130 °C>, зона 2 <150 °C>; расход зерна < «малый» от 10%(50сек) до 80%(180 сек)>].

Для эффективного режима сушки, правильного выбора режима необходим достоверный контроль, периодическое сохранение в базе данных параметров процесса сушки. Влажность потока зерна является наиболее важным для эффективного управления процессом сушки.

4.2. Принцип подсистемы контроля влажности потока зерна

Целью создания подсистемы является повышение оперативности контроля влажности потока зерна, температуры зерна, агента сушки в зерносушилках шахтного типа. Назначением системы является вычисление влажности потока зерна на основании диэлектрической проницаемости и температуры потока зерна, измерение температуры.

К общесистемным требованиям относится требование по разработке подсистемы для применения в зерносушилках шахтного типа, получивших наибольшее распространение на территории Украины; требование обеспечения долговременной стабильности измеряемого параметра; обеспечения интерфейса с оператором зерносушилki, осуществляющим управление технологическим процессом сушки зерна, а также с верхним уровнем автоматизированной системы поддержки принятия решения сушки зерна для сохранения параметров технологического процесса сушки в базе данных.

4.2.1. Разработка подсистемы контроля влажности потока зерна

Ниже представлена разработанная функциональная схема подсистемы контроля технологических параметров (в том числе влажности) для зерносушилок.

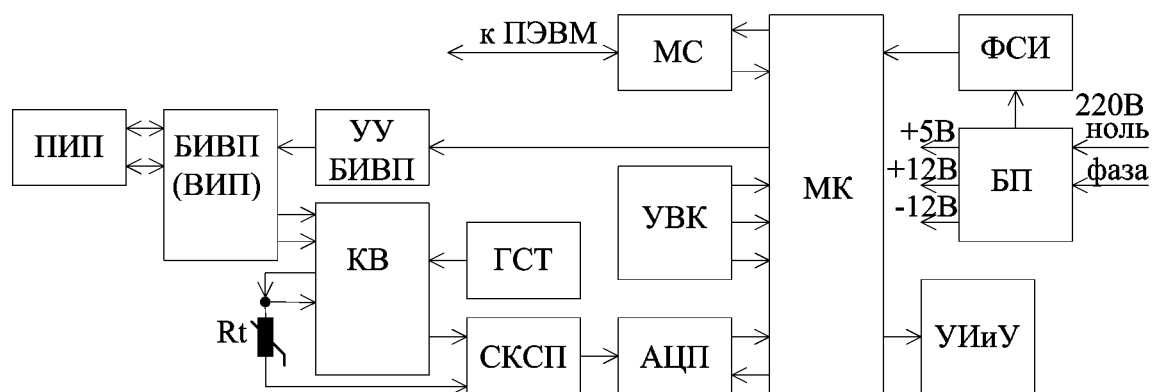


Рис. 4.5. Функциональная схема подсистемы контроля технологических параметров:

МК-микроконтроллер; БП-блок питания; ФСИ-формирователь синхронизирующих импульсов; УИиУ-узел индикации и управления; МС-модуль связи с ПЭВМ; КВ-коммутатор входов; ГСТ-генератор стабильного тока; СКСП-схема компенсации сопротивления проводов; АЦП-аналого-цифровой преобразователь; УУ БИВП –узел управления блоком измерения влажности; БИВП(ВИП)-блок измерения влажности(вторичный преобразователь); ПИП-первичный измерительный преобразователь (влажности и температуры).

Микроконтроллер (МК) управляет работой подсистемы контроля влажности, в соответствии с прикладным программным обеспечением, записанным в постоянном запоминающем устройстве. В электронном перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве МК хранятся параметры настройки, которые могут быть изменены в процессе эксплуатации прибора. Прикладное программное обеспечение реализовано с использованием системы прерываний. Блок питания обеспечивает питание схемы стабилизированными напряжениями +5В, +12В, -12В, а также питание блока измерения влажности нестабилизированным напряжением 18В. Формирователь синхронизирующих импульсов формирует короткие импульсы положительной

полярности, привязанные к началу каждого полупериода сетевого напряжения. Коммутатор (КВ), управляемый МК поочередно подключает канал измерения емкости, канал измерения температуры зерна к измерительной схеме. Генератор стабильного тока питает цепь измерения температуры стабильным током, не зависящим от её сопротивления. Аналого-цифровой преобразователь выполнен по схеме двойного интегрирования с автоматической коррекцией нуля и работает под управлением МК. Для повышения помехоустойчивости и стабильности результатов измерения запуск АЦП синхронизируется с фазой сетевого напряжения. Узел ввода команд осуществляет ввод команд оператором. Узел индикации и управления выполняет вывод информации на светодиодные индикаторы интерфейса оператора. Модуль связи обеспечивает передачу информации в последовательном коде через гальваническую развязку из линии связи к МК и обратно.

Устройство управления блоком измерения влажности управляет работой блока измерения влажности (включение режимов измерения и калибровки). Блок измерения влажности потока зерна представляет собой преобразователь емкость-напряжение, реализующий диэлектрический метод измерения влажности.

Подсистема контроля влажности потока зерна (вторичный измерительный преобразователь) имеет следующие функциональные возможности: 1) подключение двух измерительных электродов датчика влажности, что позволяет измерить среднее значение влажности. 2) удаление вычислительного блока от измерительного электрода на 1,5 – 2 метра, что снижает возможность выхода из строя из-за перегрева при возгорании сушилки; 3) компенсация паразитных емкостей соединительных кабелей и измерительных электродов; 4) периодическая калибровка «нуля» и коэффициента передачи измерительного канала выполняется автоматически, что исключает их влияние на достоверность измерения влажности потока зерна. 5) Измерение температуры зерна непосредственно в зоне измерения влажности,

что обеспечивает коррекцию результатов измерения влажности в широком температурном диапазоне;

Конструктивно разрабатываемая подсистема контроля влажности потока зерна содержит измерительный преобразователь (электрод), устанавливаемый в корпусе зерносушилки и вычислительный блок, устанавливаемый на общем пульте управления процессом сушки. Расстояние между измерительным преобразователем и вычислительным блоком может составлять до нескольких десятков метров. Структурная схема предполагает, чтобы одна часть подсистемы (датчики с измерительным преобразователем) располагалась в корпусе зерносушилки и обеспечивала преобразование измеряемых величин – влажности и температуры зерна – в электрические сигналы, передаваемые для вычисления параметров, в другую часть системы - вычислительный блок по проводам.

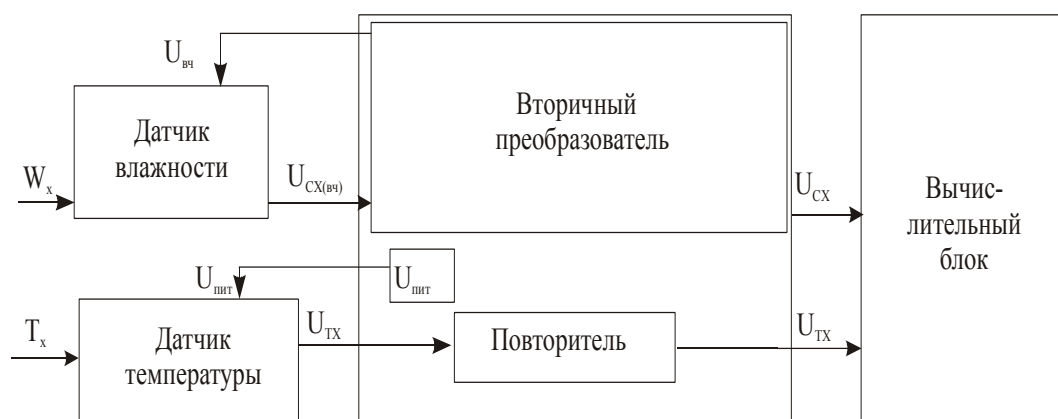


Рис. 4.6. Схема структуры автоматизированной подсистемы контроля влажности потока зерна

Вторичный измерительный преобразователь обеспечивает питание датчиков емкости и температуры, выделение информационного сигнала, передачу информационных сигналов на вычислительный блок.

Вычислительный блок должен осуществлять аналого-цифровое преобразование, математическую обработку поступающих электрических сигналов с целью вычисления параметров влажности и температуры зерна,

интерфейс с оператором зерносушилки и верхним уровнем системы поддержки принятия решения.

Сигналы с измерительного преобразователя поступают на каналы коммутатора, который по команде микроконтроллера подключает соответствующий канал коммутатора (информационный сигнал с датчика) ко входу аналого-цифрового преобразователя. Дискретный сигнал (двоичный код) с аналого-цифрового преобразователя по шине данных поступает в микроконтроллер, вычисляющий параметры температуры и влажности зерна. Влажность зерна вычисляется согласно зависимостям на данную зерновую культуру (приведены в разделе 3). Полученные параметры сохраняются в памяти откуда они передаются на индикатор и схему преобразования интерфейсов для передачи данных в автоматизированную систему поддержки принятия решения.

Размещение высокочастотной части электрической схемы (вторичный измерительный преобразователь) в непосредственной близости от датчика и её характеристики позволяют обеспечить практически неограниченное удаление измерительного преобразователя от места установки первичного преобразователя и отсутствие необходимости подгонки под длину кабеля после монтажа оборудования.

Вычислительный блок, выполняет следующие функции:

- индикация влажности сыпучего материала в данный момент времени;
- преобразование аналогового сигнала измерительного преобразователя (ИП) в показание влажности;
- управление измерительным преобразованием;
- передача показаний системы контроля влажности в линию связи.

ИП – измерительный преобразователь, выполняющий следующие функции:

- питание измерительного электрода датчика влажности сыпучих материалов высокочастотным электрическим сигналом;

- преобразование высокочастотного сигнала датчика в аналоговый сигнал.

Датчик влажности сыпучих материалов служит первичным преобразователем влажности потока сыпучего материала в электрический сигнал.

Принцип работы системы контроля влажности основан на измерении приращении емкости преобразователя конденсатора, сквозь который сыпется поток зерна. Увеличение влажности зерна приводит к росту диэлектрической проницаемости и вызывает соответствующее возрастание электрической емкости преобразователя, измеряемой электрической схемой прибора. Каждому значению влажности зерна данной культуры соответствует вполне определенное приращение электрической емкости преобразователя. Система индицирует результаты измерения непосредственно в процентах влажности зерна пшеницы, ржи, кукурузы, подсолнечника.

Электрическая схема измерительного преобразователя содержит схему высокочастотного генератора, схему детектора, усилителя заряда, образцовую емкость, выпрямитель. Высокочастотный генератор работает на частоте 1,5 МГц. На выходе схемы (после выпрямителя) формируется постоянное напряжение, определяемое величиной приращения электрической емкости преобразователя.

Электрическая схема преобразователя содержит трансформатор, стабилизатор, аналого-цифровой преобразователь, индикатор, микроконтроллер. Трансформатор и стабилизатор вырабатывают ряд напряжений для работы схем преобразователей. В преобразователе аналого-цифровом аналоговый сигнал преобразуется в двоичный код, который поступает в микроконтроллер, выполняющий преобразования. Значения влажности и температуры высвечиваются на индикаторе с дискретностью 0,1 (% , °C).

Экспериментальный прибор контроля технологических параметров сушки зерна (рис. 4.7.) индикаторного типа применяется для оперативного

контроля параметров влажности и температуры [67, 68, 102], использует зависимости, полученные в разделе 3.

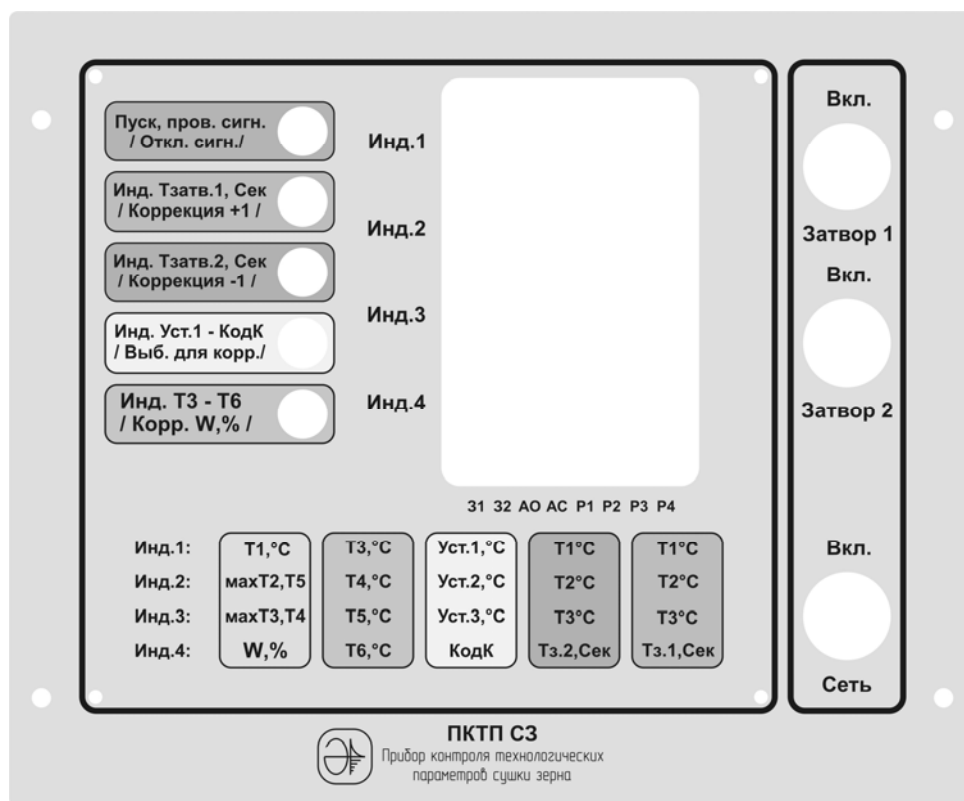


Рис.4.7. Внешний вид лицевой панели

4.2.2. Разработка преобразователя влажности сыпучих материалов

Используется датчик влажности сыпучих материалов, содержащий измерительный электрод, который проводит электрический ток имеет держатель, изолирующую пластину с охранными электродами, которая закреплена между измерительным электродом и держателем [103]. На рис 4.8 показана общая схема датчика влажности.

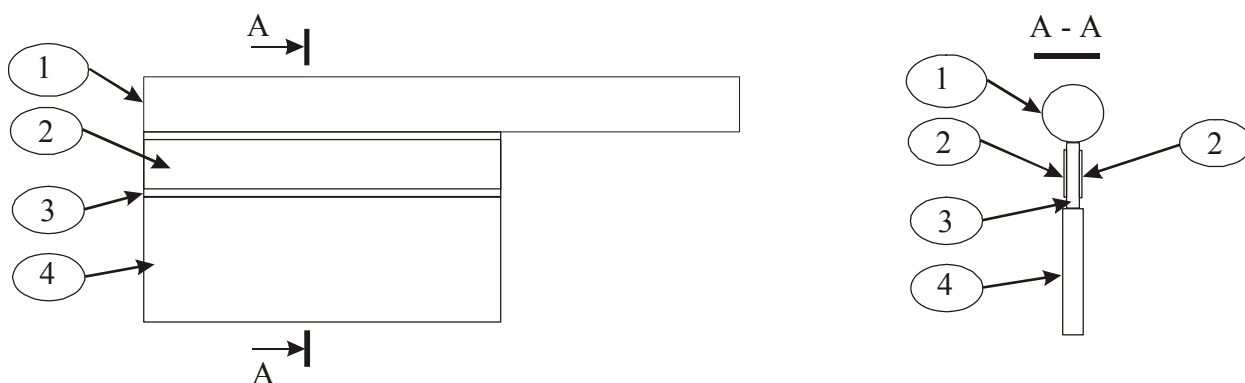


Рис 4.8. Схема датчика влажности сыпучих материалов в потоке:

1- держатель; 2 - охранные электроды; 3 - изолирующая пластина; 4 - измерительный электрод.

Датчик влажности сыпучих материалов в потоке состоит из измерительного электрода (4), что изготовлен из материала, который проводит ток, держателя (1), изолирующей пластины (3), изготовленной из диэлектрика, охранных электродов (2). Причем, изолирующая пластина (3) с охранными электродами (2) полностью разделяет держатель (1) и измерительный электрод (4).

Датчик работает следующим образом: с помощью измерительного электрода (4) происходит первичное измерительное преобразование неэлектрической величины влажности сыпучего материала в электрический параметр. Изолирующая пластина (3) с охранными электродами (2) предназначенная для уменьшения влияния держателя (1) на результат измерения. Держатель (1) предназначен для крепления измерительного электрода (4), размещения его в середине потока сыпучего материала. Причем, на охранные электроды (2) подается высокочастотный сигнал, который равен сигналу на измерительном электроде (4), что исключает влияние держателя (1) на результат измерения влажности.

К недостаткам датчика влажности сыпучих материалов относится влияние паразитных емкостей проводов, которые подводят к преобразователю; влияние активной составляющей сопротивления сыпучего материала в потоке, которая снижает точность измерений; низкая надежность при пожаре.

В основу разработки преобразователя поставлена задача повышения достоверности параметра влажности сыпучих материалов в потоке уменьшения влияния емкости проводов, которые подводят к преобразователю и активной составляющей сопротивления сыпучего материала в потоке, и за счет этого повышение степени достоверности измерения.

Задача решается следующим образом. Датчик влажности сыпучих материалов в потоке состоит из измерительного электрода проводящего ток, держателя и изолирующей пластины с охранными электродами. Между измерительным электродом и держателем имеется вторичный преобразователь (см. рис. 4.9.), который содержит генератор синусоидального сигнала, связанный с управляемым фазовращателем и трансформатором, который, в свою очередь, соединен с двумя идентичными каналами, каждый из которых включает последовательно соединенные усилитель заряда, фазочувствительный выпрямитель (ФВ), фильтр низких частот (ФНЧ). Выход первого канала соединен с управляемым фазовращателем, выход которого соединен с фазочувствительными выпрямителями обоих каналов, а трансформатор последовательно соединен с измерительным и охранными электродами экранированным проводом [104, 105].

Первичный преобразователь

Вторичный преобразователь

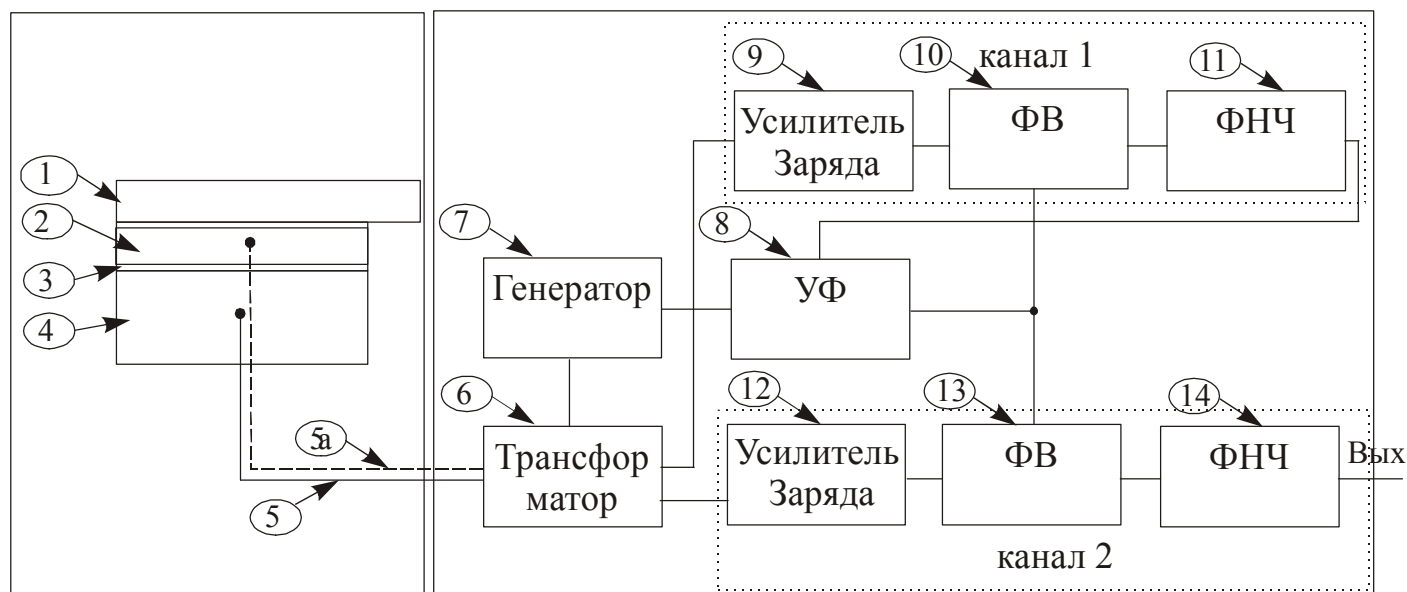


Рис.4.9. Схема функциональная преобразователя влажности сыпучих

материалов в потоке,

где УФ - управляемый фазовращатель; ФВ - фазочувствительный выпрямитель; ФНЧ - фильтр низких частот.

Датчик влажности сыпучих материалов в потоке состоит из первичного преобразователя, который содержит измерительный электрод (4) из материала, проводящего ток, держателя (1), и изолирующей пластины (3) с охранительными электродами (2) между измерительным электродом (4) и держателем (1). Вторичный преобразователь содержит генератор синусоидального сигнала (7), связанный с управляемым фазовращателем (8) и трансформатором (6), который, в свою очередь, соединен с двумя идентичными каналами. Любой из них включает последовательно соединенные усилитель заряда (9, 12), фазочувствительный выпрямитель (10, 13), фильтр низких частот (11, 14). При этом выход первого канала соединен с управляемым фазовращателем (8), выход которого соединен с фазочувствительными выпрямителями (10, 13) обоих каналов, а трансформатор (6) соединен с измерительным (4) и охранительными (2) электродами экранированным проводом (5, 5а).

Преобразователь работает следующим образом: генератор (7) через трансформатор (6) создает переменное напряжение на измерительном (4) и

охранных (2) электродах. Емкостный ток измерительного электрода (4), пропорциональный измеренной емкости превратится усилителем заряда (12) в переменное напряжение, которое выпрямляется ФВ (13), сглаживается ФНЧ (14) и служит выходным сигналом датчика.

Наличие равного по величине напряжения на экране (5а) (охранном электроде(2)) и экранированном проводе (5) (измерительный электрод (4)) сводит к минимуму влияние паразитных емкостей проводов, которые подводят, и влияние держателя (1) на результат измерения влажности потока материала. ФВ (10) подавляет активную составляющую входного сигнала, обусловленную наличием активного сопротивления сыпучего материала. Канал 1 и управляющий фазовращатель (8) образуют отрицательную обратную связь по фазе, которая обеспечивает стабилизацию фазового сдвига на управляющем входе ФВ (13) канала 2.

На примере зерносушилок шахтного типа существует проблема сложности сопряжения датчика влажности в потоке с конструкцией сушильной камеры. Известные датчики размещают вне сушильной камеры зерносушилки, что снижает достоверность измерения параметра влажности потока сыпучего материала. Проблема решается размещением датчика как показано на рис. 4.10.

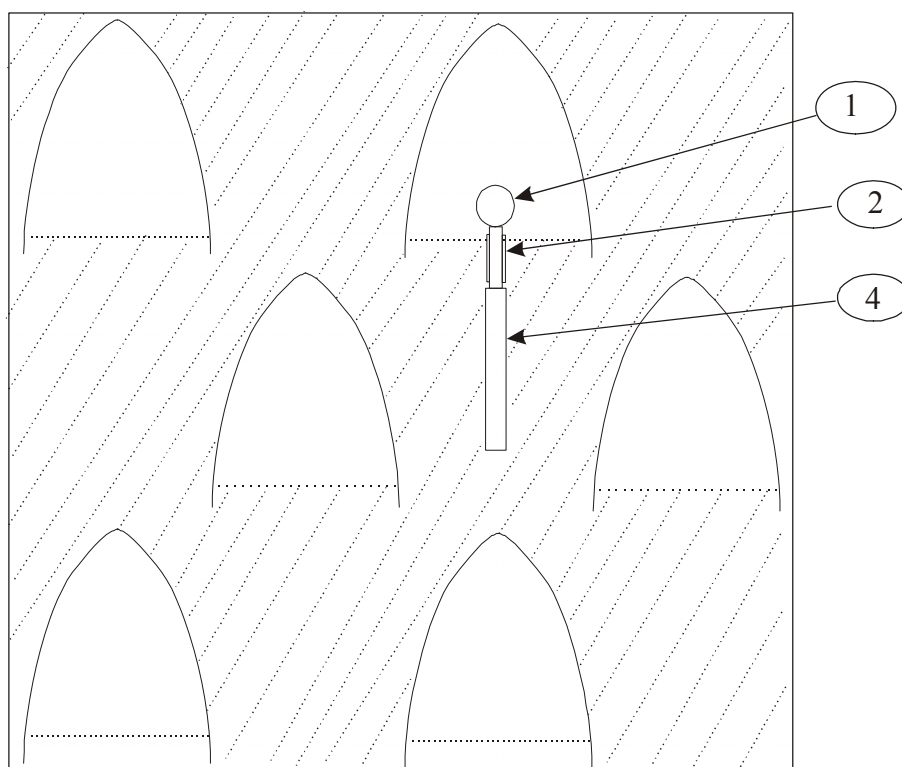


Рис 4.10. Расположение датчика влажности сыпучих материалов в сушильной шахте

С целью повышения точности измерения параметра влажности сыпучего материала измерительный электрод (4) датчика может быть расположен в середине зерносушилки. При этом корoba зерносушилki используются как корпус измерительной ячейки, которая обеспечивает постоянство плотности потока зерна вокруг измерительного электрода (4). В результате исключается влияние плотности потока зерна на результат измерения параметра влажности.

С целью повышения достоверности показателя влажности, держатель (1) может быть расположен в середине корoba выше уровня зерна, что уменьшает вероятность накопления посторонних предметов (остатки растений, камни и т.п.), которые вносят погрешность в результат измерения влажности потока сыпучего материала.

Разработанные электроды имеют нижеперечисленные функциональные возможности. Специальная конструкция измерительных электродов исключает возможность «зависания» зерна и посторонних предметов в межэлектродном

промежутке. Размещение измерительных электродов в зоне воздушных коробов обеспечивает постоянство плотности заполнения зерном междуэлектродного промежутка.

4.3. Анализ результатов опытной эксплуатации подсистемы контроля влажности потока зерна для зерносушилок шахтного типа

4.3.1. Оценка достоверности измерения влажности потока зерна подсистемой контроля влажности потока зерна

Экспериментальное исследование автоматизированной подсистемы контроля влажности (ПКВ) зерна в потоке проводилось на шахтной зерносушилке ДСП-32 Ореховского комбината хлебопродуктов. Датчик влажности (ПКВ) устанавливался в зоне охлаждения зерносушилки над затворной рамой.

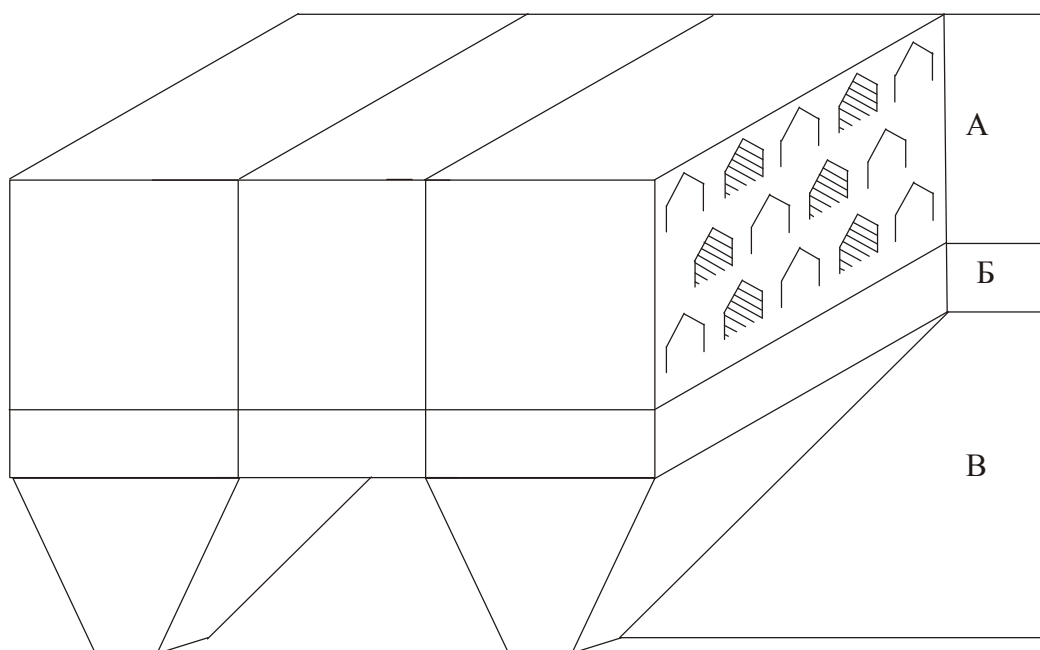


Рис. 4.11 Схема нижней части шахтной зерносушилки ДСП-32
где А – зона охлаждения; Б – затворная рама; В – бункер.

Пробы зерна, для измерения влажности в лабораторных условиях образцовым методом (Лаб), брались на выходе шахт зерносушилки. За образцовый метод принят метод высушивания до постоянного веса [13].

Результаты промышленного испытания подсистемы контроля влажности в шахтной сушилке представлены на рисунке 4.12., где Влажность (K_3V (ПКВ)) – показания влажности зерна, полученные подсистемой контроля влажности зерна, Влажность (K_3V (Лаб)) – показания влажности зерна, полученные в лабораторных условиях.

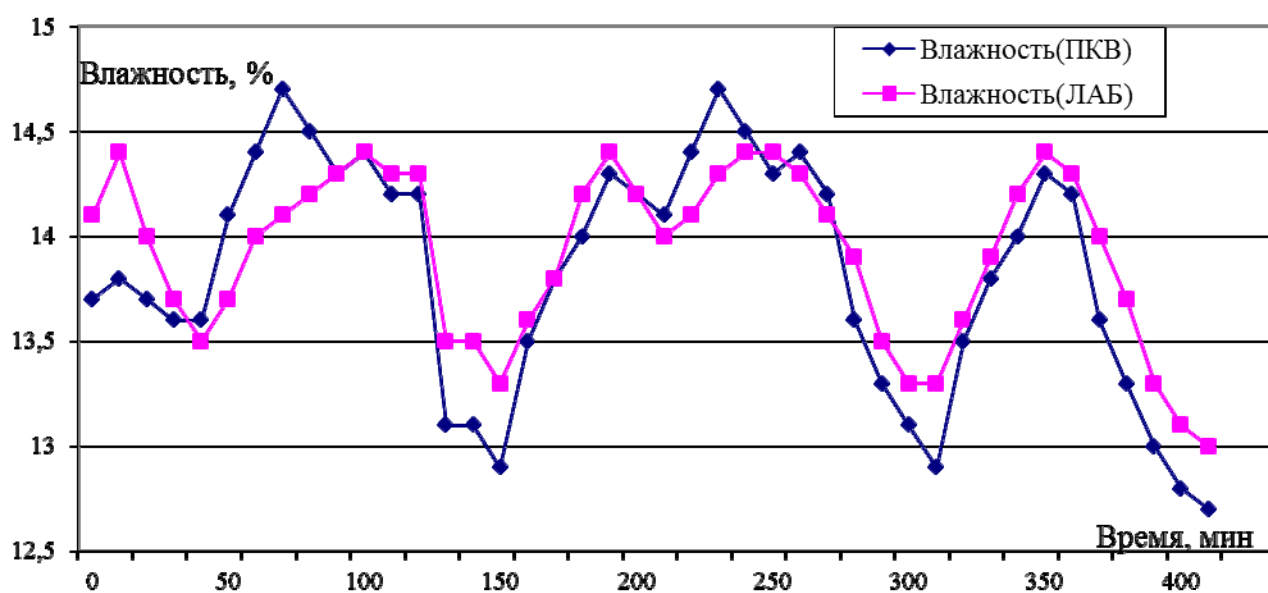


Рис. 4.12. Оценка ошибки измерения влажности потока зерна в сравнении с лабораторным (образцовым) методом

Для выполнения анализа экспериментальных данных в числовом виде результаты представлены в таблице 4.2.

Для определения достоверности измерения влажности потока зерна или нахождения возможной ошибки подсистемы контроля влажности через вероятность заданного отклонения необходимо доказать, что выборка ΔK_3V принадлежит нормальному распределению [68, 102].

$$\Delta K_3V = K_3V (\text{ПКВ}) - K_3V (\text{Лаб}) \quad (4.1)$$

Таблица 4.2

Сопоставление во времени результатов измерения влажности потока зерна

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
t, мин	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
W _{ВПЗ} , %	13.7	13.8	13.7	13.6	13.6	14.1	14.4	14.7	14.5	14.3	14.4	14.2	14.2	13.1	13.1	12.9	13.5	13.8	14	14.3	14.2
W _{Лаб} , %	14.1	14.4	14	13.7	13.5	13.7	14	14.1	14.2	14.3	14.4	14.3	14.3	13.5	13.5	13.3	13.6	13.8	14.2	14.4	14.2
ΔW, %	-0.4	-0.6	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.4	0.6	0.3	0	0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	0	-0.2	-0.1	0
№ п/п	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
T, мин	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410
W _{ВПЗ} , %	14.1	14.4	14.7	14.5	14.3	14.4	14.2	13.6	13.3	13.1	12.9	13.5	13.8	14	14.3	14.2	13.6	13.3	13	12.8	12.7
W _{Лаб} , %	14	14.1	14.3	14.4	14.4	14.3	14.1	13.9	13.5	13.3	13.3	13.6	13.9	14.2	14.4	14.3	14	13.7	13.3	13.1	13
ΔW, %	0.1	0.3	0.4	0.1	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3

Для выборки ΔK₃B гипотеза о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, проверяется при помощи двух составных критериев [89].

Критерий 1. Вычисляют отношение

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}| / (nS^*), \quad (4.2)$$

где S* - смещенная оценка среднего квадратического отклонения

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}, \quad (4.3)$$

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

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4.4)$$

n - количество наблюдений.

Результаты наблюдений считаются распределенными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \tilde{d} < d_{q_1/2} \quad (4.5)$$

где $d_{1-q_1/2}, d_{q_1/2}$ - квантили распределения;

q₁ – заранее выбранный уровень значимости критерия.

Вычисляем d по формуле (4.2): d = 0,7798. Выбрав уровень значимости q₁ = 0,05 при n = 46, находим d_{0,05} = 0.8508; d_{0,95} = 0.7496. Так как 0.7496 < 0.7798 < 0.8508, то критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Можно считать, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, если не более 2 разностей $|x_i - \tilde{A}|$ превысили значение $z_{P/2}S$, где $z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности $P/2$; S - оценка среднего квадратического отклонения результата наблюдения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{(n-1)}}. \quad (4.6)$$

Принимаем уровень значимости $q_2=0.02$. Для $n=42$ и $q_2=0.02$ находим $P=0,99$ и $z_{P/2}=2,6$. Отсюда, $z_{P/2}S=2,6*0,2777=0,722$. Разность $|x_i - \tilde{A}|$ не превышает не одно значение, из данных таблицы 4.2. Следовательно, критерий 2 выполняется.

Таким образом, гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений.

Для определения вероятности отклонения показаний подсистемы контроля влажности не превышающих ± 0.5 (%) от среднего арифметического ($\tilde{A}$), определим вероятность заданного отклонения нормально распределенной случайной величины по абсолютной величине в соответствии с формулой [90]:

$$P(|X| < 0.5) = 2\Phi(0.5 / \sigma), \quad (4.7)$$

где $P(X)$ – вероятность, $\Phi(X)$ – функция Лапласа, σ - среднее квадратическое отклонение нормального распределения

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (4.8)$$

Вероятность отклонения (4.7), $P(|X| < 0.5) = 0,94$. Ошибка измерения влажности потока зерна разработанной автоматизированной подсистемой контроля влажности не превышает 0.5% с вероятностью 0.94.

4.3.2 Оценка экономической эффективности полученных научно-технических решений

Применение подсистемы контроля влажности при сушке различных культур на шахтной зерносушилке Ореховского КХП позволило оператору адекватно управлять температурой агента сушки [68, 102], что видно из рис.4.13.

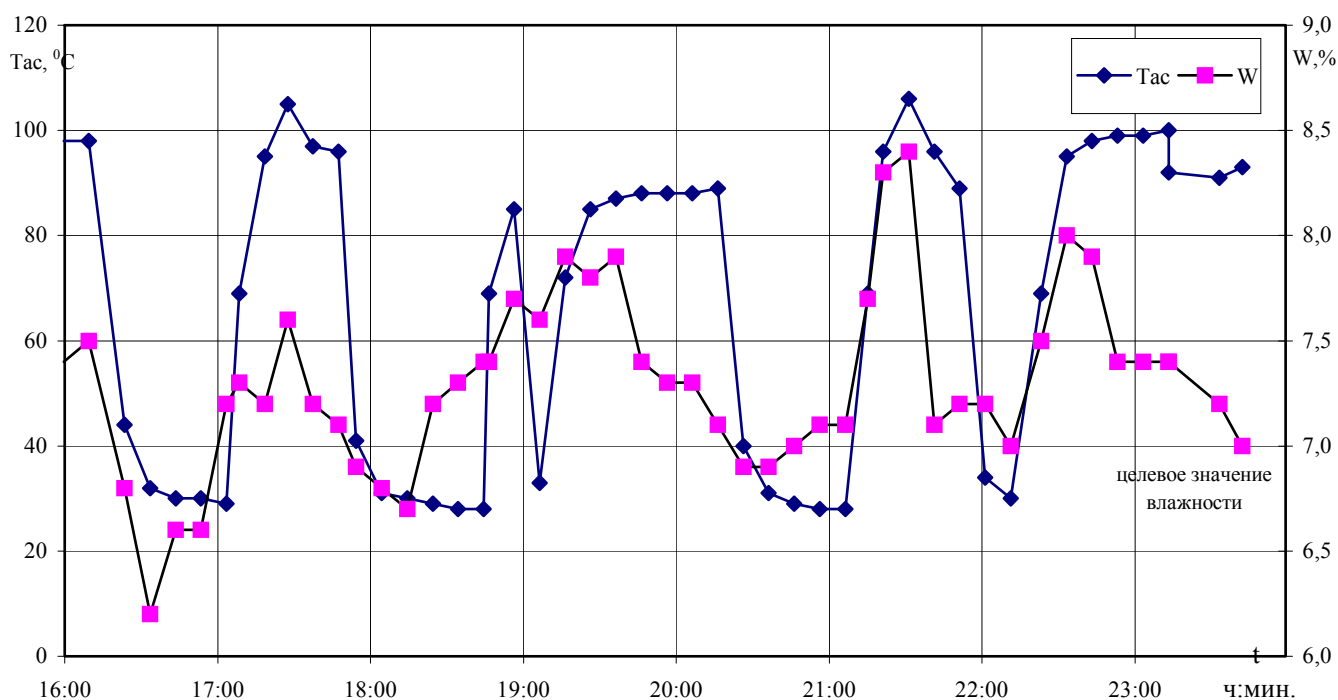


Рис. 4.13. График процесса сушки подсолнечника на зерносушилке ДСП-32.

Из рисунка 4.11 видно, что зависимость

$$W = f(t), \quad (4.9)$$

где t – время,

W – влажность зерна сдвинута во времени по отношению к зависимости.

$$T_{ac} = f(t), \quad (4.10)$$

где T_{ac} – температура агента сушки, что обусловлено более высокой инерционностью зависимости (4.9). Снижение температуры агента сушки посредством прикрытия форсунки горелки (линейные участки графика $T = -k(t) + T_{ac}$ в интервале значений $T_{ac} = 100 \pm 5$ °C до 40 ± 10 °C) при $T_{ac} \leq 90$ °C приводит к дискретному режиму работы топki. Дискретный режим не является

предпочтительным, а является следствием конкретных условий проведения процесса. При непрерывном режиме колебательный характер зависимости (4.10) сохранится, однако при этом можно достигнуть минимальной амплитуды разброса $T_{ас}$ при максимально возможном периоде, что обусловит дополнительный прямой экономический эффект.

Экономический эффект ($\mathcal{E}_{сум}$) от автоматизации процесса сушки зерна для зерносушилок определяется двумя составляющими:

$$\mathcal{E}_{сум} = \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_о, \quad (4.11)$$

где $\mathcal{E}_п$ – прямой экономический эффект, полученный в результате экономии расхода топлива, $\mathcal{E}_о$ – опосредованный экономический эффект обусловленный получением продукта сушки заданного качества. Это означает, что нет потери веса и качества, что возможно при пересушке, а также снижаются затраты на время хранения зерна (охлаждение зерна, система контроля температуры зерна при хранении).

Составляющая $\mathcal{E}_о$ в ряде случаев значительно превышает $\mathcal{E}_п$. Испытания автоматизированной системы контроля влажности на Ореховском КХП показали, что в 2002 году, в сравнении с 2001 годом, когда зерносушилка не была оборудована системой контроля влажности, экономия топлива составила не менее 30%. Расчет определения $\mathcal{E}_о$ по методике Заказчика показал, что окупаемость автоматизированной системы контроля влажности зерна достигается при сушке не более 5 тыс. тонн зерна.

Анализ полученных результатов показывает, что после внедрения системы интеллектуальной ППР сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна для параметра влажность обработанного зерна пшеницы ($KзВ_{вых2}$) уменьшилось среднее квадратическое отклонение (табл. 4.3.) более чем в два раза, в сравнении со штатной системой автоматизированного контроля состояния оборудования ($KзВ_{вых1}$), относительная длительность ($D_{отн}$) пребывания в заданном допуске ($\pm 1.0 \%$) увеличена с 0,56 до 0,87.

Таблица 4.3.

Показатели эффективности работы сушилки ДСП-32 при сушке пшеницы

Наименование показателя	Влажность поступающего зерна	Влажность обработанного зерна (КзВвых1), %	Влажность обработанного зерна (КзВвых2)%
Среднее значение	19,5	13,5	14,0
Среднее квадратическое отклонение	2,1	1,3	0,6
Д _{отн}	-	0,56	0,87

Оценка экономического эффекта от использования системы интеллектуальной ППР сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна за период 2014 года на предприятиях Украины (приложение Г) представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4.

Сводные результаты по оценке экономического эффекта на предприятиях

№ п/п	Наименование предприятия	Экономический эффект (грн)
1	Новомиргородский элеватор (Кировоградская обл.)	9 000
2	Просьянской филиал ДП Сантрейд (Днепропетровская обл.)	12 000

Опытная эксплуатация системы интеллектуальной поддержки принятия решений сушки зерна с подсистемой контроля влажности потока зерна повысила эффективность сушки зерна, количество качественно просушенного зерна. Получен экономический эффект 21 000 грн. при сушке приблизительно 5 тыс. тонн зерна. Повышение эффективности следует оценивать по комплексу показателей, например, получение продукта заданного качества, снижение затрат тепловой, электрической энергии, исключение дополнительных технологических операций при хранении и т.д.

Исходные данные, результаты исследования используются в учебном процессе Державного вищого навчального закладу «НГУ» при подготовке магистров и специалистов специальностей 8(7).05020201 «Автоматизоване

управління технологічними процесами», 8(7).05020101 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» (Приложение Г).

Выводы по разделу 4

1. Суть результата

Разработка системы интеллектуальной ППР сушки зерна упрощает принятие решению оператору в условиях неопределенности, повышает эффективность, количество качественно просушенного зерна за счет формализованного опыта управления сушкой, сохраненного в базе знаний, и оперативного контроля влажности потока зерна. Система интеллектуальной ППР сушки зерна адаптируется (обучается), в том числе, в соответствии с сезонными особенностями качества зерна, конструктивными особенностями сушилки.

2. Новизна научного результата

2.1. Усовершенствован датчик влажности сыпучих материалов в потоке, который включает измерительный электрод из материала, проводящий электрический ток, который отличается тем, что содержит держатель и изолирующую пластину с охранными электродами, которая закреплена между измерительным электродом и держателем.

2.2. Усовершенствован датчик влажности сыпучих материалов в потоке, который содержит первичный преобразователь включающий измерительный электрод из материала, проводящий электрический ток, держателя и изолирующей пластины с охранными электродами, которая закреплена между измерительным электродом и держателем, который отличается тем, что в него дополнительно включен вторичный преобразователь. Вторичный преобразователь содержит генератор синусоидального сигнала, соединенный с управляемым фазовращателем та трансформатором, который соединен с двумя идентичными каналами, каждый из которых содержит последовательно соединенные усилитель заряда, фазочувствительный выпрямитель и фильтр низких частот. При этом выход первого канала соединен с управляемым

фазовращателем, выход которого соединен с фазочувствительными выпрямителями обоих каналов, а трансформатор соединен с измерительным и охранными электродами первичного преобразователя экранированным проводом.

3. Практическая значимость

3.1. Разработана система интеллектуальной поддержки принятия решений при сушке зерна, которая адаптируется в соответствии с сезонными особенностями, качества зерна и конструктивными особенностями сушилки на основе недетерминированной модели нечетких множеств.

3.2. Предложен алгоритм процедуры принятия решений для выбора режима сушки, учитывающий параметры качества зерна та эффективность сушки зерна.

3.3. Предложенная многопараметрическая оценка в лингвистическом и числовом виде позволяет, используя метод ситуационного управления, множество ситуаций процесса сушки зерна свести к меньшему множеству типовых ситуаций сохраняемых в виде продукции с оценкой эффективности. Это позволяет автоматизировать выбор величины управляющих воздействий из базы знаний, на основании значений параметров качества зерна и оценки эффективности.

4. Достоверность результата

4.1. Ошибка измерения влажности потока зерна разработанной подсистемой контроля влажности потока зерна не превышает 0.5% с вероятностью 0.94 в сравнении с образцовым методом измерения влажности (путем высушивания до постоянного веса ГОСТ 13586.5-93).

4.2. Опытная эксплуатация системы интеллектуальной поддержки принятия решения с подсистемой контроля влажности потока зерна повысила эффективность сушки зерна, количество качественно просушенного зерна. Для параметра «влажность после сушки» уменьшено более чем в два раза среднее квадратическое отклонение; относительная длительность ($D_{отн}$) пребывания в заданном допуске ($\pm 1.0\%$) увеличена с 0,56 до 0,87. Получен экономический эффект 21 000 грн. при сушке приблизительно 5 тыс. тонн зерна.

ВЫВОДЫ

Диссертация является завершенной научной работой, в которой решена актуальная научная задача выявления взаимосвязи значений параметров процесса сушки с качественными показателями зерна в условиях невозможности применения детерминированной и вероятностной модели, за счет впервые полученной недетерминированной модели, которая учитывает апостериорные значения параметров, которые контролируются при сушке зерна на предприятии в соответствии с нормативной документацией, в том числе, такие параметры как качество оболочки, цвет, запах; развития метода оценки эффективности процесса управления сушкой зерна путем оценки параметров, которые измеряются и субъективно оцениваются в лингвистическом и числовом виде на основе нечетких множеств; усовершенствованных зависимостей, которые связывают диэлектрическую проницаемость с влажностью, температурой зерна пшеницы и аппроксимируются полиномами первого и второй степени регрессионной модели, реализованных в системе интеллектуальной поддержки принятия решений сушки зерна, что повысило эффективность сушки зерна, количество качественно высушенного зерна.

Научные результаты и технические предложения по автоматизированному управлению сушкой зерна подтверждены эксплуатацией реализованных систем.

Научные и практические результаты работы состоят в следующем:

А. Теоретико – методологические результаты.

А1. При неполноте априорной и апостериорной информации, что исключает математическое описание процесса управления сушкой классическими методами (детерминированная/вероятностная модель), знания оператора по управлению сушкой зерна представлены при помощи нечетких множеств, учитывая измеряемые и субъективно оцениваемые параметры, в том числе, запах, цвет, качество оболочки зерна.

А2. Впервые получена недетерминированная многопараметрическая математическая модель сушки зерна на основе нечетких множеств. Модель расширяется в соответствии с назначением зерна, действующими нормативными документами и содержит апостериорные значения параметров, которые измеряются приборами и оцениваются человеком, в том числе качество оболочки, цвет, запах зерна, используется оценка эффективности сушки.

А3. Получила дальнейшее развитие имитационная модель нечеткого вывода в соответствии с алгоритмом И. Мамдани на примере сушки зерна пшеницы в сушилке ДСП-32. Эта модель, в отличие от существующих, использует совместно с влажностью априорные значения качественных параметров, которые необходимы для учета на заготовительном предприятии, в том числе, качество оболочки, цвет, запах зерна, что позволяет более полно, для условий производства, прогнозировать значения выходных параметров процесса сушки.

А.4. Получил дальнейшее развитие метод оценки эффективности процесса управления сушкой зерна посредством совместного использования параметров, которые измеряются и субъективно оцениваются в лингвистическом, числовом виде на основе нечетких множеств. Это позволяет использовать критерий эффективности (один параметр) для автоматизации обучения, выбора режима сушки в системе интеллектуальной поддержки принятия решений, что позволяет быстрее выполнять обработку данных, принимать решения по выбору значений управляющих воздействий в условиях неопределенности.

А5. Усовершенствованы зависимости, которые связывают диэлектрическую проницаемость с влажностью, температурой зерна пшеницы и аппроксимируются полиномами первой и второй степени регрессионной модели, которая адекватна по F – критерию на уровне значимости 0,05, при этом обеспечивается непрерывность значений параметров влажности и температуры, которые характеризуют процесс сушки. Это позволяет

компенсировать влияние температуры и повысить количество качественно высушенного зерна, эффективность управления путем оперативного контроля влажности потока зерна в сушилке шахтного типа.

Б. Инструментальные результаты.

Б1. Разработана система интеллектуальной поддержки принятия решений при сушке зерна, которая адаптируется в соответствии с сезонными особенностями, качества зерна и конструктивными особенностями сушилки на основе недетерминированной модели нечетких множеств.

Б2. Разработан способ отображения многопараметрической оценки на плоскости в виде окружности. Правильная форма круга является свидетельством того, что процедура управления соответствует цели, это позволяет человеку повысить оперативность принятия решения по выбору режима сушки.

Б3. Разработан измерительный электрод датчика влажности, что позволяет размещение электродов измерительного преобразователя в середине сушилки шахтного типа, таким образом, чтобы исключить возможность накопления посторонних предметов (остатки растений, камни и т.п.) которые вносят ошибку в результат контроля влажности потока зерна.

В. Экспериментальные результаты

В1. Опытная эксплуатация системы интеллектуальной поддержки принятия решения с подсистемой контроля влажности потока зерна повысила эффективность сушки зерна, количество качественно просушенного зерна. Полученные результаты внедрены в сушилках шахтного типа на предприятиях ПрАТ “Новомиргородський елеватор” (Кировоградская область), Присянська філія ДП “Сантрейд”, ВАТ “Лебединський насіннєвий завод” (Черкасская область), ВАТ “Миргородський КХП-2” (Полтавская область) и др. Для параметра «влажность после сушки» уменьшено более чем в два раза среднее квадратическое отклонение; относительная длительность ($D_{отн}$) пребывания в заданном допуске ($\pm 1.0\%$) увеличена с 0,56 до 0,87. Получен экономический эффект 21 000 грн. при сушке приблизительно 5 тыс. тонн зерна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Словарь по кибернетике / [ред. В.С. Михалевич]. – 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. – 751 с. – (ISBN 5–88500–008–5).
2. Политехнический словарь / [редкол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
3. Применение математических моделей для совершенствования процессов сушки зерна / [Остапчук Н. В., Зелинский Г. С., Алейников В. И., Рыбак А. И., Гросул Т. Н., Одиякоков В. А.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1975. – 76 с. – (Серия “Элеваторная промышленность”).
4. Купченко А. В. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины / А. В. Купченко // Хранение и переработка зерна. – 2012. – №4. – С. 32–35.
5. Кирпа Н. Научное обеспечение и развитие новых технологий обработки и хранения зерна в Украине / Н. Кирпа // Зерновая индустрия-2004 : третья междунар. конф., 13-14 мая 2004 г. : Киев, 2004. – с. 84–87.
6. Баум А.Е. Сушка зерна / А.Е. Баум, В.А. Резчиков. – М.: Колос, 1983. – 223 с.
7. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок / [Станкевич Г.М., Шаповаленко О.І., Страхова Т.В., Петруня Б.М., Яковенко А.І., Остапчук М.В., Шашкін А.Б.] – Одеса-Київ : ДАК «Хліб України», 1997. – 72 с.
8. Теория управления. Терминология Вып.107. / [отв. ред. Б.Г.Волик].– М. : Наука, 1988. – 56 с. – (ISBN 5-02-006617-6).
9. Остапчук Н.В. Каминский Повышение эффективности сушки зерна / Остапчук Н.В., Шашкин А.Б., Каминский В.Д. – К. : Урожай, 1987. – 135 с.
10. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2004. – [Чинний від 2004-05-28].– К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 16 с. – (Національний стандарт України).

11. Хобин В.А. Совершенствование систем автоматического управления режимами работы зерносушилок как основа повышения их эффективности / В.А. Хобин // Хранение и переработка зерна. – 2005. – №4. – С. 41–44.
12. Зерно. Методы определения натурности: ГОСТ 10840–64.–[дата введения 1965-04-20].
13. Зерно. Метод определения влажности: ГОСТ 13586.5—93.
14. Зерно. Метод определения содержания сорной, зерновой, особо учитываемой примесей, мелких зерен и крупности : ГОСТ 13586.2—81.
15. Зерно. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями: ГОСТ 13586.4–83.
16. Зерно. Методы определения запаха и цвета: ГОСТ 10967–90.
17. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице: ГОСТ 13586.1–68.
18. Brock QUANTUM® Controller (BR-2041/201502) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.graindryers.com/products.php?product_id=232.
19. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.grainsystems.com/products/conditioning/continuous-flow-dryers.html>.
20. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cfcai.com/LAW/LAW_GB.htm.
21. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.perryofoakley.co.uk>.
22. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.petkus.com/products/-/info/drying/continuous-flow-dryer/continuous-flow-dryer-du>.
23. Гуляев Г.А. Автоматизация процессов послеуборочной обработки зерна / Гуляев Г.А. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с. – (ISBN 5-10-001900-X).
24. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд. Академии Наук БССР, 1959. – 332 с.
25. Краусп В.Р. Математическое описание процесса сушки в шахтных зерносушилках / В.Р. Краусп, И.Э. Мильман // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1967. – № 9. – С. 31–35.

26. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки : учеб. пособие / Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. – М. : Колос, 1982. – 239 с.
27. Жидко В.И. Пути комплексной автоматизации процесса сушки зерна / В.И. Жидко, П.Н. Платонов, Ю.Н. Митрофанов // Автоматизация процессов сушки в пром-сти и сел. хоз-ве: сб. ст. / Всесоюз. совет НТО; Комитет по сушке. – М., 1963. – С. 41–54.
28. Платонов П.Н. Автоматизация шахтных зерносушилок / П.Н. Платонов, В.И. Жидко, Л.И. Ременный. – М.:Заготиздат, 1962. – 96 с.
29. Степанов М.Т. Имитационная математическая модель процесса сушки зерна/ М.Т. Степанов // Нове в технології зберігання та переробки зерна : Зб. наук. пр. Одес. держ. акад. харч. техн. М-во освіти і науки України. – Одеса, 2002. – вип. 24. – С. 380–384.
30. Колесов Л.В. Экспериментальное обоснование совершенствования процесса сушки в шахтных зерносушилках / Л.В. Колесов, Н.М. Андрианов // Автоматизация процессов послеуборочной обработки зерна : Сб. науч. трудов ЛСХИ.– Л., 1990.– с. 69–81.
31. Егоренков Д.Л. Основы математического моделирования. Построение и анализ модели с примерами на языке MATLAB / Егоренков Д.Л., Фрадков А.Л., Харламов В.Ю. – БГТУ. СПб. – 1994 –190 с.
32. Mansor H. Fuzzy Control of Grain Drying Process / H. Mansor, S. Noor, R. Ahmad, F.S. Taip, O.F. Lutfi // 11th International Conference on Computer Modelling and Simulation 25-27 March 2009 : Cambridge, UK. – 2009.– p. 9-13.
33. Mansor H. Intelligent control of grain frying process using fuzzy logic controller/ Mansor H., Mohd Noor S.B., Raja Ahmad R.K., Taip F.S., Lutfy O.F. //Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2010. – Vol.8(2).– p.145–149.
34. Lui Q. Automatic control of cross-flow grain dryers. Part1: Development of a process model / Lui Q., Bakker-Arkema F.W. // Journal of Agricultural Engineering Research.– 2001.– 80(2). – p.173–181.

35. Zhang Q. Knowledge representation in a grain drier fuzzy logic controller / Zhang Q., Litchfield J.B. // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 1994. – Vol. 57 (4) – p.269–278.
36. Atthajariyakul S. Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control / Atthajariyakul S., Leephakpreeda T. // *Journal of food engineering*. – 2006. –75(1). – p. 104–114.
37. Sosnin K. Multiobjective identification of convecting drying of grain based on fuzzy sets / K. Sosnin, V. Tkachev, S.Us, M. Taradaichenko // *Proceedings of the 19th International Drying Symposium, August 24-27, 2014. : Lyon, France*. – (ISBN:978-2-7598-1631-6).
38. Ткачев В.В. Идентификация управления сушкой зерна в шахтных зерносушилках на основе нечетких множеств / В.В. Ткачев, С.А. Ус, К.В. Соснин // *Международная научно-техническая конференция «ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АПК» (ПРЭТ-2014) (23-26 сентября 2014, Иваново, Россия): сборник трудов (секционные доклады) / Иван.гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2014. – с. 121-128. – (ISBN 978-5-9619-0492-4).*
39. Автоматика и управление в технических системах: в 11 кн. /отв. ред. С.В.Емельянов, В.С.Михалевич. – К.: Вища шк., 1992. – Кн.3. Моделирование производственных систем / Б.Ф.Фомин, В.Б.Яковлев; Под ред. В.Б.Яковлева.– 191 с. – (ISBN 5-11-001988-6(кн.3), ISBN 5-11-003721-3).
40. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
41. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с. –(ISBN 5-93517-031-0).
42. Еремин Д. М. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления / Д. М. Еремин, И. Б. Гарцеев. – М.: МИРЭА, 2004. – 75 с. – (ISBN 5-7339-0423-2).

43. Панфилов П. Введение в нейронные сети/ П. Панфилов //Современный трейдинг. – 2001.– №2.– с.12–17.
44. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/[Под ред. Д.А. Поспелова]. – М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 312 с.
45. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and control.– 1965.– v.8. – p. 338–353.
46. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Поспелов Д.А. – М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
47. Соснин К.В. Автоматизация процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках на основе теории нечетких множеств / Соснин К.В., Просянык А.В. // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – №36, т.2. – с. 179–186.
48. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л.А. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
49. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning / L. A. Zadeh // Learning Systems and Intelligent Robots, 1974.– p. 1–10.
50. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень : Изд-во ТГУ, 2000. – 352 с.
51. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
52. Круглов В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В.В. Круглов, М.И. Дли. – Физматлит, 2002. – 256 с.
53. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости / Рыжов А.П. – М. : Диалог-МГУ, 2000. – 116 с.
54. Берштейн Л.С. Нечеткие модели для экспертных систем САПР / Берштейн Л.С., Боженюк А.В., Малишев Н.Г. – М. :Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.

55. Бочарников В.П. Fuzzy–технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике / Бочарников В.П. – Санкт-Петербург: Наука РАН, 2001. – 28 с.
56. Круглов В.В. Адаптивные системы нечеткого вывода / В.В. Круглов // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2003. – №5. – с. 15–19.
57. Прикладные нечеткие системы / [К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М.Сугэно]. – М.: Мир, 1993. –368с.
58. Ротштейн А.П. Влияние методов дефаззификации на скорость настройки нечеткой модели / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – №5. – с. 169-176.
59. Ross T. Fuzzy logic with engineering applications / Ross T. – John Wiley&Sons Ltd, 2004. – 651 p.
60. Ткачев В.В. Моделирование управления сушкой зерна в шахтной зерносушилке / В.В. Ткачев, К.В. Соснин. // Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2014. – Вип. 46. – Том.1. – с. 223-229.
61. Ткачев В.В. Результаты моделирования управления сушкой зерна в шахтной сушилке. / В.В. Ткачев, К.В. Соснин // Ползуновский альманах. – АГТУ, 2014. – №2. – с. 87–92.
62. Секанов Ю.П. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов / Секанов Ю.П. – М.: ВИМ, 2001. – 190с.–(ISBN-5-7010-0283-7).
63. Mujumdar Arur S. Handbook of Industrial Drying / Mujumdar Arur S. – 2014. – 1075 p. – (ISBN-9781466596658).
64. Christen C.M. Maintenance of quality in grain and Seeds / C.M. Christen, H.H. Kaufman //Agric. Extension Service. – Univ. of Minnesota, MN, USA, 1968.
65. Лапшин А. А. Электрические влагомеры / Лапшин А. А. – М.: Госэнергоиздат, 1960.–113 с.
66. Секанов Ю. П. Влагометрия сельскохозяйственных материалов / Секанов Ю. П. – М.: Агропромиздат, 1985. –160с.

67. Просянык А. В. Влагомер зерна в потоке – мал золотник, да дорог / Просянык А. В., Клабуков В.Ф., Соснин К.В. // Хранение и переработка зерна. – 2002. – №8(38).– с. 44–46.
68. Соснин К.В. Проблемы и перспективы контроля влажности сыпучих материалов в потоке / Соснин К.В. // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003.–№17.–том2.–с.321-324.
69. Зисман Г.А. Курс общей физики в 3 ч. / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. – М.:Наука, 1965. – ч.2.: Электричество и магнетизм.– 366 с.
70. Біленко І.І. Фізичний словник / Біленко І.І. – [2-ге вид., перероб. і допов.] – К.: Вища шк., 1993. –319 с.–(ISBN 5-11-002563-0).
71. Кошкин Н.И. Элементарная физика: Справочник / Кошкин Н. И. – М.: Наука. гл. ред. физ-мат. лит., 1991. – 240 с. –(ISBN 5-02-014507-6).
72. Емкостные датчики и лабораторные влагомеры зерна и зернопродуктов / [Джапаридзе Т. Д., Шаламберидзе Э.Д., Месхидзе Р.Н., и др.].– М. : ЦНИИТЭИ ВНПО «Зернопродукт», 1990.– с. 1-36. (Обзорная информация, серия: Элеваторная промышленность).
73. Большая Советская Энциклопедия: в 30 томах / [Гл. ред. А.М. Прохоров]. – М. : Советская энциклопедия, 1972.– Т.8: Дебитор-Евкалипт. – 1972. – 592с.
74. Кричевский Е. С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых / Кричевский Е. С. – М.: Недра, 1972.–215 с.
75. Соснин К.В. Автоматизированная система контроля влажности сырья горно-металлургического комплекса / Соснин К.В.// Проблемы и перспективы применения геоинформационных технологий в горном деле. Доклады IV Международной научно-практической конференции. 7-9 октября 2002 г. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2002. – С. 95–97.
76. Ивоботенко Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике / Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копілов И.П. – М.: Энергия, 1975. –184 с.
77. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики / Коршунов Ю.М. – [3-е изд.]. – М.: Энергоатомиздат, 1987.– 496 с.

78. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – М: Финансы и статистика, 1981.– 263 с.
79. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. –М.: Наука, 1976. – 254 с.
80. Исматуллаев П.Р. Теоретическое и экспериментальное исследование сверхвысокочастотного метода измерения влажности материалов / П.Р. Исматуллаев, А.Б. Гринвальд. – Ташкент, 1982.– 84 с.
81. Бензарь В. К. Техника СВЧ – влагометрии / Бензарь В. К. – Минск: Высшая школа, 1974. – 352 с.
82. Берлинер М. А. Измерение влажности / Берлинер М. А. – М.: Энергия, 1973. – 215 с.
83. Кричевский Е. С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов [Текст] : научное издание / Е. С. Кричевский, А. Г. Волченко, С. С. Галушкин; ред. Е. С. Кричевский. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
84. Kraszewski A. Microwave aquametry – a bibliography / Kraszewski A. //Journal of Microwave Power, 1980. – Vol.15, № 4. – p. 298-310.
85. Дубов Н. С. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов / Дубов Н.С., Кричевский Е.С., Невзлин Б.И. – М. :Машиностроение, 1980. –144 с.
86. Новые отечественные влагомеры для зерна / [Саулькин В. И., Новикова Г. Л., Кошелева В.Н.]. – М.: ЦНИИТЭИ Мин. заготовок СССР, 1978.– с.1–16. (Экспресс-информация, серия Элеваторная промышленность)
87. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. [пер. с англ.]. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
88. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента/А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль [ред. В.Г.Воронова]. – Х.:Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1986.–240 с.
89. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Атамалян Э. Г. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.

90. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов / Гмурман В. Е. – М.: Высш. шк., 2002. – 479с.
91. Ларичев О.И. Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития/ О.И. Ларичев, А.Б. Петровский // Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1987.– Т.21. – с. 131–164.
92. Ginzberg M.J. Decision Support system: Issues and Perspectives / M.J. Ginzberg, E.A. Stohr // Processes and Tools for Decision Support [Ed. By H.G.Sol.]. – Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1983. – p. 9–31.
93. Simon H.A. The New Science of Management Decision / H.A. Simon. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice–Hall, Inc., 1975. – 175 p.
94. Haettenschwiler P. Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft / Haettenschwiler P. – Zurich, vdf Hochschulverlag AG, 1999.
95. Power D. J. Decision support systems: concepts and resources for managers / Power D. J. – Westport, Conn. : Quorum Books, 2002.
96. Sprague. R. H. Building effective decision support systems / R. H. Sprague, E. D. Carlson. – Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1982.–(ISBN 0-13-086215-0).
97. Haag S. Management Information Systems: For the information age / Haag S, Cummings M., McCubbrey D., Pinsonneault A., Donovan R. – McGraw-Hill Ryerson Limited, 2000.– (ISBN 0-07-281947-2).
98. Marakas G. M. Decision support systems in the twenty-first century / Marakas G. M. – Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 1999.
99. Кожурин Ф.Д. Проблемы построения проблемно-ориентированного комплекса работника аппарата управления / Кожурин Ф.Д., Бабенко Е.Я., Просянык А.В. – Киев, 1984. – 25 с. – (Препринт/ АН УССР, Ин-т кибернетики; 84-13).
100. Соснин К. В. Алгоритмизация технологического процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках / Соснин К. В. // Конструювання, виробництво, експлуатація сільськогосподарських машин. Випуск №33. – Кіровоград КДТУ, 2003. – с. 168-175.

101. Просянык А.В. От локальных задач автоматизации к интегрированной АСУ комбината хлебопродуктов / А.В. Просянык, К.В. Соснин, В.Ф. Клабуков, П.И. Мельниченко // Хранение и переработка зерна. – 2002. – №4(34). – с.43-46.
102. Просянык А. В. Влагодетрическая подсистема зерна в потоке (результаты опытной эксплуатации) / А. В. Просянык, В. Ф. Клабуков, К. В. Соснин // Хранение и переработка зерна. – 2003. – №10(52) – с.44-46.
103. Пат. 66180 Україна, G 01 N 25/56. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В.Соснін, А.В. Просянык; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – 2003087532; заявл. 11.08.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл.№4. – 2с. : ил.
104. Пат. 18777 Україна, МПК(2006) G 01 N 25/56. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В.Соснін, А.В. Просянык; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – u200506496; заявл. 01.07.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. №1. – 2с. : ил.
105. Пат 79660 Україна, МПК(2006), G 01 N 25/56, G 01 N 25/60. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В.Соснін, А.В. Просянык; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – a200506495 заявл. 01.07.2005, опубл. 10.07.2007, Бюл. №10.– 2с. : ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты исследования влияния температуры на показания диэлектрической проницаемости зерна пшеницы

Таблица А.1.

Зависимость диэлектрической проницаемости зерна от влажности и температуры

№ измерения	Показания отсчетного устройства системы α_c	Температура пробы $T, ^\circ\text{C}$	Влажность пробы, определенная методом, принятым за основной, $W\%$	Наименование пробы	Примечание
1	6,76	10	26	1	
2	7,27	20	26	2	
3	7,88	30	26	3	
4	8,61	40	26	4	
5	9,5	50	26	5	
6	5,64	10	20	6	
7	5,64	20	20	7	
8	6,34	30	20	8	
9	6,76	40	20	9	
10	7,19	50	20	10	
11	4,42	10	14	11	
12	4,56	20	14	12	
13	4,66	30	14	13	
14	4,77	40	14	14	
15	4,86	50	14	15	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты исследования распределения влажности зерна в шахте (зона охлаждения) зерносушилки шахтного типа ДСП

Таблица Б.1.

Номер короба	Место пробы	Показания влажности (электрический метод), %					Ср. знач., %	СКО, %	Показания влажности (физический метод), %
1	Зона 1	17.5	17.2	17.3	17.4	17.2	17.32	0.13038	
2	Зона 1	17.4	17.5	17.5	17.4	17.6	17.48	0.08367	
3	Зона 1	16.1	16.2	16.3	16.4	16.2	16.24	0.11402	
4	Зона 1	15.7	15.8	15.9	15.7	15.8	15.78	0.08367	
5	Зона 1	14.5	14.7	14.6	14.4	14.4	14.52	0.13038	
6	Зона 1	14.1	14	14	14.1	14.2	14.08	0.08367	
7	Зона 1	14.4	14.3	14.4	14.4	14.2	14.34	0.08944	
8	Зона 1	14.5	14.7	14.6	14.4	14.6	14.56	0.11402	
9	Зона 1	15.2	15.6	15.6	15.2	15.5	15.42	0.20494	
10	Зона 1	16.1	16.2	16.3	16.4	16.2	16.24	0.11402	
11	Зона 1	17.5	17.2	17.3	17.4	17.5	17.38	0.13038	
12	Зона 1	17	17.2	17.3	17	17.1	17.12	0.13038	
1	Зона 2	17.9	18	17.5	17.9	17.6	17.78	0.21679	
2	Зона 2	17.5	17.5	17.6	17.3	17.3	17.44	0.13416	
3	Зона 2	16.5	16.2	16.3	16.4	16.2	16.32	0.13038	
4	Зона 2	15.5	15.3	15.4	15.5	15.5	15.44	0.08944	
5	Зона 2	14.7	14.7	15.1	14.9	14.8	14.84	0.16733	
6	Зона 2	14.4	14.3	14.4	14.4	14.2	14.34	0.08944	
7	Зона 2	14.4	14.3	14.4	14.4	14.5	14.4	0.07071	
8	Зона 2	14.6	14.8	14.5	14.6	14.8	14.66	0.13416	
9	Зона 2	15	15.2	14.9	15	15.1	15.04	0.11402	
10	Зона 2	16.5	16.2	16.3	16.4	16.2	16.32	0.13038	
11	Зона 2	17.4	17.5	17.5	17.4	17.6	17.48	0.08367	
12	Зона 2	17.4	17.6	17.3	17.4	17	17.34	0.21909	
1	Ср. значение						17.55	0.17359	
2	Ср. значение						17.46	0.10892	
3	Ср. значение						16.28	0.1222	
4	Ср. значение						15.61	0.08655	
5	Ср. значение						14.68	0.14886	
6	Ср. значение						14.21	0.08655	
7	Ср. значение						14.37	0.08008	
8	Ср. значение						14.61	0.12409	
9	Ср. значение						15.23	0.15948	
10	Ср. значение						16.28	0.1222	
11	Ср. значение						17.43	0.10703	
12	Ср. значение						17.23	0.17474	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1.

Результаты исследования распределения влажности между шахтами
зерносушилки в зоне охлаждения зерносушилки шахтного типа ДСП

Время, мин.	Влажность W _{ш1} , %	Влажность W _{ш2} , %	W _{ш2} - W _{ш1}
0	14	16.1	2.08
10	13.9	16	2.06
20	13.7	15.9	2.18
30	13.2	15.5	2.34
40	12.7	15.7	3.02
50	13.6	16.6	3.44
60	15.4	17.3	1.92
70	15	16.4	1.36
80	15	17.3	2.26
90	14.8	17.1	2.32
100	14.3	16.4	2.06
110	13	16	2.96
120	12.8	15.6	2.82
130	12.8	15.5	2.72
140	14	16.6	2.58
150	14.7	17.1	2.44
160	14.8	17.3	2.52
170	14.9	17.7	2.8
180	14.6	17.3	2.74
190	14.3	17	2.66
200	14	16.6	2.58
210	13.9	16.6	2.66
220	13.9	16.3	2.36
230	13.8	16.1	2.3
240	14.1	16.7	2.62
250	13.7	16.3	2.58
260	14.2	16.4	2.18
270	13.6	16.8	3.64
280	13.4	16.4	3.02
290	14.2	16.5	2.28
300	14.4	17	2.6
310	14.6	17.4	2.84
320	14.3	16	1.66
330	13.5	16.5	2.16
340	13.2	15.8	2.62
350	12.9	15.6	2.68
360	13.7	16.1	2.38
370	14.7	16.9	2.32
380	14.2	16.5	2.28
390	14.2	16.3	2.08
400	14.3	16.3	1.96
410	14.2	16.3	2.08

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Миргородский элеватор»**

Украина, 37600, Полтавская обл., г.Миргород, ул.Петровская,15
Тел.: (05355) 4-16-53, 4-00-44, факс 4-16-59

исх. № 1062
от « 10 » 06 2008 г.

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертации
Соснина Константина Владимировича
на предприятии ЗАО «Миргородский элеватор»

Комиссия в составе главного инженера предприятия ЗАО «Миргородский элеватор» Семенчука А.Н. и директора предприятия ООО «Агропромавтоматизация» Клабукова В.Ф. составили настоящий акт о том, что автоматизированная система контроля влажности потока зерна, использующая патент Украины на изобретение (UA 79660 C2, МПК(2006), G01N25/56, G01N25/60 Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / ТОВ НВП «Агропромавтоматизація», Клабуков В.Ф., Соснін К.В., Просяник А.В.; заявлено 01.07.2005, публікація 10.07.2007) внедрена на двух зерносушилках ДСП-50 и двух зерносушилках ДСП-32 предприятия ЗАО «Миргородский элеватор».

ЗАО «Миргородский элеватор»

Председатель правления



В.Ф. Сосновчик

ООО НПП «Агропромавтоматизация»

Директор



В.Ф. Клабуков

ЗАТВЕРДЖУЮ

ПАТ «Лебединський насіннєвий завод»



Голова правління

Усік В.Я.

АКТ

о впровадженні результатів кандидатської дисертації

Сосніна Костянтина Володимировича

на підприємстві ПАТ «Лебединський насіннєвий завод»

Комісія в складі головного енергетика підприємства ПАТ «Лебединський насіннєвий завод» Демідова О.І. та директора підприємства ТОВ НВП «Агропромавтоматизація» Клабукова В.Ф. склали цей акт о том, що автоматизована система контролю вологості потоку зерна, яка використовує патент України на винахід (UA 79660 C2, МПК(2006), G01N25/56, G01N25/60 Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / ТОВ НВП «Агропромавтоматизація», Клабуков В.Ф., Соснін К.В., Присяник А.В.; заявлено 01.07.2005, публікація 10.07.2007) впроваджена на зерносушарці ДСП-50 підприємства ПАТ «Лебединський насіннєвий завод».

ПАТ «Лебединський насіннєвий завод» ТОВ НВП «Агропромавтоматизація»

Головний енергетик



О.І. Демідов

Директор



В.Ф. Клабуков



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Просянської філії

ДП «Сантрейд»

Мілян Є.Я.

АКТ

о впровадженні результатів досліджень кандидатської дисертації

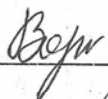
Сосніна Костянтина Володимировича на підприємстві

Просянська філія ДП «Сантрейд»

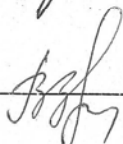
Цей акт, підтверджує те що результати досліджень кандидатської дисертації Сосніна К.В., недетермінована модель на базі нечітких множин для підтримки прийняття рішень при сушінні зерна, автоматизована підсистема контролю вологості потоку зерна, на підставі патенту на винахід (UA 79660 C2, МПК(2006), G01N25/56, G01N25/60 Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці/ТОВ НВП «Агропромавтоматизація», Клабуков В.Ф., Соснін К.В., Просяник А.В.; заявлено 01.07.2005, публікація 10.07.2007) впроваджені на зерносушарках ДСП-32 (2 шт.), ДСП-50(1 шт.). Економічний ефект за 2014 рік оцінюється у розмірі не менш ніж 12 000,00 грн.(дванадцять тисяч грн. 00 коп.).

Просянська філія ДП «Сантрейд»

Головний енергетик

 В.В. Воронін

Провідний бухгалтер

 В.В. Зінченко

14

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова правління

ПрАТ «Новомиргородський елеватор»

Прокопов С.В.



АКТ

о впровадженні результатів досліджень кандидатської дисертації

Сосніна Костянтина Володимировича на підприємстві

ПрАТ «Новомиргородський елеватор»

Комісія у складі головного інженера підприємства ПрАТ «Новомиргородський елеватор» Г.А. Шевченко та директора підприємства ТОВ «Агропромавтоматизація» В.Ф. Клабукова склали цей акт, про те що результати досліджень кандидатської дисертації Сосніна К.В., недетермінована модель на базі нечітких множин для підтримки прийняття рішень при сушінні зерна, автоматизована підсистема контролю вологості потоку зерна, на підставі патенту на винахід (UA 79660 C2, МПК(2006), G01N25/56, G01N25/60 Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці/ТОВ НВП «Агропромавтоматизація», Клабуков В.Ф., Соснін К.В., Просяник А.В.; заявлено 01.07.2005, публікація 10.07.2007) впроваджені на зерносушарках ДСП-32 (4 шт.). Економічний ефект за 2014 рік оцінюється у розмірі не менш ніж 9 000,00 грн. (дев'ять тисяч грн. 00 коп.).

ПрАТ «Новомиргородський елеватор»

Головний інженер

Г.А. Шевченко

ТОВ «Агропромавтоматизація»

Директор

В.Ф. Клабуков



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
 «НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор НГУ,
 д.т.н., професор

 П.І. Пілов

«15» 105 2015 р.

АКТ

впровадження у навчальний процес результатів кандидатської
 дисертаційної роботи Сосніна Костянтина Володимировича

Комісія у складі голови: Алексеева М.О. – декана факультету інформаційних технологій, д.т.н., професора та членів комісії: Цвіркуна Л.І. – заст. голови науково-методичної комісії з напрямку 050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», к.т.н., професора і Бублікова А.В. – члена науково-методичної комісії з напрямку 050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», к.т.н., доцента – склала цей акт в тому, що у викладанні лекційного матеріалу та лабораторних робіт дисциплін «Автоматизація технологічних процесів гірничого виробництва», «Технічні засоби автоматизації», «Мікропроцесорні та програмні системи управління», «Цифрова обробка сигналів» спеціалістам та магістрам спеціальностей 8(7).05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами», 8(7).05020101 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» використовуються наступні результати кандидатської дисертаційної роботи Сосніна К.В.:

- алгоритм процедури підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, що враховує кількісні, якісні параметри та оцінку ефективності;
- розрахунок числової, лінгвістичної оцінки на основі нечітких множин;
- вимірювання, перетворення, розрахунок величин у т.ч. діелектричну проникність.

Це дозволяє студентам підвищити знання та навички з застосування та використання математичних методів й інструментарію аналітичної обробки для практичної реалізації власних магістерських дипломних робіт та дипломних проектів спеціалістів з автоматизованого управління та автоматики.

Голова комісії



М.О. Алексєєв

Члени комісії:



Л.І. Цвіркун



А.В. Бубліков