

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СЕВЕРНОГО
ЗАУРАЛЬЯ»

На правах рукописи



Кизуров Анатолий Сергеевич

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ НА
ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОДВОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Лапшин Игорь Петрович

Тюмень – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	15
1.1 Общие сведения о зерне.....	15
1.2 Анализ существующих способов сушки семян.....	20
1.3 Анализ существующих технических средств сушки семян и перспективы их развития.....	28
1.4 Кинетика сушки семян пшеницы.....	37
1.5 Исследование существующей теории влагопереноса в зерновке.....	39
1.6 Анализ научных исследований по сушке семян.....	41
1.7 Постановка задач исследования.....	43
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ.....	45
2.1 Обоснование параметров дифференцированной сушки.....	45
2.1.1 Процесс дифференцированной сушки семян на основе теплового баланса.....	45
2.1.2 Расчетная схема для определения теплоемкости зерновки в зависимости от ее влажности.....	47
2.2 Определение коэффициента теплоотдачи влажного воздуха при естественной конвекции.....	56
2.3 Решение систем теплового баланса при естественной конвекции для нагрева и охлаждения.....	61
2.4 Результаты теоретических исследований.....	64
Выводы по главе.....	71

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КИНЕТИКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ НА КПД НАГРЕВА И ИСПАРЕНИЯ.....	73
3.1 Приборы и оборудование для экспериментальных исследований.....	74
3.2 Методика ранжирования факторов экспериментальных исследований для выявления зависимостей КПД нагрева и испарения...	77
3.3 Методика проведения лабораторных исследований по определению исходных данных для построения номограмм.....	80
3.3.1 Методика определения геометрических параметров зерновки.....	80
3.3.2 Методика определения массы тысячи зерен.....	80
3.3.3 Методика сравнительных измерений влажности зернового материала до и после сушки с помощью влагомера «Wile 55» и технического средства «Звуковой сканер»	83
3.3.4 Методика определения температуры зернового материала перед сушкой для построения номограмм, и после сушки для определения КПД нагрева и испарения.....	86
3.3.5 Методика определения температуры и влажности агента сушки (охлаждения) построения номограмм и определения КПД нагрева и охлаждения.....	88
3.4 Методика построения номограмм для определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.....	90
3.5 Методика проведения работы по исследованию интенсификации процесса сушки семян пшеницы.....	90

3.6 Методика определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по номограммам.....	91
3.7 Методика проведения экспериментальных исследований влияния входных параметров на КПД нагрева и испарения.....	92
3.8 Методика определения качественных показателей семян пшеницы до и после сушки с дифференцированным подводом тепла...	95
3.8.1 Методика определения зараженности семян.....	95
3.8.2 Методика определения всхожести и энергии прорастания семян.....	95
3.9 Методика определения энергетических затрат для оценки процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла.....	95
3.9.1 Определение производительности лабораторной зерносушилки.....	97
3.9.2 Методика определения энергозатрат на сушку 1 планового килограмма семян.....	97
Выводы по главе.....	98
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КИНЕТИКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ НА КПД НАГРЕВА И ИСПАРЕНИЯ.....	99
4.1 Результаты ранжирования факторов экспериментальных исследований для выявления зависимостей КПД нагрева и испарения.....	99
4.2 Результаты сравнительных измерений влажности зернового материала до и после сушки с помощью влагомера «Wile 55» и технического средства «Звуковой сканер».....	101

4.3 Результаты определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по номограммам...	103
4.4 Результаты проведения экспериментальных исследований влияния входных параметров на КПД нагрева и испарения	105
4.5 Результаты определения качественных показателей семян пшеницы до и после сушки с дифференцированным подводом тепла ...	109
4.5.1 Результаты определения зараженности семян.....	109
4.5.2 Результаты определения всхожести и энергии прорастания семян.....	110
4.6 Результаты определения энергетических затрат для оценки процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла.....	110
4.6.1 Результаты определения производительности лабораторной зерносушилки.....	111
4.6.2 Результаты определения энергозатрат на сушку 1 планового килограмма семян.....	112
Выводы по главе.....	113
5 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СУШКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛА.....	114
5.1 Годовые эксплуатационные расходы и себестоимость сушки.....	114
5.1.1 Стоимость амортизационных отчислений и прочих расходов.....	115
5.1.2 Заработная плата персонала.....	115
5.2 Срок окупаемости.....	116
Выводы по главе.....	117
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122

ПРИЛОЖЕНИЯ.....	135
Приложение А Критерии подобия.....	136
Приложение Б Алгоритм расчета сушки с дифференцированным подводом тепла в среде MathCAD методом математического перебора.....	138
Приложение В Физико-химические показатели пшеницы.....	140
Приложение Г Поверхности отклика влияния температур агентов сухого воздуха, насыщенного пара и влажного воздуха на коэффициент теплоотдачи.....	147
Приложение Д Технические характеристики лабораторного оборудования.....	150
Приложение Е Исходный код программы микроконтроллера схемы управления лабораторной установки на языке Wiring.....	165
Приложение Ж Паспортные данные с информацией о поверке измерительного оборудования.....	167
Приложение З Интерфейс программы «Grain Sound Scan».....	172
Приложение И Алгоритм заполнения массивов выходных параметров сушки с дифференцированным подводом тепла в среде MathCAD методом математического перебора.....	173
Приложение К Сведения к планированию эксперимента и обработке результатов.....	175
Приложение Л Сертификат соответствия семян пшеницы.....	176
Приложение М Зависимости выходных параметров y_i при варьировании входных.....	178
Приложение Н Результаты определения влажности проб зерна.....	184
Приложение О Патенты РФ на изобретение и полезную модель.....	188
Приложение П Результаты экспериментальных исследований.....	194
Приложение Р Акты внедрения результатов научных исследований....	195

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Пищевая промышленность, в настоящее время, является самой проблемной областью производства, что связано с возрастающим потреблением продуктов питания населения планеты. Вся пищевая промышленность отталкивается от возможностей агротехнического комплекса.

Агропромышленный комплекс объединяет все отрасли хозяйства, принимающие участие в производстве сельскохозяйственной продукции, ее переработке и доведении до потребителя [120, 121].

Сельское хозяйство – крупнейшая отрасль АПК, включающая в себя тесно связанные между собой растениеводство и животноводство, которые дают 56 % и 44 % сельскохозяйственной продукции соответственно [122].

Под возделывание зерновых культур в России отводится более половины всех посевных площадей [100, 36].

Одним из важнейших этапов производства зерновых культур является послеуборочная обработка и сушка зерна, достигающая по энергозатратам 75...80 % от общих затрат [2].

От выбора технологии сушки зерна зависит качество конечного материала, к которому предъявляют определенные требования, приведенные в техническом регламенте «О безопасности зерна» [67, 124]. В техническом регламенте добавлен показатель, отсутствующий в предыдущих нормативных документах, содержания бенз(а)пирена (ароматическое вещество первого класса опасности, образующееся при сгорании углеводородного топлива [101, 123]) с предельной концентрацией 1 мг/кг, при этом начальное содержание данного вещества на поверхности зерновки составляет 0,25-0,53 мг/кг [67].

От количества и качества зерна зависит обеспеченность сырьем многих отраслей пищевой промышленности, в частности мукомольной, крупяной и комбикормовой [125]. В этой связи элеваторное хозяйство должно в короткие

сроки осуществлять прием и поточную послеуборочную обработку зерна и обеспечивать его полную сохранность. Важнейшее звено поточных комплексно-механизированных линий приема и послеуборочной обработки зерна – это сушка, так как большая часть заготавливаемого зерна поступает, как правило, с повышенной влажностью, достигающей до 35%, и его сохранность зависит от работы зерносушильных установок. Процессы сушки и тепловой обработки на зерноперерабатывающих предприятиях характеризуются значительной энергоемкостью. Велика доля физически и морально устаревшей малопроизводительной сушильной техники, что приводит не только к перерасходу топливно-энергетических ресурсов, но и отражается на качестве выпускаемой продукции. Одним из главных путей повышения эффективности использования тепла является совершенствование технологии, так как на осуществление технологических тепловых процессов расходуется примерно 55% теплоты. Совершенствование технологии непосредственно связано с увеличением производительности оборудования, что, в свою очередь, приводит к интенсификации теплообмена и снижению удельных расходов тепла. Значительные возможности экономии ресурсов создаются при автоматизации технологических процессов сушки зерновых культур. Однако этот перспективный путь оптимизации управления процессами сушки в перерабатывающих отраслях АПК еще не нашел достойного места в решении актуальных задач энергосбережения [6, 66].

Недостаточно высокая организация послеуборочной обработки зерна приводит к потерям урожая до 20%. Это в свою очередь отражается на заготовке пшеницы высокого качества, пригодной для получения хлебопекарной муки. В современных условиях возрастающего потребления энергии, с одной стороны, и дефицита энергетических ресурсов, с другой, все более остро ставятся вопросы рационального использования энергии, утилизации и рекуперации теплоты во всех процессах пищевой технологии. Это относится и к сушке зерна, которая неизбежно сопровождается неполным использованием энергии теплоносителя. В технике сушки широкое применение находят тепловые насосы, которые позволяют довести

зерносушильные установки до высокого энергетического совершенства в отношении использования, утилизации и рекуперации теплоты отработанного сушильного агента [73]. При этом значительно снижаются затраты энергии (до 30%), а осуществление «мягких» режимов сушки сушильным агентом с пониженным влагосодержанием вследствие его осушения в испарителе позволяет получить высушенное зерно высокого качества. Современный уровень развития вычислительной техники, а также достижения в области теории тепло- и массопереноса при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов позволяют исследовать процесс сушки зерна пшеницы в замкнутом цикле по сушильному агенту при наиболее рациональных с энергетической точки зрения схемах подключения теплонасосной установки (ТНУ). В теплонасосных системах имеется возможность применять специальные осушители сжатого воздуха, которые позволяют снизить влажность теплоносителя, подаваемого к зерну и тем самым ускорить технологический процесс. Такие системы могут оснащаться воздухоохладителями, предназначенными для охлаждения просушенного зерна. В этой связи актуальной задачей является разработка комплекса математических моделей замкнутой сушильной технологической системы (СТС) для моделирования одновременно протекающих тепло-массообменных процессов: сушки зерна, осушения отработанного сушильного агента, регенерации рабочих поверхностей теплообменных устройств, рекуперативного теплообмена между теплоносителями разного температурного потенциала [12]. Представляется, что именно это направление позволит создать новые технологии энергосбережения и способы сушки зерна в прямоточных шахтных зерносушилках. [22, 21, 25, 38,]

Работа выполнена в период 2011 – 2017 гг. в Государственном аграрном университете Северного Зауралья на кафедре «Энергообеспечения сельского хозяйства» в соответствии с государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утвержденной приказом № 2446-р от 27 декабря 2010 г.

НИР ГАУ СЗ на 2005-2015 гг. «Разработать эффективную технологию сушки семян пшеницы в интересах селекции»

Степень разработанности темы. В исследование проблем зерносушения и основ процесса тепло-массопереноса в зерновом материале внесли свой вклад такие известные отечественные ученые, как Анискин В.И., Бородин И.Ф., Ксенз Н.В., Лыков А.В., Троцкая Т.П., Гинзбург А.С., Лебедев П.Д., Филоненко Г.К. и другие.

Исследованиями методов интенсификации процесса сушки занимались:

Афанасьев А.М., Гороховский А.Г., Диденко А.А., Кокурина Г.Н., Лыков А.В., Миронов Н.А., Манасян С.К., Филоненко Ф.Г. по тематике «Моделирование процессов тепло- массопереноса»;

Группа ученых: Анискин В.И., Бородин И.Ф., Голубкович А.В., Ксенз Н.В., Чижиков А.Г. рассматривали тематику «Рециркуляционные режимы сушки с применением озono-воздушных смесей»;

Бурков А.И., Дианов Л.В., Смелик В.А., Галкин В.Д. по тематике «Увеличение активной поверхности зерна»;

Годлевский В.Е., Росляков Ю.Ф., Сулинов А.В., Иванов Н.М. по тематике «Исследование влияния газового состава агента сушки на скорость протекания процесса обезвоживания»;

Бусарева Н.Н., Ефимов Н.Ф., Иванов Ю.В., Пименов Ю.Н. по тематике «Предварительный нагрев зернового материала»;

Будников Д.А., Ганеев Р.И., Лягина Л.И., Руденко Н.Б., Уразов С.И., Попов В.М. по тематике «Исследование режимов сушки с применением полей СВЧ, магнитных полей и инфракрасных излучений».

Цель исследования: интенсификация процесса конвективной сушки семян пшеницы в мягких режимах, с использованием дифференциации подвода тепловой энергии теплонасосной установкой и повышение качества конечного продукта.

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

1. Разработать расчетную схему и алгоритм расчета для процессов нагрева и охлаждения, и установить аналитические зависимости, связывающие время охлаждения/нагрева с процессами тепло- влагообмена.

2. Разработать методику исследований по выявлению закономерностей влияния режимов сушки с дифференцированным подводом тепловой энергии на КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги семян пшеницы при естественной конвекции.

3. Разработать конструкции и обосновать режимы работы зерносушильной установки, звукового сканера для сушки семян пшеницы и провести сравнительные испытания с существующими аналогами.

4. Оценить влияния мягких режимов кинетики сушки с дифференцированным подводом тепла на качественные показатели семян пшеницы.

5. Дать энергетическую и экономическую оценку сушки семян пшеницы при дифференцированном подводе тепла.

Объект исследования: технологический процесс дифференцированной сушки семян пшеницы теплонасосной установкой.

Предмет исследования: закономерности влияния параметров кинетики дифференцированной сушки семян на значения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.

Научная новизна заключается в следующих положениях:

1. Впервые разработаны расчетные схемы процессов нагрева и охлаждения и получены аналитические зависимости, которые позволяют определять технологические параметры и мягкие режимы дифференцированной сушки семян пшеницы тепловым насосом.

2. Разработана и предложена теоретическо-экспериментальная методика для определения рациональных режимов дифференцированной сушки семян пшеницы теплонасосной установкой с применением графо-аналитического способа определения коэффициентов полезного действия по номограммам.

3. Впервые разработан и испытан комплекс для определения исходных параметров зерна и КПД нагрева и испарения, состоящий из лабораторной зерносушилки на базе теплонасосной установки и звукового сканера с программным обеспечением, для проведения экспериментальных исследований

сушки семян пшеницы в условиях естественной конвекции с дифференцированным подводом тепла.

4. Впервые обоснованы мягкие режимы сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла (температура агента охлаждения от +5 до +15°C, температура агента нагрева от +30 до +75°C, время цикла охлаждения/нагрева $60\pm 15\%$, при влажности семенного материала от 13 до 27%).

5. Установлено, что предложенная кинетика сушки оказывает положительное влияние на качественные показатели семян пшеницы (после сушки семян с дифференцированным подводом тепла зараженность снижается в 2-3 раза; энергия прорастания составила 62%, всхожесть – 89%, что соответствует требованиям, предъявляемым к элитным семенам пшеницы).

6. Разработана кинетика с дифференцированным подводом теплоты для мягких режимов сушки семян пшеницы, обеспечивающая снижение энергозатрат на 1 кг испаренной влаги до 21%, и соответствие семенного материала требованиям нормативной документации (зараженность, энергия прорастания, всхожесть).

Теоретическая и практическая значимость результатов работы. Разработана теория расчета температурных параметров дифференцированной сушки семян пшеницы в условиях естественной конвекции с соблюдением мягких режимов, а также методика определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.

Полученные результаты исследований могут быть использованы в НИИ для разработки новых технических устройств для сушки семян растений различных культур, в том числе при проектировании и реконструкции комплексов по послеуборочной обработке зерна и семян.

Предложена методика определения коэффициентов полезного действия нагрева и испарения, которая позволяет оценить влияние влажностно-температурных режимов на интенсификацию процесса удаления поверхностной влаги.

Разработана методика расчетов параметров дифференцированной кинетики сушки семян в зерносушилках в программных средах MathCAD и Grain Sound Scan,

которая позволяет определять требования к температурам агента сушки и агента охлаждения для обеспечения наибольшей скорости сушки в зависимости от начальной влажности исходного материала.

Предложенная конструкция лабораторной зерносушилки, звукового сканера и компьютерная программа, которые защищены патентами РФ №152192 и №151089 и свидетельством о регистрации программы ЭВМ №2014614300, и кинетика сушки семян пшеницы в мягких режимах с дифференцированным подводом тепла внедрены в ФГБНУ «НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья» и ФГУП «Учхоз ТГСХА».

Материалы проведенных теоретических и экспериментальных исследований используются при дипломном проектировании по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» на кафедре «Энергообеспечения сельского хозяйства» и «Технические системы в АПК».

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений, законов и методов физики, тепло- массопереноса, математики, статистики и электротехники. Основные расчеты и обработка результатов экспериментов выполнялись с использованием методов статистики на ПК, в частности пакета Microsoft Office Excel и математических пакетов MathCAD и MathLAB.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методы оценки условий функционирования зерносушильных установок с применением теплонасосных установок и звукового сканера;
2. Закономерности условий эксплуатации установок на показатели кинетики сушки (коэффициент полезного действия нагрева зерновки и коэффициент полезного действия испарения поверхностной влаги);
3. Расчетная схема, математические выражения и алгоритм их применения для определения рациональных режимов дифференцированной кинетики сушки семян пшеницы;

4. Графоаналитический способ определения средних значений КПД нагрева зерновки и КПД испарения поверхностной влаги в зависимости от режимов дифференцированной сушки по номограммам.

Степень достоверности и апробации результатов исследования подтверждается корректностью поставленных задач и целей, путем сравнения результатов, полученных в ходе математических расчетов и экспериментальных исследований.

Основные положения и результаты работы докладывались, обсуждались и были одобрены:

-на ежегодных научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья» (г. Тюмень 2011-2015гг.);

-на ежегодных научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «ЧГАА» (г. Челябинск 2011-2013гг.);

-на расширенных заседаниях отделов СИБИМЭ СО РАСХН (г. Новосибирск 2015-2016гг.);

-на ежегодной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «ЮУрГАУ» (г. Челябинск 2017г.);

-на молодежном научно-инновационном конкурсе «У.М.Н.И.К.» (г. Тюмень 2012 г.).

Публикации. По результатам исследования опубликовано 19 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 патент РФ на полезную модель и 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения по работе, библиографии из 128 наименований и 16 приложений. Содержание работы изложено на 196 страницах, текст содержит 43 рисунка и 9 таблиц.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие сведения о зерне

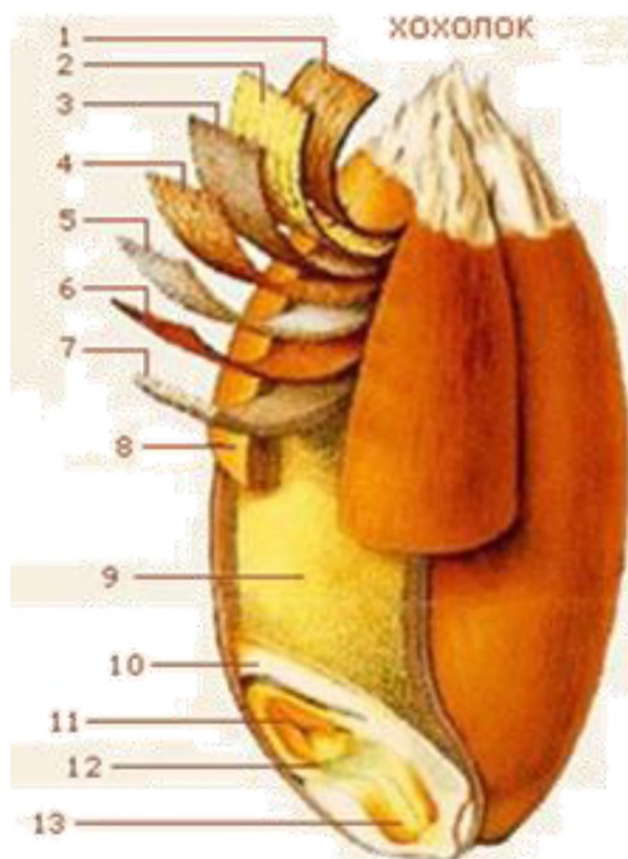
Для наиболее полного понимания сущности вопроса сушки семян, как зернового материала, в первую очередь, необходимо рассмотреть вопросы, касающиеся непосредственно самого зернового материала с биологической, химической, физической точек зрения.

Зерновым материалом являются ядра (плоды, семена) любой зерновой культуры.

Зерновые культуры, в свою очередь – важнейшая группа возделываемых растений, дающих зерно, основной продукт питания человека, сырье для многих отраслей промышленности и корма для сельскохозяйственных животных.

Зерновые культуры подразделяются на хлебные и зернобобовые. Большинство хлебных зерновых культур (пшеница, рожь, рис, овёс, ячмень, кукуруза, сорго, просо, чумиза, могар, пайза, дагусса и др.) принадлежит к ботаническому семейству злаков; гречиха — к семейству гречишных; мучнистый амарант — к семейству амарантовых. Зерно хлебных зерновых культур содержит много углеводов (60—80 % на сухое вещество), белков (7—20 % на сухое вещество), ферменты, витамины комплекса В (В1, В2, В6), РР и провитамин А, чем и определяется высокая питательность его для человека и ценность для кормового использования. [103]

Зерно - это живой организм, в котором происходит непрерывный обмен веществ. По строению структура зерна – капиллярно-пористое коллоидное тело с большим количеством капилляров. По ним влага в процессе сушки поступает изнутри зерна на поверхность, откуда испаряется. [5, 24, 61, 63]



1,2,3 – плодовые оболочки; 4,5,6 – семенные оболочки; 7 – алейроновый слой; 8 – слои клеток плодовой оболочки пшеницы с поверхности; 9 – эндосперм; 10 – щиток; 11 – почечка; 12 – осевая часть зародыша; 13 – корешок[104]

Рисунок 1.1 – Продольный разрез пшеницы

Внутреннее строение зерна довольно сложно (Рисунок 1.1). Основное содержимое зерна состоит из мучнистого тела, или семенного белка (эндосперма), клетки которого наполнены крахмальными зёрнами и клейковиной (в меньшем количестве, особенно во внутренних частях), и зародыша (етбруо), расположенного у основания корня. Зародыш и эндосперм покрыты семенной оболочкой (perispermium), состоящей из двух слоев: пигментного (чаще всего желто-оранжевого цвета), непосредственно прилегающего к эндосперму, и внешнего. За этими двумя слоями семенной оболочки расположена плодовая оболочка (pericarpium), образуемая из стенок завязи и состоящая из трех слоев: внутриплодника (endocarpis), надплодника (epicarpis) и наружного (epidermis). Зерна с пленчатыми плодами, например, овса, ячменя, проса, покрыты еще

цветочными пленками (paleae), которые образуют так называемую мякинную оболочку. Примыкающий к семенной оболочке слой эндосперма, не содержащий крахмала и состоящий из толстостенных клеток, наполненных мелкозернистой массой азотистых веществ, называется клейковинным. Клейковина находится также в клетках всего эндосперма зерна и для отличия этот слой называют алейроновым, вследствие содержания в клетках этого слоя алейроновых зерен, состоящих из белка, жира и минеральных веществ. Алейроновый слой легко поглощает воду из окружающей среды и служит передатчиком ее зародышу, которому вода нужна для прорастания. Соотношение между главными частями зерна — эндоспермом и оболочками — у различных хлебов различно. Так, например, у овса масса эндосперма зерна в среднем составляет 47—61% веса зерна, а масса оболочки — 25—49%; у ячменя оболочки составляют 7—15%; у пшеницы эндосперм составляет в среднем около 86% веса зерна, а оболочки — 11 — 12,5% [127].

Зародыш залегает у основания зерна, на его выпуклой стороне. Он состоит из щитка, который отделяет его от эндосперма, и служит передатчиком резервных веществ эндосперма внутрь зародыша — почки, покрытой зачаточными листьями (plumula) первичного стебля и корешков (radicula). По отношению к весу зерна зародыш составляет у пшеницы, ржи и ячменя 1,5—3%, у овса 3—4% и у кукурузы 10—14%. [105, 127]

Химический же состав зерна сильно варьирует даже в пределах одного вида злаков; он зависит от сорта растения, условий его произрастания и других факторов.

В состав зерна входят такие вещества как безазотистые экстрактивные, азотистые вещества, жиры, фосфатиды, фетин, стерины, зола и вода. Все эти вещества содержатся в зерне в определенных пропорциях, которые могут изменяться в зависимости от некоторых условий, но наиболее варьируемым является содержание воды [127, 128].

По содержанию этих веществ определяются основные показатели качества зерна, так, например, одним из основных показателей является содержание воды.

Вода содержится в зернах как в свободном, так и в связанном с коллоидными веществами зерна виде.

Зерно гигроскопично — оно может отдавать влагу или поглощать ее в зависимости от содержания водяных паров в атмосфере.

Содержание воды в зерне колеблется в довольно широких пределах: оно зависит как от степени зрелости зерна, условий уборки и обмолота, так и от условий хранения. В таблице 1.1 приведены принятые категории оценки зерна по влажности (в %). [22, 128]

Таблица 1.1 – категории влажности зерна [26]

Культура	Состояние зерна					
	сухое	Средней сухости		влажное		Сырое
	до	От	До	От	До	свыше
Ячмень	14	14	15,5	15,5	17	17
Овес	14	14	16	16	18	18
Рожь	14	14	15,5	15,5	17	17
Пшеница	14	14	15,5	15,5	17	17
Кукуруза	14	14	17	17	20	20
Просо	13,5	13,5	15	15	17	17
Кукуруза в початках	16	16	18	18	20	20

Сухое зерно хорошо переносит длительное хранение и транспортировку в любое время года, в то время как зерно средней влажности хорошо сохраняется только в холодное время и нуждается в особом наблюдении. Влажное зерно может храниться только в холодное время года, но и тогда имеется опасность порчи. Сырое зерно без предварительной обработки не подлежит ни хранению, ни транспортировке ввиду опасности порчи. [105, 128]

Если влажность зерна превышает 15%, то оно начинает интенсивно дышать; при этом выделяется много тепла, повышается температура зерновой массы - возникает процесс самосогревания. Создаются условия, способствующие развитию и размножению различных микроорганизмов - бактерий и плесеней, которые дышат гораздо интенсивней, чем само зерно. Поэтому при их развитии процесс самосогревания массы влажного зерна происходит особенно быстро, и зерно может

испортиться за очень короткий срок [5, 24, 63]. Сроки хранения семян зерновых культур в зависимости от влажности представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Допустимые сроки хранения семян зерновых культур, сут. [26]

Влажность зерна, %	Температура, °С					
	-1,1	4,4	10	15,5	21,1	26,7
14	*	*	*	*	200	140
15	*	*	*	240	125	100
16	*	*	230	120	70	40
17	*	280	130	75	45	20
18	*	200	90	50	30	15
19	*	140	70	35	20	10
20	*	90	50	25	14	7
22	190	60	30	15	8	3
24	130	40	15	10	6	2
26	90	35	12	8	5	2
28	70	30	10	7	4	2
30	60	25	5	5	3	1

* допустимы срок хранения более 300 суток

В массе сухого зерна бактерии и плесени не размножаются. Оно хорошо переносит охлаждение даже до очень низких температур. Для того чтобы свежееубранное зерно с влажностью выше 15... 16% не испортилось при хранении и не потеряло своих посевных качеств, его нужно сразу же просушить [5, 24, 61, 63].

Технологические свойства зерна находятся в тесной зависимости от его структуры. Важно выяснить, насколько взаимосвязаны их изменения под воздействием тепла и влаги.

Большое влияние на процесс изменения влажности оказывает то, что ткани зерна построены из высокополимеров, о которых было сказано ранее. Поэтому любое изменение содержания влаги сказывается на их физико-химических свойствах и термодинамических характеристиках состояния, а через них и на технологических свойствах зерна. Не меньшее значение имеет также изменение температуры, в результате которого изменяется состояние поглощенной тканями зерна воды, степень ее «связанности». Наконец, очень важно то, что зерно

представляет собой живой организм, в обычных условиях хранения находящийся в состоянии покоя [128].

Независимо от метода и режима гидротермической обработки наибольшим изменениям подвержена семенная оболочка, меньше изменяются плодовая оболочка и алейроновый слой.

Попытаемся разобраться какими же способами можно сушить зерновой материал и какие из них наиболее распространены и выгодны.

1.2 Анализ существующих способов сушки семян

Зерносушение - специальная отрасль знаний, так как только технически и биологически грамотное проведение данного приема обеспечивает нужную технологическую эффективность при наиболее экономных затратах топлива, электрической энергии, рабочей силы и т.д. [68]

Процесс сушки – это способность зерна или семян испарять влагу, когда под действием температуры внутри зерна создается давление паров, которое намного выше, чем давление паров окружающей среды. При нагревании зерна влага от центра перемещается к периферии и постепенно испаряется с поверхности зерна. При таком процессе всхожесть семян не снижается. При сушке зерна устанавливают определенный съем влаги за один пропуск [72]. При сушке семян зерновых культур этот съем должен быть 5 – 6 %, зернобобовых и гречихи – не более 3 %. Сушка – наиболее сложный и энергоемкий процесс, на её долю приходится 2/3 всех затрат на послеуборочную обработку.

Сушка включает следующие физические явления: передача тепла к зерну (от агента сушки, радиационный (оптическим излучением), электромагнитными полями высокой частоты); движение влаги из центральных слоёв зерна к периферии под действием термовлагопроводности; испарение влаги с поверхности зерна и диффузия паров в окружающую среду.

Процесс сушки можно представить в виде 3 периодов:

1. Короткий период прогрева: сушка идёт медленно из-за пониженной температуры и плохой передачи влаги от центра к периферии;
2. Постоянной скорости сушки: испарение влаги идёт равномерно;
3. Убывающей скорости сушки: начинается, когда приток влаги из центральных слоёв оказывается недостаточным, а поверхностные слои не насыщены влагой.

Продолжительность высушивания и эффект влагоотдачи зависят как от самого объекта сушки (семян той или иной культуры, их влажности и т. д.), так и от состояния и свойства агента сушки- той среды, которая обладает значительной «влагоемкостью». В связи с этим довольно детально изучены свойства зерна и семян различных культур (отдельно семян и их массы) и свойства агентов сушки при различных параметрах.

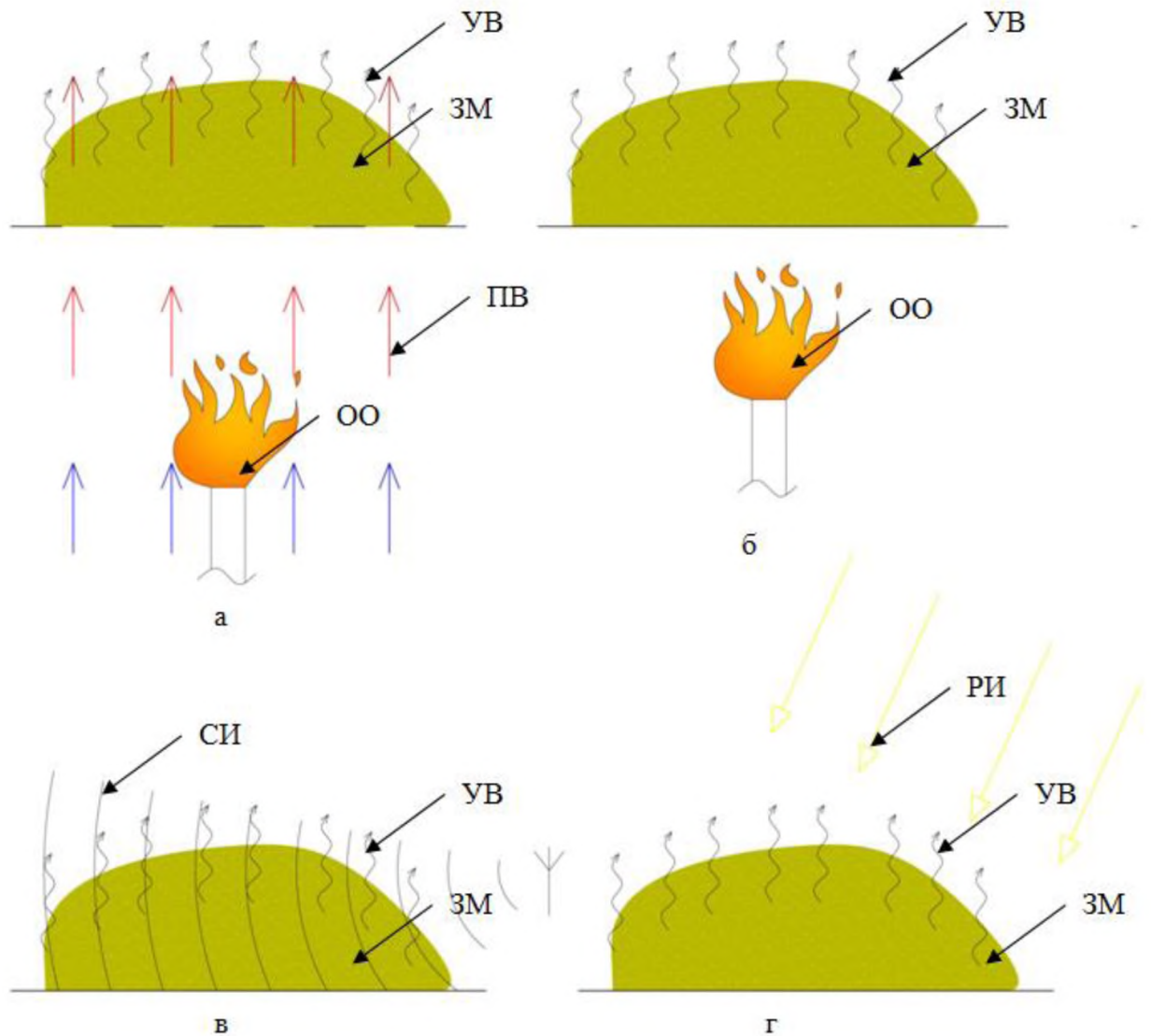
Влагоотдающая способность семян неодинакова. Она зависит не только от их размеров, но и анатомических особенностей. Самый высокий коэффициент влагоотдачи у гречихи, самый низкий – у бобовых.

Все способы сушки зерна и семян разделяют на две группы: без специального использования тепла (без подвода тепла к высушиваемому объекту); с использованием тепла (рисунок 1.2).

Из способов сушки, относимых к первой группе, в сельскохозяйственном производстве применяют химическую (сушку сульфатом натрия) и сушку природным воздухом с использованием для этого установок активного вентилирования зерновых масс.

Сушка сульфатом натрия предложена для семян бобовых культур. Природный (высушенный озерно-морской минерал мирабилит) или технический сульфат натрия обладает хорошей водопоглотительной способностью. Сушку ведут равномерно смешивая агент с семенами перелопачиванием или используя зернопогрузчики. При влажности 20 - 24 % семена за весь период перемешивают два раза, при большей влажности - три-четыре раза в течение суток в первый период сушки. Продолжительность сушки 5...10 сут, в зависимости от исходной влажности семян, культуры, состояния наружного воздуха и других факторов. Для

доведения влажности семян до кондиционной расход безводного сульфата натрия составляет (кг / т): при влажности семян 20% - 60, 25% -120, 30% -180, 35 % - 240. Влажность химиката 1-5%.



а – конвективная сушка, б – кондуктивная сушка, в – СВЧ сушка, г – радиационная сушка, ЗМ – зерновой материал, ОО – открытый огонь, ПВ – поток воздуха, УВ – удаляемая влага, СИ – СВЧ-излучение, РИ – радиационное (оптическое) излучение

Рисунок 1.2 – Способы сушки зернового материала

Заключительный этап работы - отделение увлажнившегося сорбента от семян. Для этого применяют пневматическую семяочистительную колонку с зернопогрузчиком или другие зерноочистительные машины. Использованный

сульфат натрия обладает высокой важностью (до 40..45%). Вторично его можно применять только после воздушно-солнечной сушки. Сухой препарат при смешивании с семенами пылит, поэтому занятые на такой работе люди должны надевать пылезащитные приспособления.

Второй способ (с подводом тепла) основан на создании условий, обеспечивающих повышение влагоемкости паровоздушной среды, окружающей зерно. В этом случае агентом сушки (теплоносителем) служит воздух, влагоемкость которого значительно повышается в результате нагрева. Наиболее распространенный способ с использованием тепла - сушка в специальных устройствах - зерносушилках и сушка на солнце (воздушно-солнечная) [8].

Передавать тепло можно конвективным, кондуктивным, радиационным способами и электротоком. Рассмотрим каждый из них подробнее:

Конвективный способ сушки зерна.

Во всех зерносушилках, применяемых в сельском хозяйстве, тепло передаётся конвективным способом. Агент сушки служит не только для передачи тепла зерну, но и одновременно для поглощения испарившейся из него влаги.

Сушить зерно конвективным способом можно смесью топочных газов с воздухом или атмосферным воздухом, нагретым в теплообменнике. Сушка нагретым воздухом исключает попадание в сушильную камеру продуктов сгорания топлива (сернистого газа, дыма).

Конвективный способ сушки можно применять при разном состоянии зернового слоя - плотном или разрыхлённом, в пересыпающемся, падающем или взвешенном состоянии. [62]

Сушка зерна в плотном неподвижном слое осуществляется на различного типа напольных, треугольных, ромбических сушилках, построенных в хозяйствах по типовым или индивидуальным проектам.[24] Процесс сушки происходит следующим образом:

- зерно высыпается самосвалом на сетчатый пол и разравнивается вручную в напольных зерносушилках;

- транспортёром заполняет пространство между сетками на треугольных и ромбических сушилках;

- теплоноситель подаётся под сетчатый пол на напольных и в межсеточное пространство на треугольных и ромбических сушилках.

В зависимости от влажности зерна процесс сушки длится в течение 20...36 ч и более . [24] При сушке в плотном неподвижном слое невозможно осуществить поточный процесс. Другими недостатками этого способа являются:

- сушка неравномерна по высоте насыпи и по площади сушильной камеры (при выравнивании поверхности насыпи зерна рабочий вынужден ходить по насыпи, что обуславливает различное уплотнение слоя и разное сопротивление его проходу воздуха в случае использования напольных сушилок). При использовании напольных сушилок имеет место дополнительное травмирование зерна колесами автомобиля, погрузчика;

- очень большая неравномерность влажности по толщине слоя (при сушке на ромбических и треугольных зерносушилках). [24]

Сушка зерна в плотном движущемся слое. В плотном гравитационно движущемся слое контакт между зёрнами сохраняется. Однако вследствие относительного смещения зёрен точки контакта непрерывно обновляются. Активная поверхность из-за смещения зёрен также меняется, что также способствует ускорению процесса сушки. При движении слоя несколько увеличивается его скважистость, что также повышает скорость сушки. Зерно высушивается более равномерно, чем в неподвижном слое. [4]

Сушка в плотном движущемся слое происходит в шахтных, колонковых, жалюзийных, бункерных и карусельных зерносушилках. При сушке данным способом необходимо обеспечить равномерность движения зерна по сушильной камере. Из-за неравномерности движения зерна неравномерность нагрева может достигать более 10°C. [39] Равномерность движения зерна достигается путём обеспечения порционной выгрузки по всей ширине сушильной камеры и обеспечения обеспечения движения с наименьшим числом препятствий внутри сушильной камеры. В сушильных камерах шахтных сушилок с большим

количеством коробов сложно сушить зерно влажностью выше 25% и особенно выше 30%. Зерновая масса имеет плохую сыпучесть и склонна к зависанию между коробами. Это увеличивает продолжительность обработки, перегрев и порчу зерна, а иногда загорание лёгких органических примесей. [28] К таким же результатам приводит отсутствие в бункерных зерносушилках механического выгрузного устройства.

Сушка в пересыпающемся слое.

Такой способ сушки применяют только в барабанных зерносушилках. Камерой сушки служит пустотелый барабан, внутри которого размещены лопасти и полочки, поднимающие зерно и распределяющие его по всему сечению барабана. При его вращении лопасти поднимают зерно, затем оно падает вниз, пересыпается с полочки на полочку и пронизывается агентом сушки. Зерно можно сушить независимо от его влажности и засоренности; зерно хорошо перемешивается и интенсивно продувается агентом сушки, при этом оно равномерно нагревается и просушивается. Процесс сушки происходит при температуре агента сушки 150 – 200° С. Экспозиция сушки 20 – 40 минут. Съём влаги до 6 процентов. [62].

Недостатки этого способа:

- сушка производится смесью топочных газов с воздухом (подогрев воздуха в теплообменнике до температуры 200°С приводит к неоправданно большим энергозатратам);

- невозможность сушки зерна влажностью более 21 процента в потоке (необходим неоднократный пропуск зерна через зерносушилку);

- невозможность обеспечить сушку семенного зерна (применение мягких режимов сушки приводит к 4-х кратному уменьшению производительности и влагосъема). [62]

Конвективную сушку разрыхлённого или кипящего слоя осуществляют на сетке (сите). На ней зерно продувается агентом сушки со скоростью 1,0... 1,2 м/с. В зависимости от скорости агента сушки зерновой слой имеет разную степень разрыхления, начиная от слабо разрыхлённого до кипящего напоминающего по виду сильно кипящую жидкость. Зерно перемещается к выходу при

незначительном наклоне сетки. Чем больше скорость продувания зернового слоя, тем сильнее оно перемешивается. При больших площадях сетки не обеспечивается равномерное продувание зернового слоя. Поэтому наблюдается неравномерность нагрева и сушки зерна. В кипящем слое при толщине 100 мм и температуре агента сушки 120...140°C, то есть температура его почти достигает максимально допустимого значения (50...60° C), а снижение влажности зерна за это время составляет не более 2,0...2,5%. При температуре агента сушки 60°C влажность зерна снижается за 1 мин на 1%. Вследствие малого снижения влажности при быстром нагревании зерна зерносушилки с кипящим слоем не нашли практического применения. [62, 72]

Кондуктивный способ сушки зерна.

Сушка зернового слоя, насыпанного непосредственно на горячую поверхность, малоэффективна и требует большого расхода тепла. При таком способе нижний слой зерна, соприкасающийся с горячей поверхностью, быстро нагревается, в это же время поверхностный слой почти не нагревается и не просушивается. [62, 72]

Разновидностью кондуктивной сушки является сушка в вакууме. В вакуум-сушилках тепло передаётся зерну от стенок паровых труб, а испаряемая влага непрерывно откачивается вакуум-насосом и поступает в конденсатор. Чем больше вакуум в зерносушилке, тем интенсивнее испаряется влага из зерна и тем ниже температура его нагрева [72].

Однако значительный расход электроэнергии на работу вакуум – насосов, потребность в установке парового котла и охладителя, а также сложность устройства для обеспечения герметичности поступления зерна в вакуум-сушилку и при выпуске из неё является причиной того, что эти зерносушилки не нашли широкого применения. [62, 72]

Радиационный способ сушки зерна.

К этому способу относят солнечную сушку, когда зерно рассыпают на открытой площадке и оно нагревается от солнечных лучей, а испарившаяся влага поступает в атмосферу. Скорость солнечной сушки увеличивается при тонком

зерновом слое и при наличии ветра над слоем. Солнечную сушку применяют в отдельных случаях для сушки небольших партий семенного зерна.

Радиационную передачу тепла зерну можно осуществить при помощи инфракрасных (тепловых) лучей от инфракрасных излучателей. Ламповые генераторы инфракрасного излучения просты и безопасны в работе, но имеют низкий КПД и потребляют около 5 кВт·ч. на 1 кг испарённой влаги. Кроме того при инфракрасном облучении слой надо непрерывно перемешивать, испаряемую влагу удалять в атмосферу, а просушенное зерно направлять в охладитель, что усложняет устройство и обслуживание сушилок. [62, 72]

Сушка в электрическом поле высокой частоты (ТВЧ)

Сущность этого способа состоит в том, что зерно находится в поле токов высокой частоты, в котором энергия превращается в теплоту, благодаря чему зерно нагревается.

Температура зерна в поле ТВЧ быстро повышается (в течение нескольких секунд), причём однородный материал нагревается равномерно по всей толщине. [62] Разогрев зерна происходит за счёт передачи ему (как и любому токопроводящему материалу) энергии путём передачи молекулам дополнительной кинетической энергии (разгона молекул). Влияние сушки ТВЧ на семенные и продовольственные качества зерна трактуются разными авторами неоднозначно. Этот способ требует большого расхода электроэнергии (до 5 кВт в ч на 1 кг испарённой влаги). [62, 41, 69]

В настоящее время наиболее распространён конвективный способ сушки зернового материала с использованием горелочных устройств, работающих на природном газу, т.к. именно природный газ является относительно не дорогим энергоносителем по сравнению с электроэнергией и нефтепродуктами.

Конвективная сушка относится к тепловому способу обезвоживания материала. Всего же их существует три: тепловой, сорбционный (контактный) и механический (отжим, центрифугирование). Тепловая сушка связана с обязательным превращением жидкости в пар, на что расходуется тепловая энергия.

Но, для работы сушилки недостаточно испарить влагу из зерна, надо еще ее удалить из аппарата. Для этого в конвективных сушилках используется агент сушки. [22]

В качестве агента сушки применяют нагретый воздух или смесь его с газообразными продуктами сгорания. Для получения Агента сушки используются следующие источники тепловой энергии:

теплообменники;

горелки твердого, жидкого или газообразного топлива;

электрические нагревательные установки непосредственного и косвенного нагрева.

Так как наибольшим КПД обладают именно горелки жидкого и газообразного топлива, они приобрели наибольшее распространение в зерносушильной технике.

1.3 Анализ существующих технических средств сушки семян и перспективы их развития

К концу 20 века были разработаны различные технические средства сушки зернового материала. К данным техническим средствам относятся различные типы зерносушилок.

Данные установки классифицируются по принципу работы, по конструкции, а также по режиму работы. Классификация зерносушилок представлена схематично (рисунок 1.3).

При всем разнообразии современных зерносушилок имеется возможность группировки их по наиболее отличительным технологическим и внешним конструктивным признакам.

По способу сушки преимущественное место занимают зерносушилки с конвективным теплоподводом. Зерносушилки с другими способами теплоподвода (кондуктивным, терморadiационным, высокочастотным) составляют очень небольшую группу опытных или опытно-промышленных образцов.



Рисунок 1.3 – Классификация зерносушилок

В конвективных зерносушилках в качестве агента сушки используется воздух, нагреваемый в калорифере или непосредственно в топке путем смешивания с продуктами сгорания топлива.

Различие в способе нагрева воздуха обуславливает деление всех зерносушилок по этому показателю на две большие группы.

По режиму работы зерносушилки подразделяются на непрерывно действующие и периодического действия.

В непрерывно действующих сушилках зерно в ходе процесса сушки перемещается в сушильной камере от места загрузки к месту его выпуска. Соответственно этому меняется влажность зерна, но в каждом сечении сушильной камеры влажность зерна и параметры агента сушки остаются во времени постоянными, то есть сушка происходит при установившемся режиме. Зерно перемещается в сушильной камере или под действием гравитационных сил, либо в результате аэродинамического или механического воздействия.

Достоинством непрерывно действующих сушилок являются более полное использование сушильной камеры, так как исключаются простои ее во время

загрузки и разгрузки; лучшие условия для контроля и автоматизации процесса сушки; возможность использования их в поточных технологических линиях. Кроме того, эти сушилки не требуют периодического прогрева, в связи с чем удельный расход теплоты на сушку в них ниже, чем в периодически действующих.

Недостатком некоторых конструкций непрерывно действующих сушилок является неравномерность движения зерна по сечению рабочей камеры и, как следствие этого, неравномерность его нагрева и сушки.

В периодически действующих сушильных установках зерно загружают в рабочую камеру на полную ее вместимость, высушивают до требуемой влажности без перемещения и полностью выгружают. Влажность зерна и параметры агента сушки меняются в каждом сечении сушильной камеры во времени. Они меняются и в направлении потока агента сушки.

Периодически действующие сушилки, как правило, используют для сушки небольших партий зерна однородного по качеству. Они применяются для сушки кукурузы в початках, а также отдельных партий семенного зерна.

Достоинством сушилок периодического действия являются простота конструкции и возможность регулирования режима сушки путем подачи агента сушки с различными параметрами на разных этапах сушки. Эффективность сушки в них может быть повышена путем перемешивания зерна с помощью шнеков, расположенных в слое. Положительные результаты достигаются также и при реверсировании продувания зернового слоя.

Недостаток сушилок периодического действия - это простой их во время загрузки и выгрузки зерна, а также произвольные потери тепла на прогрев сушилки после загрузки в нее очередной партии зерна. Неэффективно используется и транспортное оборудование, простаивающее в течение всего процесса сушки.

По технологической схеме сушки различают прямоточные и рециркуляционные зерносушилки. В прямоточных сушилках зерно проходит через сушильную камеру один раз, т. е. по схеме "идеального" вытеснения.

Рециркуляционные зерносушилки в отличие от прямоточных имеют устройства для возврата части просушенного зерна, выпускаемого из сушилки, и

смешивания его со свежим зерном, поступающим на сушку. Они имеют также специальные емкости, называемые тепловлагообменниками, для отлежки смеси сырого и рециркулирующего зерна. Для рециркуляционных сушилок характерна многократная циркуляция зерна.

Прямоточные и рециркуляционные зерносушилки могут иметь устройства для предварительного нагрева зерна.

По состоянию зернового слоя различают сушилки с неподвижным, гравитационно-движущимся, псевдосжиженным и взвешенным слоем. Все более широкое распространение получают сушильные установки с комбинированной обработкой зерна в слое разной структуры.

По конструкции сушильной камеры (рис. 1.4 а,б,в,г), барабанные (д), камерные (е,ж), пневмотрубные (з), конвейерные (и) зерносушилки. Они могут состоять из одной или нескольких сушильных камер одинаковой конструкции, работающих параллельно или последовательно. Имеются например, одно- и двухшахтные, одно- и двухбарабанные зерносушилки. Камерные сушилки включают иногда до десяти и более параллельно работающих сушильных камер.

Особую группу составляют комбинированные многокамерные установки (рис. 1.4 к,л,м), состоящие из сушильных камер разной конструкции с разным состоянием зернового слоя. Новые зерносушилки, работающие с предварительным нагревом и рециркуляцией зерна, включают, например, камеру с падающим слоем зерна и шахты; камеру с псевдосжиженным слоем и шахты и некоторые другие конструкции [60, 65].

Широко распространенным типом зерносушильной камеры, в том числе и в новых конструкциях сушилок, является шахта, представляющая собой вертикальную камеру прямоугольного сечения с поперечно продуваемым движущимся зерновым слоем. Толщина слоя обычно составляет 100-250 мм и не превышает 500 мм. Стенки шахты делают либо сетчатыми или жалюзийными, либо внутри шахты размещают систему каналов (коробов), через которые подводят свежий и отводят отработавший агент сушки.

В нижней части шахты устанавливают выпускное устройство, с помощью которого создают подпор зерна и регулируют время пребывания его в шахте.

Для кратковременного нагрева зерна применяют камеры шахтного типа с падающим слоем. Для механического торможения падающего слоя зерна внутри такой камеры размещают многоярусную систему стержней или решеток, гирлянд свободно висящих шаров или конусов.

Многие зарубежные фирмы в последнее время отдают предпочтение конструкциям сушильных камер с перфорированными стенками, что объясняется стремлением упростить конструкцию сушилки, снизить ее металлоемкость.

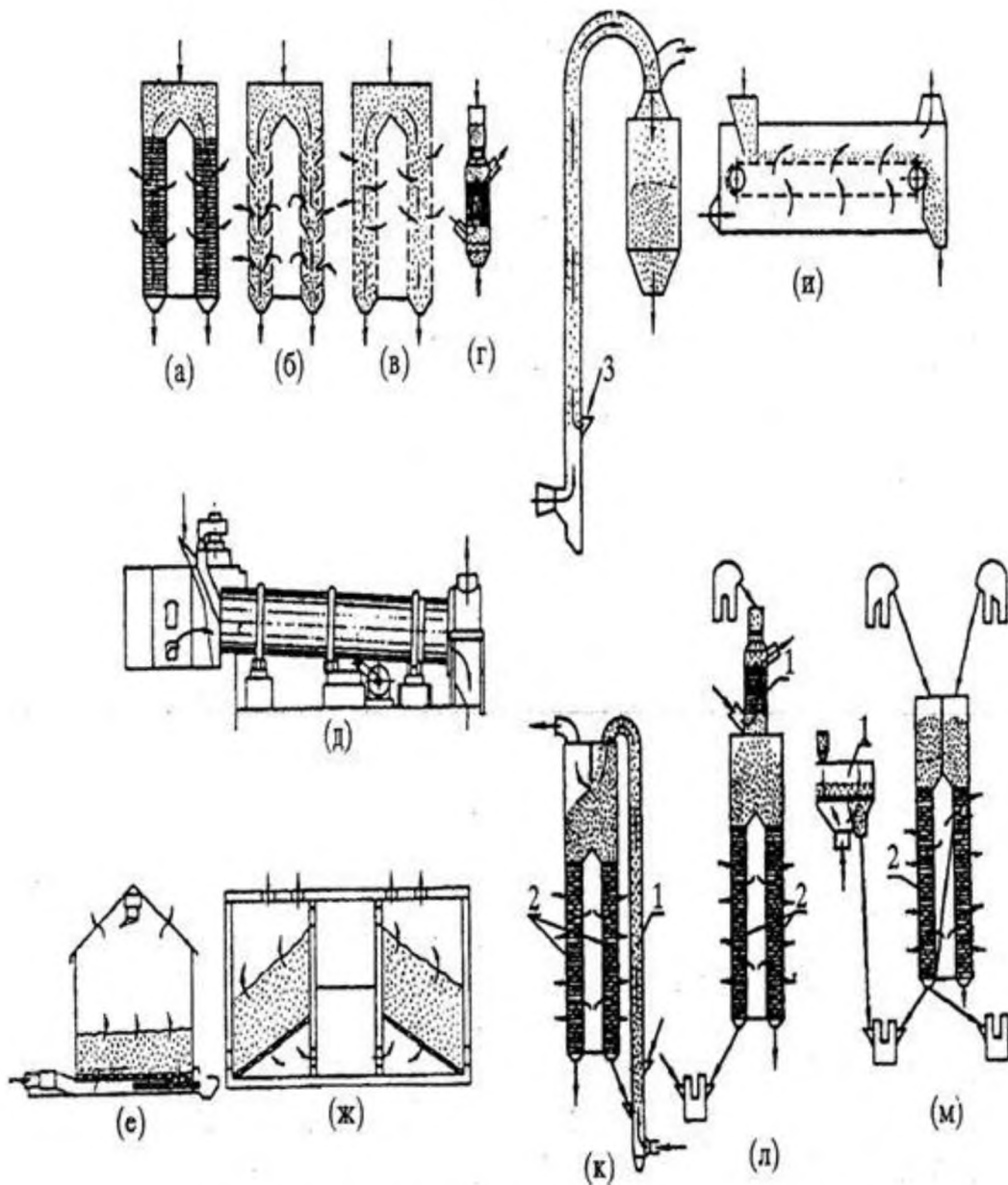
В барабанных зерносушилках сушильная камера представляет собой полый вращающийся цилиндр, внутри которого устанавливают насадку в виде лопастей, способствующих разрыхлению и пересыпанию зерна при его движении вдоль барабана. Обычно зерно и агент сушки движутся внутри барабана прямолинейно, но используют и противоточные барабанные сушилки.

Камерная сушилка наиболее проста по устройству. Основной ее частью является прямоугольная или круглая камера с наклонным или горизонтальным сетчатым днищем. При горизонтальном днище разгрузка зерна осуществляется через центральное отверстие в днище вначале самотеком, а затем с помощью поворачивающегося шнека-подборщика. При наклонном днище камера разгружается самотеком.

Конвейерные сушилки представляют собой туннель, внутри которого на сетчатой ленте перемещается высушиваемое зерно.

По конструктивному исполнению различают стационарные и передвижные зерносушилки.

Стационарные сушилки встраивают в рабочие здания элеваторов или сушильно-очистительные башни (СОБ); устанавливают в отдельных зданиях, привязанных транспортными коммуникациями к элеваторам; на открытых площадках рядом с силосным корпусом; в торце силосного корпуса элеватора или в разрыве между рабочим зданием и силосным корпусом, в зданиях зерноочистительно-сушильных комплексов колхозов и совхозов. [106]



а-шахта с воздураспределительными коробами;
 б - шахта с жалюзийными стенками; в - шахта с сетчатыми стенками;
 г-шахта с тормозящими элементами; д - барабан; е - силос с сетчатым
 днищем; ж - камера с решетчатым днищем; з - пневмотруба; и - контейнер
 сетчатый; к - пневмотруба с шахтой; л-камера с падающим слоем зерна и шахта;
 м-камера с псевдосжиженным слоем зерна и шахта.

Рисунок 1.4 – Конструкции сушильных камер

Стационарные сушилки изготавливают полностью из металла или строят из железобетона и металла. Основные узлы сушилок производят в заводских условиях, а собирают на строительной площадке. Железобетонные сушилки служат десятки лет, срок службы металлических сушилок рассчитан на 7-8 лет.

Стационарные сушилки имеют, как правило, высокую производительность. Их используют в механизированных технологических линиях приема и послеуборочной обработки зерна.

Передвижные сушилки используют для сушки небольших партий зерна. Все оборудование сушилки, включая тепловентиляционное и транспортное, располагается на одной раме с колесным ходом.

Такие сушилки можно перевозить на буксире по территории хлебоприемных предприятий, по шоссейным и грунтовым дорогам, а также по железной дороге на платформах. Производительность передвижных сушилок ограничена габаритными и транспортными возможностями, обычно она не превышает 8-10 т/ч [19].

Приведенная классификация группирует зерносушилки не только по внешним признакам и конструктивной сложности, но, что очень важно, по характеру теплового воздействия на зерно и интенсивности протекающих в нем теплофизических, влагопереносных и биохимических процессов [9, 19].

Вопрос о выборе той или иной конструкции зерносушилки, также, как и технологии сушки, должен решаться в каждом конкретном случае в зависимости от свойств зерна, его начальной влажности и целевого назначения [9-11, 60, 70, 71].

Зерносушилки непрерывного действия состоят из сушильной и охладительной шахт, камеры нагрева сырого, либо смеси сырого и рециркулируемого зерна, над- и подсушильного бункеров, загрузочного и выпускного устройств, транспортирующего оборудования для подачи: сырого (рециркулируемого) и уборки просушенного зерна, тепловентиляционной системы, оборудования и приборов для дистанционного контроля и автоматического регулирования процесса сушки [9-11, 60, 70, 71].

Сушильные и охладительные шахты. Выполнены в виде вертикальных шахт прямоугольного сечения, внутри которых горизонтальными рядами устанавливают

короба пятигранной формы. Их монтируют открытой частью вниз, торцами они упираются в стенки шахты. Против одного из торцов каждого короба в шахте сделано окно, а с другого торца он закрыт. Короба разделяют на подводящие и отводящие: у первых окна расположены со стороны подачи агента сушки (сушильная шахта) или воздуха (охладительная шахта), у вторых — с противоположной, стороны [27].

Пространство между коробами заполняется зерном. Агент сушки (или воздух), поступающий из подводящего короба, проходит через слой зерна (толщину слоя и направление потока определяют взаимным расположением подводящих и отводящих коробов) и попадает в отводящий короб. В шахтных прямоточных зерносушилках, как правило, в верхней части шахты находится зона сушки, а в нижней - зона охлаждения. В первой зерно продувается агентом сушки, а во второй - воздухом. В рециркуляционных зерносушилках одну из шахт (рециркуляционную) можно полностью использовать как сушильную, а вторую - в качестве сушильно-охладительной [27, 126].

Камеры нагрева. Применяют в рециркуляционных сушилках для кратковременного нагрева зерна агентом сушки с высокой температурой. Их выполняют в виде вертикальных шахт прямоугольного или круглого сечения. Внутри шахт для механического торможения падающего слоя размещают специальные тормозные элементы в виде каскадно расположенных полок, многоярусных гирлянд свободно висящих шаров (конусов), системы горизонтально расположенных труб (стержней) [9-11, 60, 70, 71].

Над- и подсушильные бункера. Служат для предотвращения утечки агента сушки (или воздуха) из шахт. Надсушильный бункер также обеспечивает непрерывную работу сушиллки при кратковременных перебоях в подаче зерна транспортными механизмами.

Загрузочное устройство. Необходимо для организации равно мерного движения зерна по сечению шахты, либо камеры нагрева. В шахтных прямоточных и некоторых рециркуляционных зерносушилках (без камеры нагрева или с отдельно стоящей камерой нагрева) при помощи загрузочного устройства зерно

подают в надсушильный бункер. При такой схеме подачи сводится к минимуму влияние самосортирования, вследствие которого могут создаваться неблагоприятные условия для движения зерна по сечению шахты.

В камерах нагрева рециркуляционных зерносушилок используют загрузочные устройства бункерного типа с задвижкой или с питателем роторного типа. Располагают их непосредственно под надсушильными бункерами.

Выпускное устройство. Необходимо для регулирования скорости движения зерна в шахтах. Наибольшее распространение получили выпускные устройства непрерывного и периодического действия, а также комбинированные, сочетающие непрерывный и периодический способы выпуска [27].

К выпускным, непрерывно действующим устройствам количество зерна, выпускаемого из шахты, за каждый ход каретки, зависит от расстояния между лотками и полками каретки, величины хода и числа ходов каретки. Чем выше подняты лотки и чем больше амплитуда и число колебаний каретки, тем больше зерна выходит из шахты и выше скорость его движения. Расстояние между лотками и полками можно изменять. В первом случае уменьшают или увеличивают производительность сушилки, во втором — лишь отдельных ее участков. Второй способ применяют для выравнивания скорости перемещения зерна по сечению шахты. Амплитуду и число колебаний каретки регулируют, изменяя эксцентриситет и частоту вращения вала эксцентрикового механизма. Выпускное устройство этого типа требует периодической очистки от крупных соломистых примесей, накапливающихся между лотками и полками каретки.

В выпускном, периодически действующем устройстве типа ВТИ в верхней раме сделаны скаты в виде трехгранных призм, между которыми поперек шахты расположены отверстия для выпуска зерна. Число отверстий равно числу коробов в одном ряду шахты.

В результате периодического выпуска сор на полках подвижной рамы не накапливается. Кроме того, выпуск большого количества зерна способствует быстрому опусканию его в шахте и лучшему перемешиванию, в результате чего

устраняются зоны застоя зерна или слеживания сора. Однако в период между открываниями затвора зерно в шахте неподвижно, поэтому возможен его перегрев.

Комбинированное выпускное устройство сочетает в себе непрерывный и периодический способы выпуска зерна. В нем коленчатый рычаг связан одной тягой с эксцентриковым механизмом непрерывного выпуска зерна, а другой - с механизмом периодического выпуска. В этом случае зерно из шахты выпускается непрерывно при неполном открывании затвора. В то же время в результате периодического полного открывания затвора устраняются застои зерна и сора в шахте и между рамами.

Бесприводное выпускное устройство представляет собой металлический бункер с рассекателями, образующими четыре ряда лотков.

Особенность этого устройства заключается в том, что по мере продвижения вниз зерно с каждых двух вышерасположенных лотков объединяется в одном, находящемся ниже. В верхнем ряду выпускных лотков восемь, во втором – четыре, в третьем - два, в четвертом – один.

Производительность сушилки регулируют винтовой задвижкой, скорость движения зерна по отдельным потокам - последовательно клапанами. Их поворачивают вручную рукоятками, выведенными за пределы бункера, и фиксируют гайками.

Особые требования предъявляют к сушке семян при проведении селекционных работ. К сушилкам селекционным, используемым для сушки малых партий семян, предъявляются следующие требования [29, 49, 50, 64]:

- низкая производительность (до 1 тонны в час);
- соблюдение мягких режимов работы (сушки);
- мобильность.

1.4 Кинетика сушки семян пшеницы

Под кинетикой понимают изменение влажности и температуры зерна по времени в процессе его сушки. При составлении кинетики конвективной сушки

семян накладываются временные и температурные ограничения к агенту нагрева, агенту охлаждения и температурные ограничения к зерну.

По результатам научных исследований еще во времена Советского Союза были получены следующие кинетики сушки семян в мягких режимах:

- в один проход (классическая кинетика сушки);
- дифференцированная (два, три и четыре прохода).

Кроме того, при сушке пищевых продуктов разработаны одностадийная, двухстадийная и трехстадийная кинетика сушки, которая также применительна к сушке семян.

Кинетика сушки в мягких режимах характеризуется такими ограничениями температуры агента нагрева, что за весь процесс сушки температура зерна, подвергающегося сушке, не может достигнуть установившегося значения температуры, при которой наступает возможность протекания физико-химических изменений в теле зерновки (образование стекловидной массы в эндосперме, напряжение механическое зародыша, образование корочки на поверхности и т.п.).

Температурные ограничения при сушке семян различных культур в мягких режимах представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Агротехнологические требования сушки зерна за один проход в мягких (семянных) режимах [55]

Исходная влажность зерна, %	Зерновые		Бобовые	
	Температура, °С			
	Агент	Зерно	Агент	Зерно
17	80	45	60	30
18	80	43	59	30
19	75	40	57	29
20	75	38	55	29
21	70	36	53	28
22	65	34	52	27
23	65	32	51	26
≥24	60	30	50	25

В соответствии с агротехнологическими требованиями, снижение влажности семян в процессе сушки позволяет незначительно увеличивать максимальные значения температур агента нагрева и зерна.

Снижение температурных параметров влечет за собой снижение интенсивности (скорости) сушки и, как следствие, увеличение времени сушки. В этой связи исследования в области интенсификации сушки семян являются актуальными.

1.5 Исследование существующей теории влагопереноса в зерновке

Процесс сушки зерна характеризуется интенсивностью внутреннего влагопереноса. Интенсивность внутреннего влагопереноса определяет скорость и время сушки. Согласно трудов Лыкова А.В., интенсивность внутреннего влагопереноса определяется выражением неизотермической теплопроводности: [47]

$$q_m = -a_m \cdot \rho \cdot (\nabla u + \delta \cdot \nabla \Theta), \quad (1.1)$$

где a_m – коэффициент внутренней диффузии влаги, о.е.;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

∇u – градиент влагосодержания, %/м в относительных единицах;

δ – коэффициент термодиффузии, о.е.;

$\nabla \Theta$ – градиент температуры, К/м в относительных единицах.

Внутренний влагоперенос направлен от центра зерновки к ее поверхности, соответственно градиент направленный от центра является положительным.

Конвективная сушка обеспечивается за счет подведения теплоты от агента сушки зерновки. Процесс сушки состоит из трех периодов: нагрев без удаления влаги; удаление влаги с постоянной скоростью при неизменной температуре; удаление влаги со снижающейся скоростью при неизменной температуре.

Нагрев зерновки можно представить графически, разделив поперечный разрез на слои, отличающиеся друг от друга по температуре и влагосодержанию (рисунок 1.5).

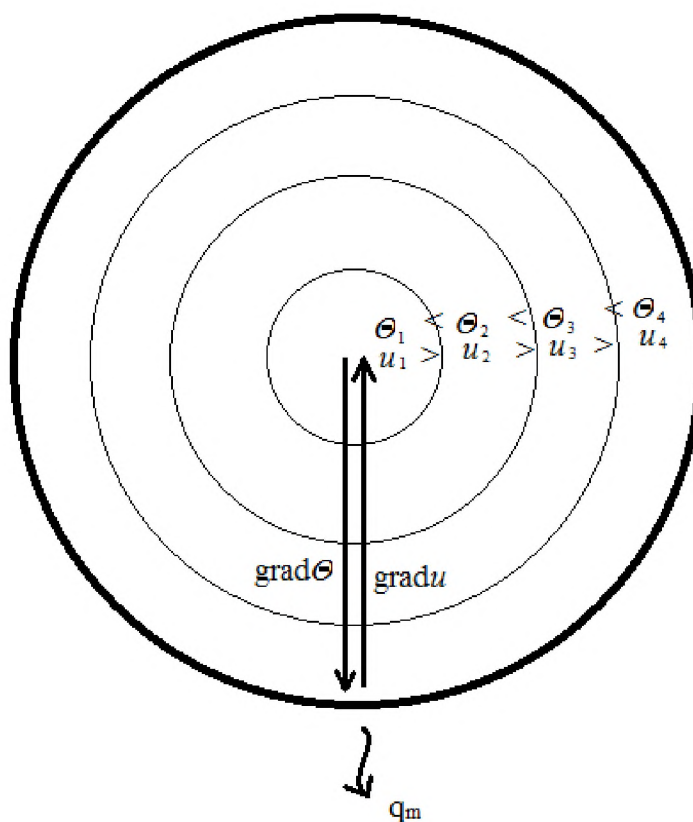


Рисунок 1.5 – распределение температур и влагосодержания слоев зерновки при нагреве

Как видно из рисунка, температура верхних слоев выше температуры нижних, что характеризуется направлением градиента температуры $\cdot\nabla\Theta$ от центра зерновки к ее поверхности.

Раскрыв выражение (1.1) получим:

$$q_m = -a_m \cdot \rho \cdot \nabla u - a_m \cdot \rho \cdot \delta \cdot \nabla \Theta \quad (1.2)$$

Градиент влагосодержания – величина, на которую можно воздействовать только косвенными путями, изменяется в процессе сушки. Так как градиент влагосодержания направлен к центру, то из выражения видно, что при увеличении численного значения $\cdot\nabla u$ влечет увеличение внутреннего влагопереноса. По мере «высушивания» материала значение градиента влагосодержания снижается, что влечет за собой снижение внутреннего влагопереноса.

В период нагрева ($\cdot\nabla\Theta$ направлен от центра к поверхности) температурный градиент оказывает противодействие внутреннему влагопереносу, а в процессе

охлаждения – способствует увеличению внутреннего влагопереноса. Этим объясняется разделение процесса сушки на три этапа.

Таким образом, постановка задачи сводится к определению интервалов нагрева и охлаждения при определенных температурах. Для решения данной задачи необходим математический анализ уравнений интенсивности влагопереноса (1.1), изменения температуры (1.3) и влажности в зерновке (1.4) [7].

$$\frac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 T + b \frac{du}{d\tau} \quad (1.3)$$

$$\frac{du}{d\tau} = k\nabla^2 u + k\delta\nabla^2 T \quad (1.4)$$

где T – температура;

u – влажность;

a, b, k, δ – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем;

$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ – оператор Лапласа.

Определение числовых значений, используя вышеупомянутые выражения, на практике не представляется возможным в связи с отсутствием частных решений операторов Лапласа для тела зерновки, представляющего собой эллипсоид вращения.

1.6 Анализ научных исследований по сушке семян

Огромный вклад в исследования в области зерносушения внесли такие ученые, как Анискин В.И., Бородин И.Ф., Ксенз Н.В., Лыков А.В., Троцкая Т.П., Гинзбург А.С., Лебедев П.Д. и другие.

Исследованиями методов интенсификации процесса сушки занимались:

Афанасьев А.М., Гороховский А.Г., Диденко А.А., Кокурина Г.Н., Лыков А.В., Миронов Н.А., Манасян С.К., Филоненко Ф.Г. по тематике «Моделирование процессов тепло- массопереноса» [3, 13, 20, 37, 47, 48, 51]

Результаты полученных исследований показывают, что интенсификация процесса сушки может быть достигнута за счет изменения следующих технических и технологических параметров:

- Увеличение температуры агента сушки;
- Увеличение скорости движения агента сушки;
- Периодическое изменение направления движения агента сушки;
- Снижение влажности (влагосодержания) агента сушки;
- Снижение толщины движущегося слоя;
- Увеличение активной поверхности зерна;
- Дифференцированный подвод агента сушки;
- Увеличение температуры внутренних слоев зерновки.

В основах моделирования процессов тепло- массопереноса лежит выражение, определенное Лыковым А.В.: [47]

$$q_m = -a_m \cdot \rho \cdot (\nabla u + \delta \cdot \nabla \Theta), \quad (1.1)$$

где a_m – коэффициент внутренней диффузии влаги, о.е.;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

∇u – градиент влагосодержания, %/м в относительных единицах;

δ – коэффициент термодиффузии, о.е.;

$\nabla \Theta$ – градиент температуры, К/м в относительных единицах.

Выражение показывает взаимосвязь процесса массопереноса влаги (влагопереноса) в зависимости от распределения влажности и температуры по слоям зерновки. Во время конвективного нагрева (сушки) зерна, градиент температуры противоположен градиенту влажности по знаку и направлен от центра зерновки к поверхности, что ведет к снижению влагопереноса [19].

По данным Филоненко Г.К. градиент температуры $\nabla \Theta = 1^{\circ}$ создает интенсивность влагопереноса сопоставимую с градиентом влажности ∇u в пределах 5...8 %.

Группа ученых: Анискин В.И., Бородин И.Ф., Голубкович А.В., Ксенз Н.В., Чижиков А.Г. рассматривали тематику «Рециркуляционные режимы сушки с применением озono-воздушных смесей»;

Бурков А.И., Дианов Л.В., Смелик В.А. по тематике «Увеличение активной поверхности зерна»;

Годлевский В.Е., Росляков Ю.Ф., Сулинов А.В. по тематике «Исследование влияния газового состава агента сушки на скорость протекания процесса обезвоживания»;

Бусарева Н.Н., Ефимов Н.Ф., Иванов Ю.В., Пименов Ю.Н. по тематике «Предварительный нагрев зернового материала»

Будников Д.А., Ганеев Р.И., Лягина Л.И., Руденко Н.Б., Уразов С.И. по тематике «Исследование режимов сушки с применением полей СВЧ, магнитных полей и инфракрасных излучений»;

В результатах вышеперечисленных работ были выявлены основные способы интенсификации процесса сушки зернового материала при конвективной подводе теплоты без использования различных излучений:

- увеличение скорости потока воздуха;
- применение активного вентилирования;
- увеличение температуры агента сушки;
- снижение влажности агента сушки;
- создание разрежения (снижение давления воздуха) в камере сушки;
- перемешивание слоев.

1.7 Постановка задач исследования

По результатам проведенного анализа были сформулированы гипотеза, цель и задачи исследования.

Гипотеза – Применение теплонасосной установки со звуковым сканером позволит оптимизировать процесс сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла.

Подводя итог вышеизложенного материала, были сформулированы цель и задачи исследования.

Цель исследования интенсификация процесса конвективной сушки семян пшеницы в мягких режимах, с использованием дифференциации подвода тепловой энергии теплонасосной установкой и повышение качества конечного продукта.

Достижение поставленной цели предусматривало решение следующих задач:

1. Разработать расчетную схему и алгоритм расчета для процессов нагрева и охлаждения, и установить аналитические зависимости, связывающие время охлаждения/нагрева с процессами тепло- влагообмена.
2. Разработать методику исследований по выявлению закономерностей влияния режимов сушки с дифференцированным подводом тепловой энергии на КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги семян пшеницы при естественной конвекции.
3. Разработать конструкции и обосновать режимы работы зерносушильной установки, звукового сканера для сушки семян пшеницы и провести сравнительные испытания с существующими аналогами.
4. Оценить влияния мягких режимов кинетики сушки с дифференцированным подводом тепла на качественные показатели семян пшеницы.
5. Дать энергетическую и экономическую оценку сушки семян пшеницы при дифференцированном подводе тепла.

Объект исследования: технологический процесс дифференцированной сушки семян пшеницы теплонасосной установкой.

Предмет исследования: закономерности влияния параметров кинетики дифференцированной сушки семян на значения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

2.1 Обоснование параметров дифференцированной сушки

Для обоснования параметров дифференцированной сушки необходимо выполнить анализ выражения интенсивности влагопереноса.

В процессе анализа использовались следующие ограничения:

Зерновка представлена эллипсоидом вращения;

Температура нагрева любой точки пространства зерновки не превышает значений, установленных ОСТом 70.10.1-74 [55];

Температура охлаждения любой точки пространства зерновки не ниже $+5^{\circ}\text{C}$;

Начальная влажность зерна не более 26%;

Режим сушки – семена.

Градиент влагосодержания зерна направлен от центра зерновки, что связано с концентрацией влаги в области расположения зародыша.

В стационарном состоянии зерновка имеет температуру окружающей среды (при $\nabla\theta \rightarrow 0$, $dq_m/dt \rightarrow const$). В случае нагрева градиент температуры направлен к центру зерновки (навстречу градиенту влажности), что снижает скорость сушки (при $\nabla\theta > 0$, $dq_m/dt \rightarrow min$). В случае охлаждения градиент температуры направлен от центра зерновки (совпадая по направлению с градиентом влажности), что увеличивает скорость сушки (при $\nabla\theta < 0$, $dq_m/dt \rightarrow max$).

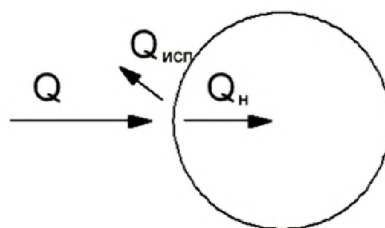
Дифференцированная кинетика сушки наиболее эффективна при чередовании процессов нагрева и охлаждения с условием исключения стационарного состояния (при $\nabla\theta \rightarrow 0$).

Для исключения стационарного состояния необходимо определить время нагрева и время охлаждения зерновки в зависимости от влажности зерна и температурного режима агента сушки.

2.1.1 Процесс дифференцированной сушки семян на основе теплового баланса

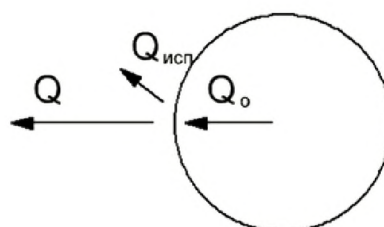
Решением поставленной задачи является определение времени нагрева и времени охлаждения зерновки. Для определения времени нагрева и времени охлаждения необходимо составить тепловой баланс на основе расчетной схемы

процессов нагрева и охлаждения. Расчетные схемы процессов нагрева и охлаждения представлены на рисунках 2.1 и 2.2.



Q – количество подведенной теплоты; $Q_{\text{исп}}$ – количество теплоты, затраченное на удаление поверхностной влаги; $Q_{\text{н}}$ – количество теплоты на нагрев зерновки

Рисунок 2.1 – Расчетная схема процесса нагрева зерновки



Q – количество отведенной теплоты; $Q_{\text{исп}}$ – количество теплоты, затраченное на удаление поверхностной влаги; $Q_{\text{о}}$ – количество отведенной теплоты для охлаждения зерновки

Рисунок 2.2 – Расчетная схема процесса охлаждения зерновки

Тепловой баланс процесса нагрева зерновки:

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_{\text{н}} + Q_{\text{исп}} \\ Q_{\text{н}} &= f(c; \alpha; \tau; l; T) \\ Q_{\text{исп}} &= f(\alpha; \tau; l) \\ Q &= f(\alpha; \tau; l) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

где c – удельная теплоемкость зерновки;

α – коэффициент теплоотдачи от агента сушки зерновке;

τ – время нагрева зерновки;

l – геометрические характеристики зерновки;

T – температура.

Тепловой баланс процесса охлаждения зерновки:

$$\left. \begin{aligned} -Q &= -Q_{\text{о}} + Q_{\text{исп}} \\ Q_{\text{о}} &= f(c; \alpha; \tau; l; T) \\ Q_{\text{исп}} &= f(\alpha; \tau; l) \\ Q &= f(\alpha; \tau; l) \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где τ – время охлаждения зерновки;

Количество теплоты, требуемое для нагрева или охлаждения зерновки, определяется по закону Ньютона-Рихмана [78-99]:

$$Q_{н(о)} = cM_3\Delta T = \alpha\tau S(T_{агента} - T_{зерна}) \quad (2.3)$$

где M_3 – масса зерновки;

ΔT – изменение температуры зерновки;

c – удельная теплоемкость зерновки;

S – площадь поверхности зерновки;

$T_{агента}$; $T_{зерна}$ – температура агента, зерна соответственно.

Площадь зерновки определяется по выражению [52, 78-99]

$$S = 4\pi R(l - 3R), \quad (2.4)$$

где l – длина зерновки;

$$R = (5a + 6b)/60, \quad (2.5)$$

где a , b – ширина, толщина зерновки.

Из выражения 2.3 время, необходимое на нагрев (охлаждение) определяется по следующему выражению:

$$\tau = \frac{cM_3(T_{зерна} - T_0)}{\alpha S(T_{агента} - T_{зерна})} = f(c; m; \alpha; l; T), \quad (2.6)$$

где T_0 – начальная температура зерновки

Удельная теплоемкость зерновки есть функция от ее влажности:

$$c = f(u)$$

Масса зерновки так же является функцией от влажности:

$$M_3 = f(u)$$

Следовательно, произведение удельной теплоемкости на массу зерновки есть функция от влажности:

$$C_3 = cM_3 = f(u),$$

где C_3 – теплоемкость одной зерновки

2.1.2 Расчетная схема для определения теплоемкости зерновки в зависимости от ее влажности

Для того, чтобы рассмотреть данный процесс, приняты следующие допущения:

- зерновка представляет собой эллипсоид вращения;
- тело зерновки состоит из нескольких слоев с равной толщиной в разных точках;
- геометрия зерновки не изменяется в процессе удаления влаги;
- поверхность зерновки идеализирована (не имеет включений и засорителей);
- процессы тепло и массообмена с поверхностью зерновки протекают равномерно по всей площади;

- испарение влаги производится только с поверхности зерновки;
- процессы теплообмена протекают в условиях естественной конвекции;
- температурные ограничения соответствуют «мягким» режимам сушки семян пшеницы.

Теплоемкость одной зерновки представляет собой сумму теплоемкостей слоев этой зерновки [107].

Рассмотрим элементарный участок зерновки, представляющий собой последовательность прямоугольных слоев (рисунок 2.3).

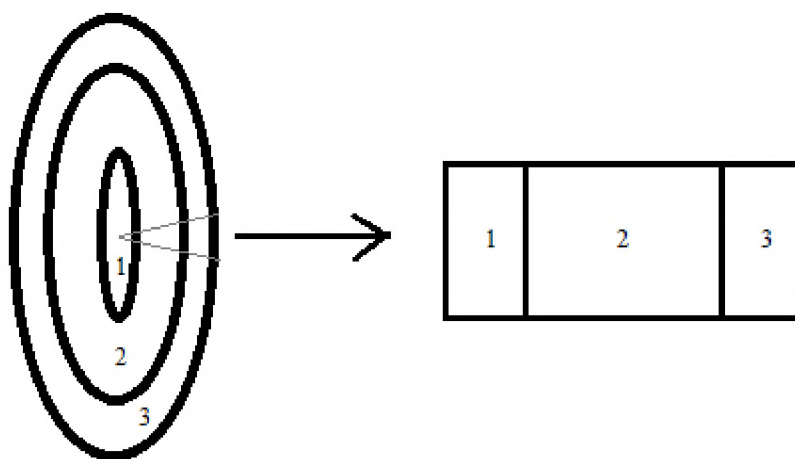
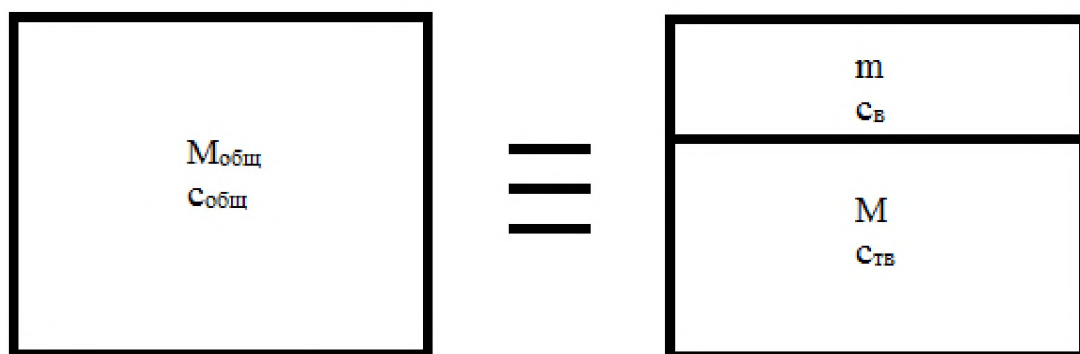


Рисунок 2.3 – Элементарный участок зерновки

Каждый слой обладает толщиной (объемом), влагосодержанием, удельной теплоемкостью сухого вещества и общей удельной теплоемкостью, коэффициентами тепло- температуро – влагопроводности, площадью внутренней и внешней контакта.

Каждый слой элементарного участка зерновки состоит из сухого вещества и воды, содержащейся в нем. При подведении тепловой энергии происходит изменение температуры сухого вещества и влаги, или слоя в целом, что описывается тепловым балансом. Определением эквивалентной удельной теплоемкости слоя элементарного участка зерновки будет решение системы уравнений, представленных ниже, согласно рисунку 2.4:



$M_{\text{общ}}$ – масса слоя, кг; m – масса влаги, кг; M – масса сухого вещества, кг;
 $c_{\text{общ}}$ – удельная теплоемкость слоя, Дж/кг $^{\circ}$ C 0 ; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/кг $^{\circ}$ C 0 ; $c_{\text{тв}}$ – удельная теплоемкость твердого (сухого) вещества, Дж/кг $^{\circ}$ C 0 .

Рисунок 2.4 – Слой элементарного участка зерновки

$$\left. \begin{aligned} Q &= M_{\text{общ}} \cdot c_{\text{общ}} \cdot \Delta T \\ M_{\text{общ}} &= m + M \\ u &= m / M_{\text{общ}} \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

где Q – количество теплоты, Дж;

ΔT – изменение температуры, $^{\circ}$ C;

u – влагосодержание (влажность), о.е..

Из системы уравнений следует, что:

$$M_{\text{общ}} \cdot c_{\text{общ}} \cdot \Delta T = m \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta T + M \cdot c_{\text{тв}} \cdot \Delta T = (m \cdot c_{\text{в}} + M \cdot c_{\text{тв}}) \cdot \Delta T, \quad (2.8)$$

$$\text{т.е., } M_{\text{общ}} \cdot c_{\text{общ}} = m \cdot c_{\text{в}} + M \cdot c_{\text{тв}},$$

Следовательно:

$$\left. \begin{aligned} c_{\text{общ}} &= (m \cdot c_{\text{в}} + M \cdot c_{\text{тв}}) / M_{\text{общ}}, \\ m &= u \cdot M_{\text{общ}} \\ M &= M_{\text{общ}} - m = M_{\text{общ}} - u \cdot M_{\text{общ}} = (1 - u) \cdot M_{\text{общ}} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

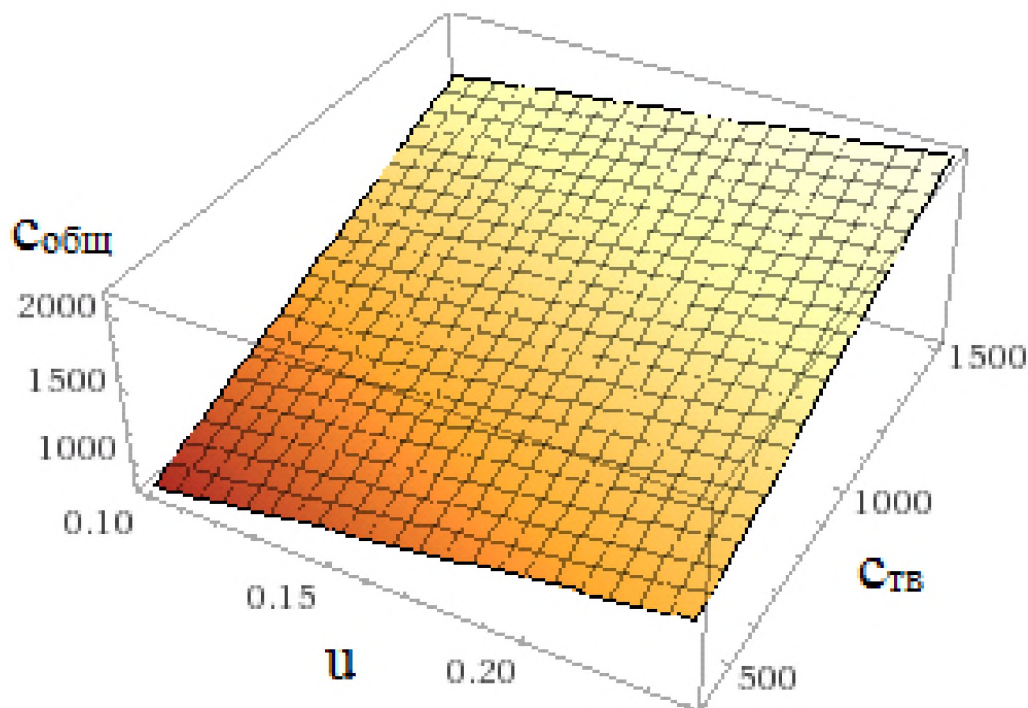
Решение данной системы уравнений:

$$c_{\text{общ}} = f(u) = (1 - u) \cdot c_{\text{тв}} + u \cdot c_{\text{в}} \quad (2.10)$$

Удельная теплоемкость воды составляет примерно $c_{\text{в}} \approx 4200$ Дж/кг $^{\circ}$ C 0

$$c_{\text{общ}} = f(u; c_{\text{тв}}) = (1 - u) \cdot c_{\text{тв}} + u \cdot 4200 \quad (2.11)$$

На основании ограничений теплоемкости твердого вещества и влажности зерна была построена поверхность отклика, отражающая значение теплоемкости зерновки при ее влажности в диапазоне от 10 до 26 % (рисунок 2.5).



где u – влажность зерновки, о.е.;

$c_{\text{ТВ}}$ – теплоемкость сухого вещества зерновки, Дж/кг·°С;

$c_{\text{общ}}$ – теплоемкость зерновки, Дж/кг·°С.

Рисунок 2.5 – Поверхность отклика теплоемкости зерновки в зависимости от теплоемкости сухого вещества и влажности

По поверхности отклика (рисунок 2.5) видно, что теплоемкость зерновки является линейной функцией от влажности и теплоемкости сухого вещества.

Удельная теплоемкость твердого сухого (твердого) вещества может быть определена по следующему выражению [107]:

$$c_{\text{ТВ}} = 1425 \cdot n_1 + 1564 \cdot n_2 + 1754 \cdot n_3 + 1390 \cdot n_4 + 830 \cdot n_5, \quad (2.11)$$

где 1425; 1564; 1754; 1390; 830 – удельная теплоемкость крахмала, белков, липидов, клетчатки и зольных компонентов соответственно, Дж/кгС⁰;

n_1 ; n_2 ; n_3 ; n_4 ; n_5 – содержание крахмала, белков, липидов, клетчатки и зольных компонентов в долях единиц соответственно.

Содержание веществ зерновки пшеницы представлено на диаграмме (рисунок 2.6).

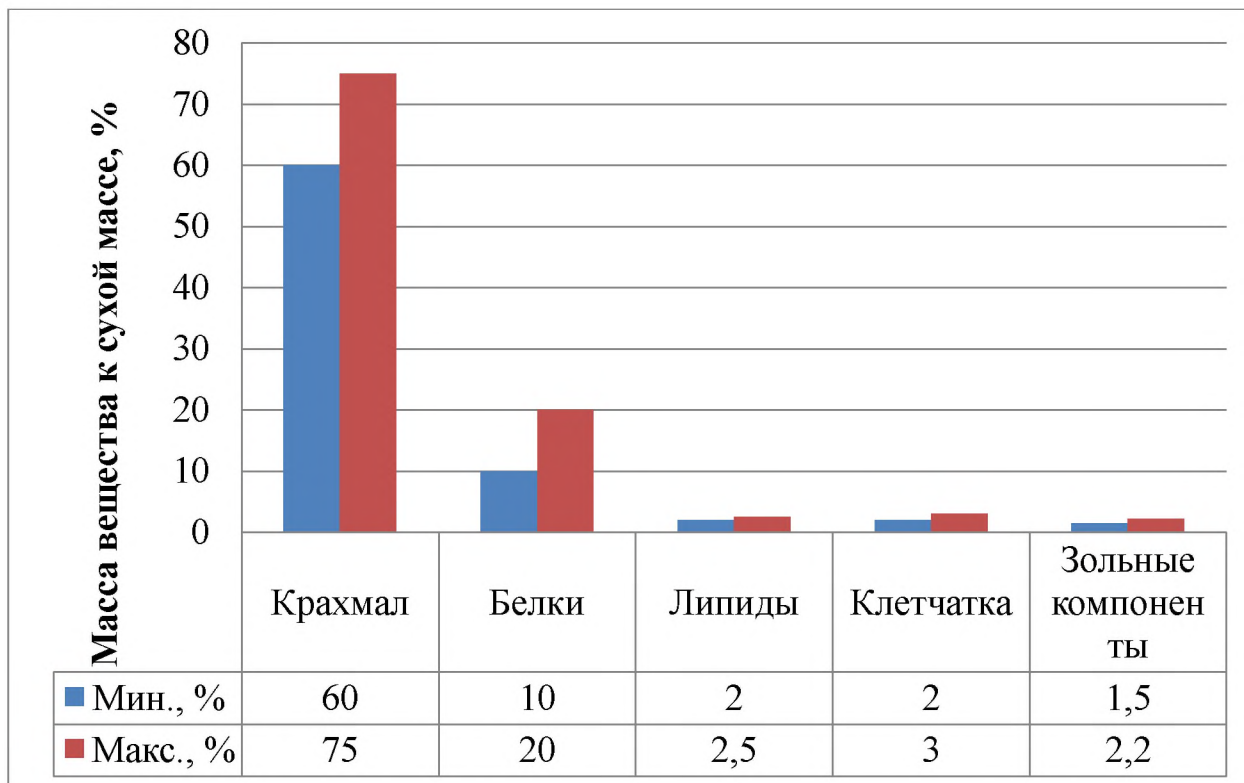


Рисунок 2.6 – Химический состав зерна пшеницы (масс. % к сухой массе зерновки)

Удельная теплоемкость сухого вещества зерновки пшеницы, учитывая химический состав, колеблется в интервале $c_{\text{ТВ}}=[1087;1485]$ Дж/кгС⁰.

Слои же зерновки отличаются между собой по химическому составу, что представлено в таблице 1 приложения В.

Подставив значения удельных теплоемкостей сухого вещества (таблица 2 приложения В) в выражение $c_{\text{общ}}=f(u;c_{\text{ТВ}})$ получим следующие результаты, представленные в таблицах 3-7 приложения В:

Зависимость удельной теплоемкости плодовой оболочки от влажности можно описать выражением, по данным таблицы 3 приложения В:

$$c_{\text{общ}}=29,286 \cdot u\%+1271,4 \pm(252,86-2,7787 \cdot u\%) \quad (2.12)$$

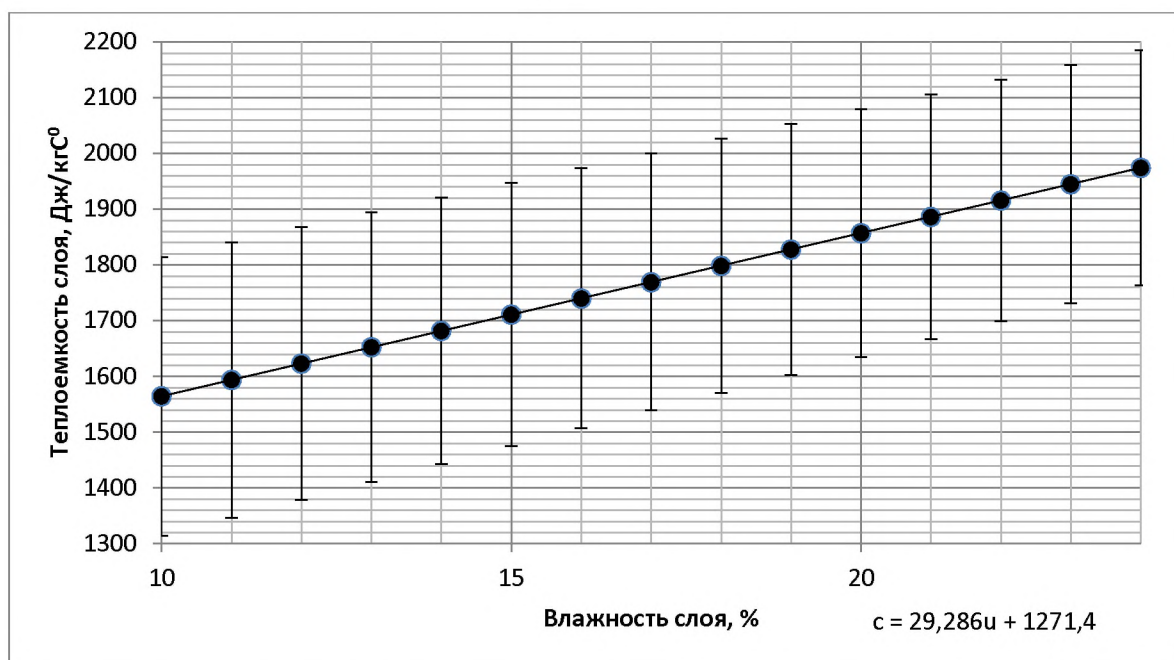


Рисунок 2.7 – Зависимость удельной теплоемкости плодовой оболочки от влажности

Зависимость удельной теплоемкости семенной оболочки от влажности можно описать выражением по данным таблицы 4 приложения В:

$$c_{\text{общ}} = 37,28 \cdot u\% + 472,03 \pm (34,73 - 0,3817 \cdot u\%) \quad (2.12)$$

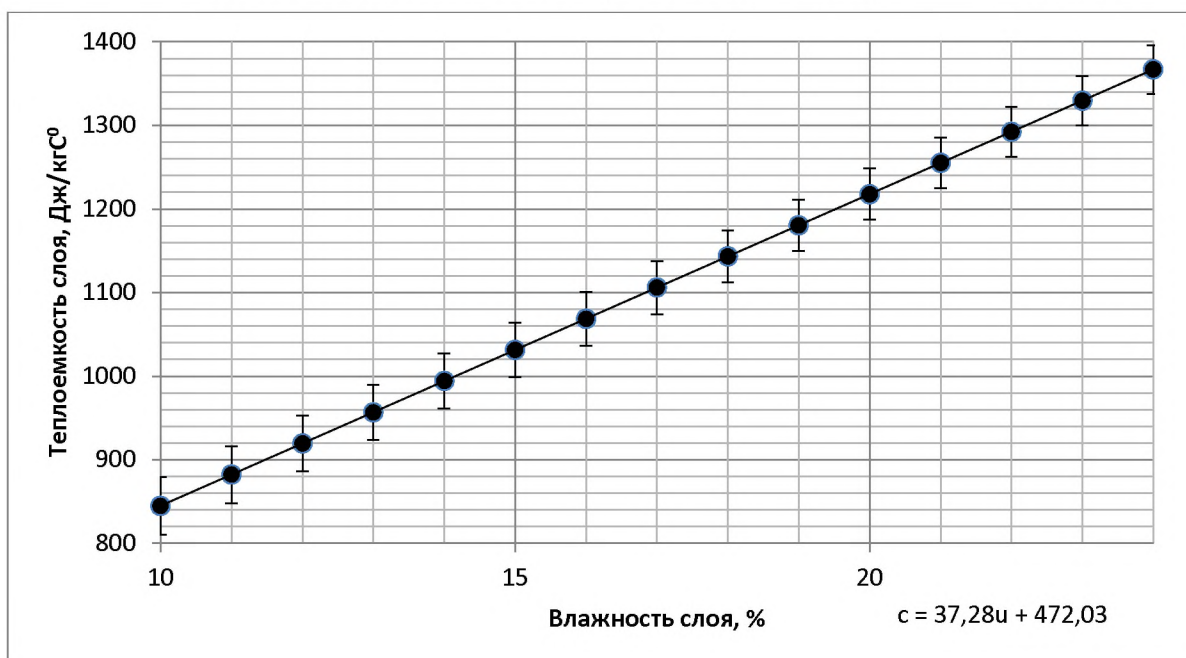


Рисунок 2.8 – Зависимость удельной теплоемкости семенной оболочки от влажности

Зависимость удельной теплоемкости алейронового слоя от влажности по данным таблицы 5 приложения В можно описать выражением:

$$c_{\text{общ}} = 31,265 \cdot u\% + 1073,5 \pm (207,43 - 2,2794 \cdot u\%) \quad (2.13)$$

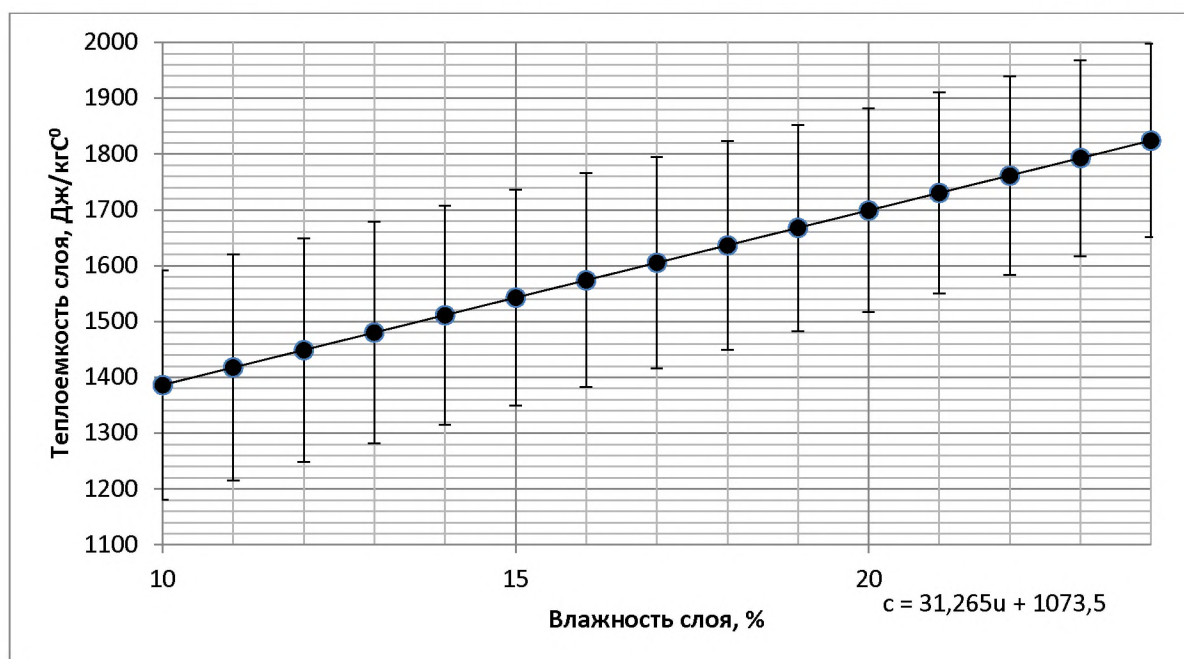


Рисунок 2.9 – Зависимость теплоемкости алейронового слоя от влажности

Зависимость удельной теплоемкости зародыша от влажности по данным таблицы 6 приложения В можно описать выражением:

$$c_{\text{общ}} = 36,655 \cdot u\% + 534,52 \pm (129,72 - 1,4255 \cdot u\%) \quad (2.14)$$

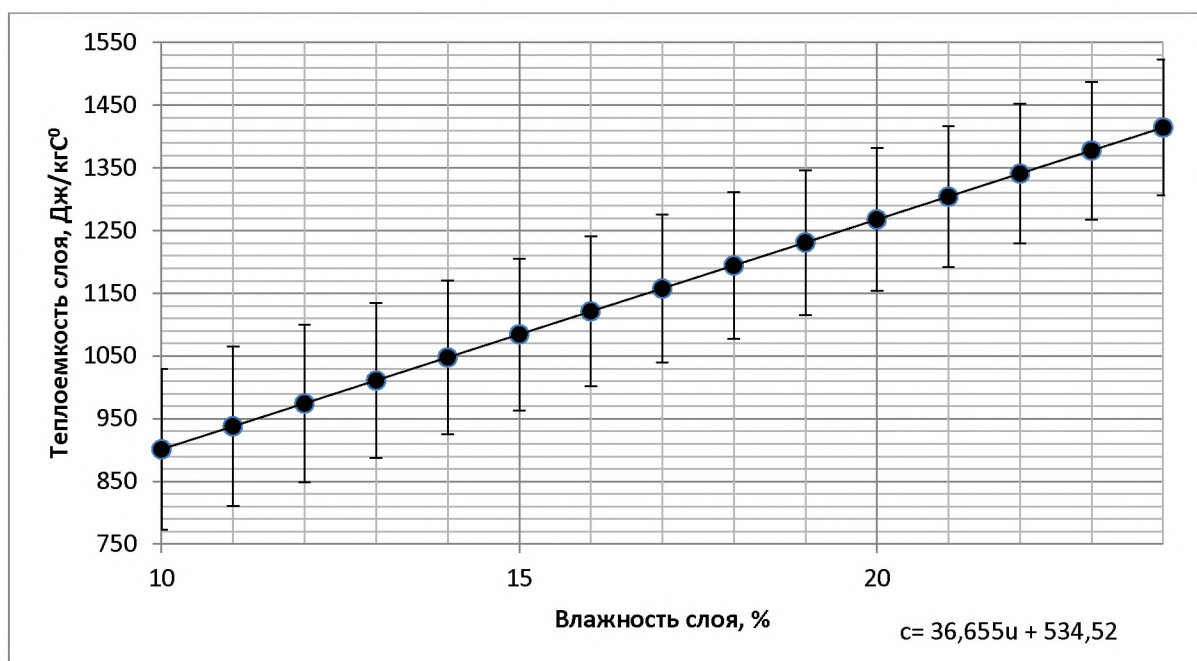


Рисунок 2.10 – Зависимость удельной теплоемкости зародыша от влажности

Зависимость удельной теплоемкости эндосперма от влажности по данным таблицы 7 приложения В можно описать выражением:

$$c_{\text{общ}} = 34,601 \cdot u\% + 739,86 \pm (256,38 - 2,8173 \cdot u\%) \quad (2.15)$$

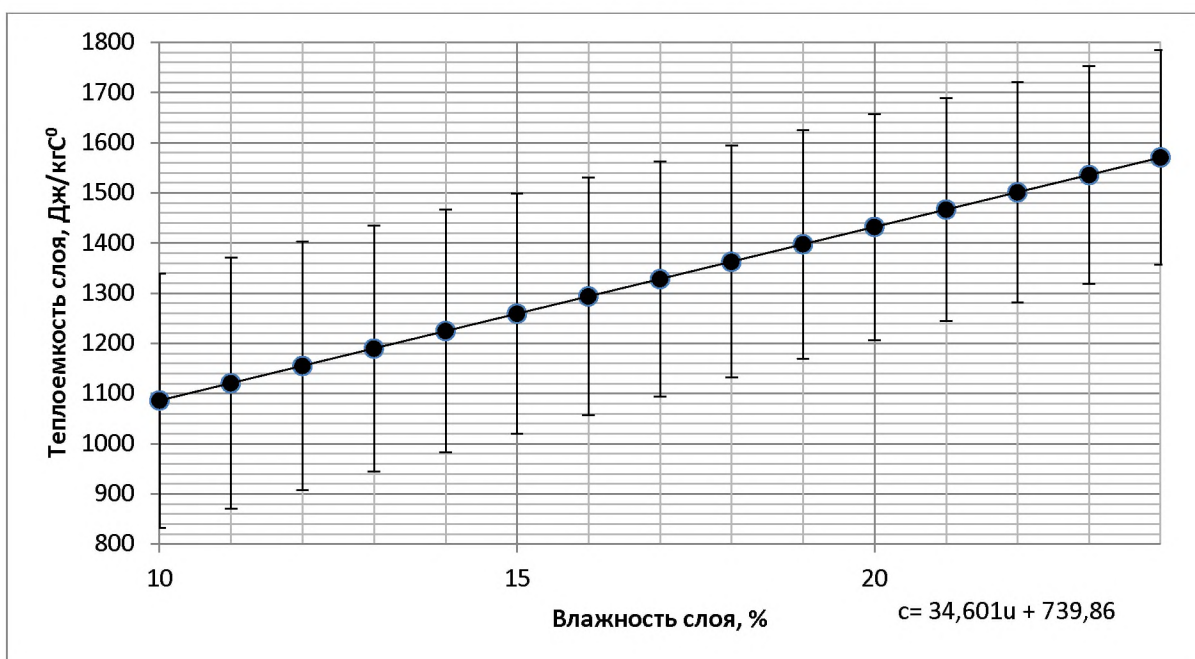


Рисунок 2.11 – Зависимость удельной теплоемкости эндосперма от влажности

Допустив равные значения влагосодержания слоев зерновки, учитывая данные соотношения масс слоев (таблица 2.1) и основных геометрических параметров зерновки (таблица 2.2) определим функцию $cM_3 = f(u; l)$, являющуюся теплоемкостью зерновки.

Таблица 2.1 – Массовое соотношение отдельных слоев зерна пшеницы [59, 108]

Слой	Плодовая оболочка	Семенная оболочка	Алейроновый слой	Эндосперм	Зародыш
Среднее массовое соотношение массы слоя к массе зерновки, %	3,5-4,6	1,1-2,2	6,3-8,9	77-85	1,4-3,5

Таблица 2.2 – Основные параметры зерновки пшеницы

Показатель	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Объем, мм ³	Площадь поверхности, мм ²	Масса 1000 зерен, г
Значение	4,2-8,6	1,6-4,0	1,5-3,8	19-42	40-75	15-88

Из таблицы 2.9 масса одной зерновки колеблется в пределах от $15 \cdot 10^{-6}$ до $88 \cdot 10^{-6}$ кг. Массы слоев зерновки представлены в таблице 8 приложения В.

Сводные данные по значениям теплоемкостей слоев зерновки, отнесенных к массе 1000 зерен, в зависимости от влажности, представлены в таблице 9 приложения В.

Теплоемкость одной зерновки, отнесенной к массе 1000 зерен в граммах, представлена на рисунке 2.12.

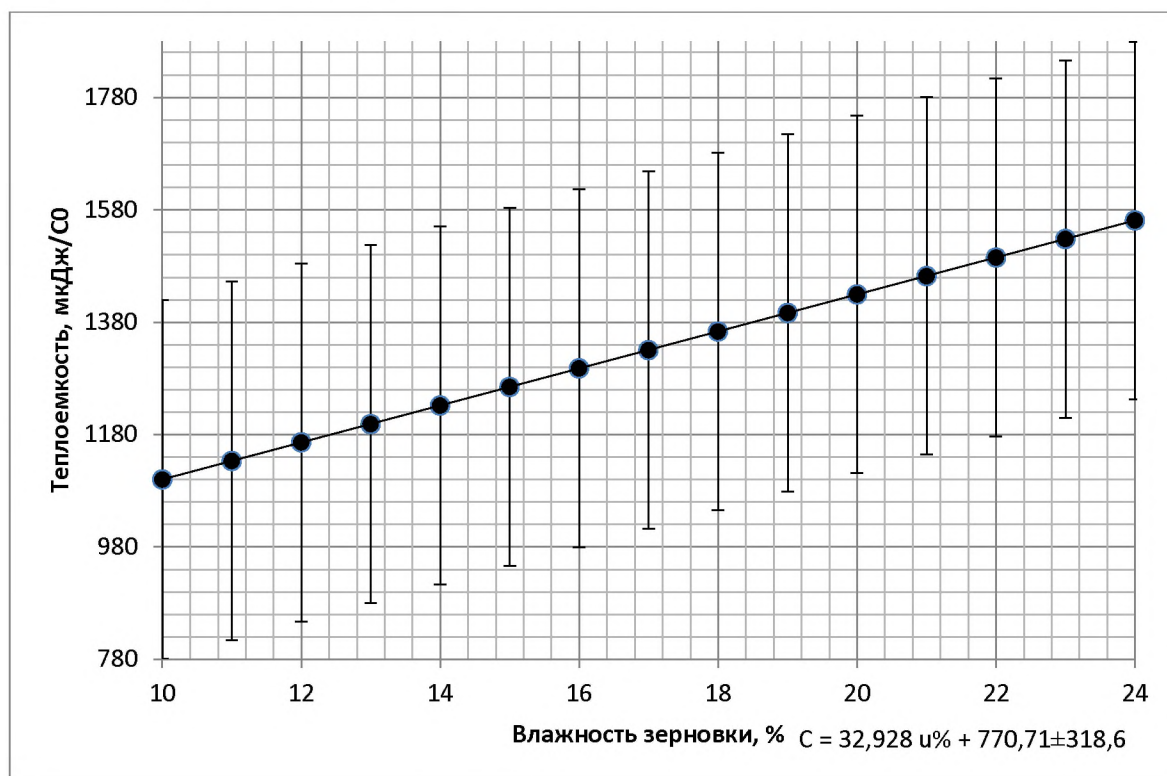


Рисунок 2.12 – Теплоемкость одной зерновки, отнесенной к массе 1000 зерен в граммах, в зависимости от влажности

Теплоемкость одной зерновки может быть определена по выражению:

$$C_3=f(M_{1000};u)=M_{1000} \cdot 10^{-6} \cdot (32,928 \cdot u\%+770,71 \pm 318,6), \quad (2.16)$$

где C – теплоемкость одной зерновки, Дж/С⁰;

M_{1000} – масса 1000 зерен, г;

$u\%$ - влажность зерновки, %.

Масса тысячи зерен не является постоянной в процессе сушки, т.к. при удалении некоторого количества влаги, общая масса становится ниже.

Так, при начальной массе тысячи зерен M_{1000} и влажности $u\%$, одна зерновка содержит:

$$M=M_{1000} \cdot (1-u)/1000 \quad (2.17)$$

где M – масса сухого вещества одной зерновки;

$$m_0=M_{1000} \cdot u_0/1000 \quad (2.18)$$

где m_i – начальная масса влаги одной зерновки;

u_0 – начальная влажность зерновки.

В процессе сушки происходит снижение количества влаги в зерновки, в связи с чем происходит снижение массы одной зерновки и ее влажности.

$$\left. \begin{aligned} m_i &= \frac{M_{1000} \cdot u_0}{1000} - m_{\text{исп}} \\ M_{\text{общ}} &= M + m \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

где $m_{\text{исп}}$ – масса испаренной влаги из одной зерновки.

Решением данной системы уравнений будет следующая система:

$$\left. \begin{aligned} M_{1000 i} &= f(M_{1000}; m_{\text{исп}}) = M_{1000} - m_{\text{исп}} \cdot 1000 \\ u_i &= f(M_{1000}; m_{\text{исп}}; u_0) = (M_{1000} \cdot u_0 - 1000 \cdot m_{\text{исп}}) / (M_{1000} - 1000 \cdot m_{\text{исп}}) \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

где $m_{\text{исп}}$ – масса испаренной влаги одной зерновки

2.2 Определение коэффициента теплоотдачи влажного воздуха при естественной конвекции

Конвекция - вид теплообмена, при котором внутренняя энергия передается струями и потоками. Существует так называемая естественная конвекция, которая возникает в веществе самопроизвольно при его неравномерном нагревании в поле тяготения. При такой конвекции нижние слои вещества нагреваются, становятся

легче и всплывают, а верхние слои, наоборот, остывают, становятся тяжелее и опускаются вниз, после чего процесс повторяется снова и снова [109].

Коэффициент теплоотдачи α при естественной конвекции определяется из выражения [23]:

$$Nu=C(Gr \cdot Pr)^n \cdot (Pr/Pr_{ст})^{0,25} \quad (2.21)$$

где $Nu=\alpha \cdot l/\lambda$ – критерий Нуссельта, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности [14],

где $l=2 \cdot L \cdot A/(L+A)$ – гидравлический диаметр, м;

$L=4,2-8,6 \cdot 10^{-3}$ – длина зерновки, м;

$A=1,6-4 \cdot 10^{-3}$ – толщина зерновки, м

$Gr=g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta T/\nu^2$ – критерий Грасгофа;

где $\beta=3,655 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент температурного расширения, K^{-1} ; [110]

ΔT – разность температур поверхностей теплообмена, $^{\circ}C$;

$\nu=1-1,293$ $кг/м^3$ – коэффициент кинематической вязкости, $м^2/с$. [111]

$Pr=\nu/a=c \cdot \mu/\lambda$ – критерий Прандтля;

где a – коэффициент температуропроводности, $м^2/с$;

c – удельная теплоемкость, $Дж/кг \cdot K$;

μ – динамическая вязкость, $Па \cdot с$

λ – коэффициент теплопроводности, $Вт/м \cdot K$

C – для ламинарного режима $C=1,18$;

n – для ламинарного режима $n=0,125$ (Приложение А).

При этом коэффициент теплоотдачи определили из выражения:

$$\alpha=1,18 \cdot g^{0,125} \cdot \beta^{0,125} \cdot \Delta T^{0,125} \cdot Pr^{0,375} \cdot \lambda/Pr_{ст}^{0,25} \cdot l^{0,625} \cdot \nu^{0,25} \quad (2.22)$$

На основании физических данных сухого воздуха получено следующее значение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_{св}=1,57 \cdot 10^{-3} \cdot l^{0,625} \cdot (|T_{агента}-T_{зерна}|)^{0,125} \cdot 0,49635 \cdot (0,0148 \cdot T_{агента}+11,234)/(0,9169-6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{зерна}), \quad (2.23)$$

где $T_{агента}$ – температура агента сушки (охлаждения), $^{\circ}C$;

$T_{зерна}$ – температура поверхности зерна, $^{\circ}C$.

Заменив части выражения, содержащие переменные температур, коэффициентом $V=f(T_{\text{агента}}, T_{\text{зерна}})$, было получено:

$$\alpha_{\text{св}} = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 1^{-0,625} \cdot V_{\text{св}}(T_{\text{агента}}, T_{\text{зерна}}) \quad (2.24)$$

$$\text{где } V_{\text{св}} = (|T_{\text{агента}} - T_{\text{зерна}}|)^{0,125} \cdot 0,46935 \cdot (0,0148 \cdot T_{\text{агента}} + 11,234) / (0,9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{зерна}})$$

Для анализа полученной зависимости использовалась компьютерная программа MathCad [112].

Из поверхности (рисунок 2.13) видно, что при увеличении разности температур агента и зерновки происходит увеличение коэффициента $V_{\text{св}}$, значения которого не превышают 12 единиц.

На основании физических данных насыщенного пара получено следующее значение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{нп}} = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 1^{-0,625} \cdot (|T_{\text{агента}} - T_{\text{зерна}}|)^{0,125} \cdot (0,0013 \cdot T_{\text{агента}}^3 - 0,272 \cdot T_{\text{агента}}^2 + 18,801 \cdot T_{\text{агента}} + 1045,3) / (1,8976 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{зерна}}^2 - 0,0139 \cdot T_{\text{зерна}}), \quad (2.25)$$

или:

$$\alpha_{\text{нп}} = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 1^{-0,625} \cdot V_{\text{нп}}(T_{\text{агента}}, T_{\text{зерна}}), \quad (2.26)$$

$$\text{где } V_{\text{нп}} = (|T_{\text{агента}} - T_{\text{зерна}}|)^{0,125} \cdot (0,0013 \cdot T_{\text{агента}}^3 - 0,272 \cdot T_{\text{агента}}^2 + 18,801 \cdot T_{\text{агента}} + 1045,3) / (1,8976 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{зерна}}^2 - 0,0139 \cdot T_{\text{зерна}})$$

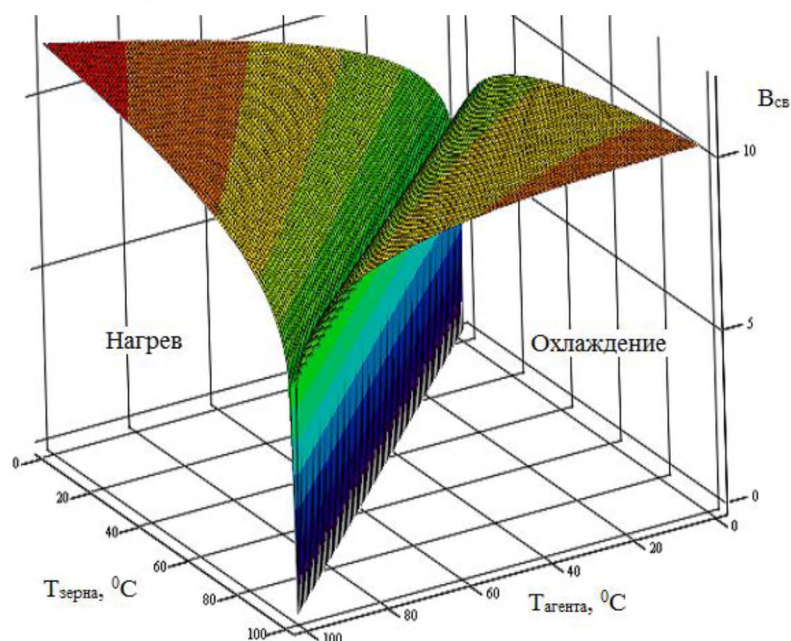


Рисунок 2.13 – Значение коэффициента $V_{\text{св}}$ в зависимости от температур агента и зерновки

Из поверхности, представленной на рисунке 2.13, видно, что при изменении температурных параметров агента и зерновки, значение коэффициента B_{CB} может как увеличиваться, так и уменьшаться, значение коэффициента B_{CB} достигает значений порядка 12 единиц.

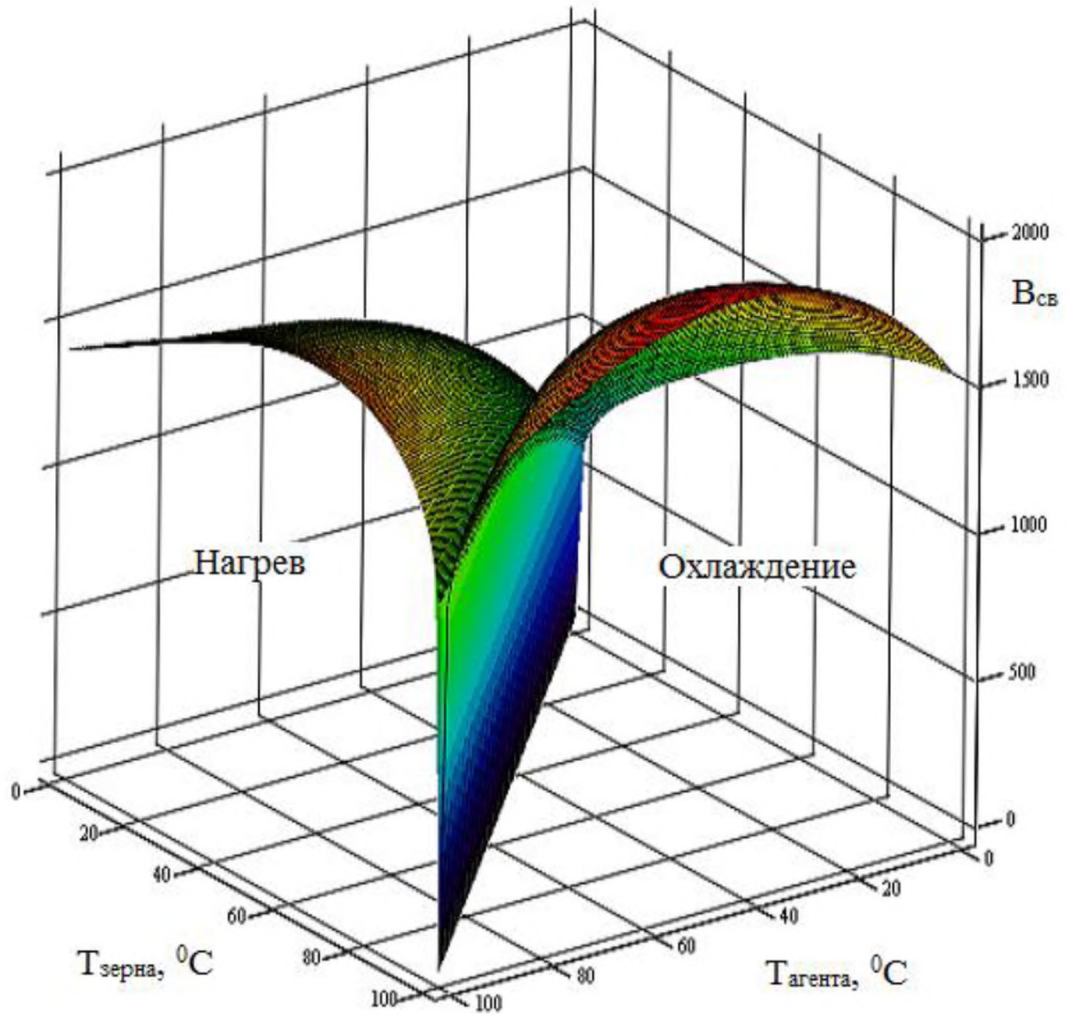


Рисунок 2.14 – Значение коэффициента B_{HI} в зависимости от температуры агента и зерновки

Из поверхности видно, что при изменении температурных параметров агента и зерновки, значение коэффициента B_{HI} может как увеличиваться, так и уменьшаться, значение коэффициента B_{HI} достигает значений порядка 2000 единиц.

Учитывая полученные данные коэффициента теплоотдачи сухого воздуха и насыщенного пара, коэффициент теплоотдачи влажного воздуха представит собой следующее выражение:

$$\alpha = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot I^{0,625} \cdot (B_{св}/(K+1) + B_{шт} \cdot (1-1/(K+1))) = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot I^{0,625} \cdot B(T_a, T_z, \varphi), \quad (2.27)$$

где $\varphi = f(d; T_a)$ – относительная влажность, %

При сушке зерен пшеницы в семенном режиме, нормативными документами установлены следующие ограничения [55]:

$$T_{агента} = 0..80 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_{зерна} = 0..45 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\varphi = 0..100 \text{ } \%$$

Выявлено, что при таких ограничениях влажность воздуха не оказывает существенного изменения коэффициента $B = B_{св}/(K+1) + B_{шт} \cdot (1-1/(K+1))$. [34]

При принятых допущениях введенный коэффициент равен коэффициенту сухого воздуха (максимальное значение $B = 1,08 \cdot B_{св}$ при $T_a = 80$; $T_z = 45$; $\varphi = 100\%$), в следствие чего влажностью воздуха можно пренебречь.

Следовательно, в процессе сушки зерен пшеницы в семенном режиме, коэффициент теплоотдачи от агента зерновке может быть определен по выражению:

$$\alpha = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot I^{-0,625} \cdot (|T_{агента} - T_{зерна}|)^{0,125} \cdot 0,49635 \cdot (0,0148 \cdot T_{агента} + 11,234) / (0,9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{зерна}), \quad (2.28)$$

или:

$$\alpha = 10^{-3} \cdot I^{-0,625} \cdot B_{вв}, \quad (2.29)$$

где $B_{вв} = 1,57 \cdot (|T_{агента} - T_{зерна}|)^{0,125} \cdot 0,49635 \cdot (0,0148 \cdot T_{агента} + 11,234) / (0,9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{зерна})$

В пределах ограничения температурных параметров конвективной сушки семян пшеницы построена поверхность отклика коэффициента влажного воздуха $B_{вв}$ как функция от температур агентов нагрева и охлаждения (рисунок 2.15). Из поверхности отклика видно, что процесс нагрева характеризуется бóльшим значением по сравнению с процессом охлаждения. По мере изменения температуры зерна при постоянстве температуры агента, коэффициент $B_{вв}$

изменяется нелинейно, например при нагреве зерна с температурой 0°C агентом с температурой 20°C, коэффициент $V_{ВВ}=14,2$, а агентом с температурой 40 и 60 °C – 16,0 и 17,2 соответственно.

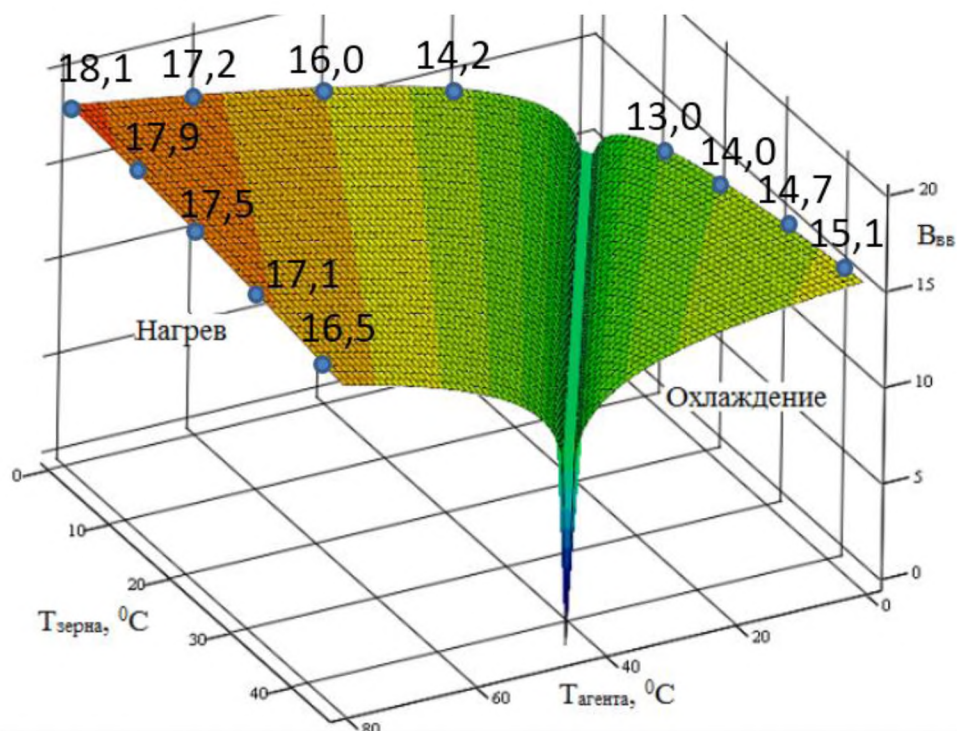


Рисунок 2.15 – Значение коэффициента $V_{ВВ}$ в зависимости от температуры агента и зерновки

2.3 Решение систем теплового баланса при естественной конвекции для нагрева и охлаждения

При допущении равномерного изменения температуры слоя в различных точках, системы теплового баланса процесса нагрева и охлаждения будут выглядеть следующим образом:

Для процесса нагрева:

$$\left. \begin{aligned}
 P &= 6,28\pi \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{2 \cdot l \cdot a}{l+a}\right)^{-0,625} \cdot \frac{5a+6b}{60} \cdot \left(1 - \frac{5a+6b}{20}\right) \cdot \sqrt[8]{\Delta T} \cdot \frac{0,49635 \cdot (0,0148 \cdot T_{\text{агента}} + 11,234) \cdot \Delta T}{0,9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{зерна}}}, \\
 \Delta u &= 100 \cdot \left(1 - \frac{M \cdot 10^{-6} \cdot \frac{u}{100} - \Delta m}{M \cdot 10^{-6} - \Delta m}\right); \\
 \Delta m &= \frac{P \cdot K_{\text{испарения}} \cdot dt}{2502 - 2,4385 \cdot T_{\text{зерна}}}; \\
 \Delta T_{\text{зерна}} &= \frac{P \cdot K_{\text{нагрева}} \cdot dt}{M \cdot 10^{-6} \cdot (32,928 \cdot u + 1089,31)}
 \end{aligned} \right\} (2.30)$$

Для процесса охлаждения:

$$\left. \begin{aligned}
 P &= -6,28\pi \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{2 \cdot l \cdot a}{l+a}\right)^{-0,625} \cdot \frac{5a+6b}{60} \cdot \left(1 - \frac{5a+6b}{20}\right) \cdot \sqrt[8]{\Delta T} \cdot \frac{0,49635 \cdot (0,0148 \cdot T_{\text{агента}} + 11,234) \cdot \Delta T}{0,9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{зерна}}}; \\
 \Delta u &= 100 \cdot \left(1 - \frac{M \cdot 10^{-6} \cdot \frac{u}{100} - \Delta m}{M \cdot 10^{-6} - \Delta m}\right); \\
 \Delta m &= \frac{P \cdot K_{\text{испарения}} \cdot dt}{2502 - 2,4385 \cdot T_{\text{зерна}}}; \\
 \Delta T_{\text{зерна}} &= \frac{P \cdot K_{\text{нагрева}} \cdot dt}{M \cdot 10^{-6} \cdot (32,928 \cdot u + 1089,31)}
 \end{aligned} \right\} (2.31)$$

где P – подводимая/отводимая тепловая мощность, Вт;

l, a, b – длина, ширина, толщина зерновки соответственно, м;

ΔT – разность температур агента и зерновки, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{зерна}}$ – температура зерновки, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{агента}}$ – температура агента, $^{\circ}\text{C}$;

u – влажность зерновки, %;

M – масса тысячи зерен, г;

Δm – изменение массы зерновки, г;

dt – изменение времени, с;

$K_{\text{нагрева}}, K_{\text{испарения}}$ – КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги соответственно.

КПД нагрева – это доля подведенного (отведенного) количества тепловой энергии, которая расходуется на изменение температуры зерновки.

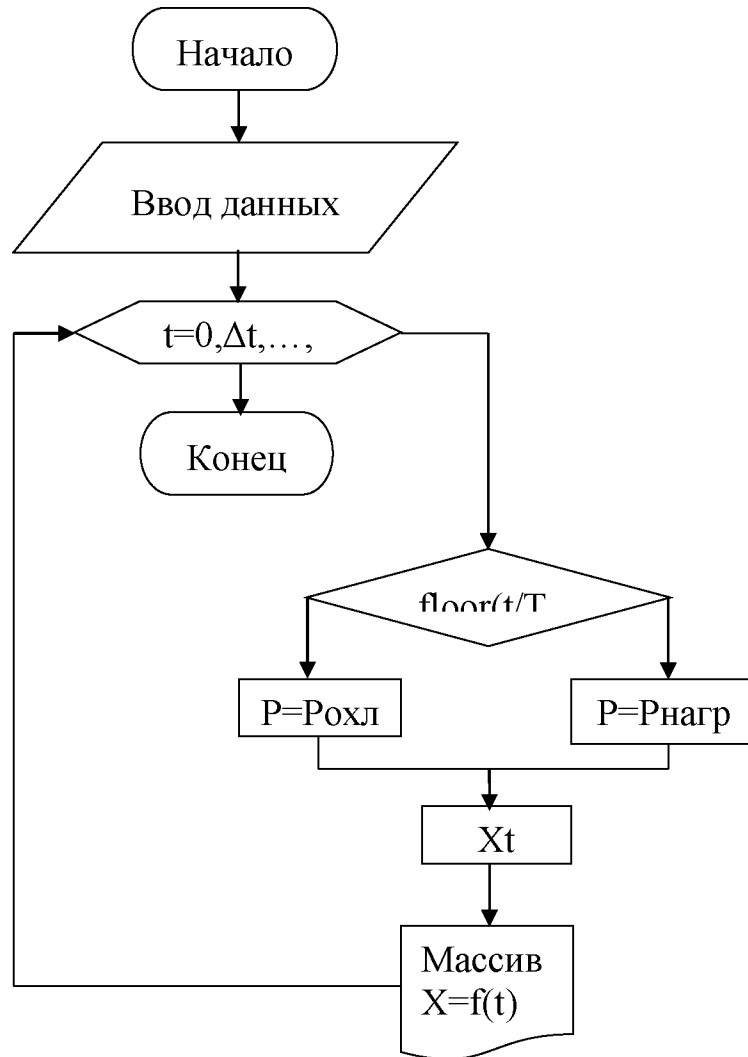
КПД испарения – это доля подведенного (отведенного) количества тепловой энергии, которая расходуется на испарение поверхностной влаги зерновки.

Для нахождения решений систем уравнений были приняты следующие допущения: геометрические параметры зерновки не изменяются, нагрев зерновки происходит равномерно, удаление влаги производится только с поверхности зерновки, на поверхности зерновки отсутствуют загрязнители и микроорганизмы.

Каждая система уравнений представляет собой систему четырех переменных, являющихся сложными взаимосвязанными функциями, поэтому, для нахождения решений принят метод математического перебора с дискретизацией по времени [1].

Алгоритм решения систем в общем виде представлен на рисунке 2.16.

Алгоритм расчета предусматривает чередование процессов нагрева и охлаждения и определение значений переменных через интервалы времени равные шагу дискретизации. Опытным путем было установлено, что снижение шага дискретизации ниже $\Delta t < 0,5$ с не приводит к изменению точности определения значений переменных, но увеличивает количество операций при расчете.



X_0 – исходные параметры; Δt – шаг дискретности (перебора), с; τ – общее время сушки, с; K – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем; $T_{ц}$ – время цикла, с; t – текущее время, с; floor – оператор «Целая часть» [113]; P , $P_{охл}$, $P_{нагр}$ – тепловая мощность, мощность отводимая, мощность подводимая соответственно, Вт; X_t – текущие параметры; Массив $X=f(t)$ – формирование массива значений параметров по времени.

Рисунок 2.16 - Алгоритм решения систем уравнений дифференцированной кинетики сушки

К исходным параметрам X_0 относятся такие величины, как длина (l_0), ширина (b), высота (a) зерновки, масса тысячи зерен (M), температура агента нагрева/сушки (T_n), температура агента охлаждения (T_o), начальная температура (T_0) и начальная влажность зернового материала (u_0). Оператор «floor» предназначен для определения протекающего процесса (нагрев или охлаждение) в заданный момент времени (t).

Алгоритм решения реализован в программной среде MathCAD и представлен в приложении Б.

Данный алгоритм позволяет построить графические зависимости температуры, влажности, скорости сушки, массы тысячи зерен от времени в зависимости от исходных данных X_0 . В структуру решения введены два коэффициента полезного действия: КПД испарения (η_i), КПД нагрева (η_n) – позволяющие приблизить данные теоретических расчетов к практическим. Оговоренные коэффициенты полезного действия требуют экспериментального определения.

2.4 Результаты теоретических исследований

Решение систем уравнений дифференцированной кинетики сушки в программной среде MathCAD позволяет выполнить анализ результатов посредством построения графических зависимостей.

Для оценки влияния коэффициентов полезного действия на температуру зерна и скорость удаления влаги построены зависимости при различных значениях КПД.

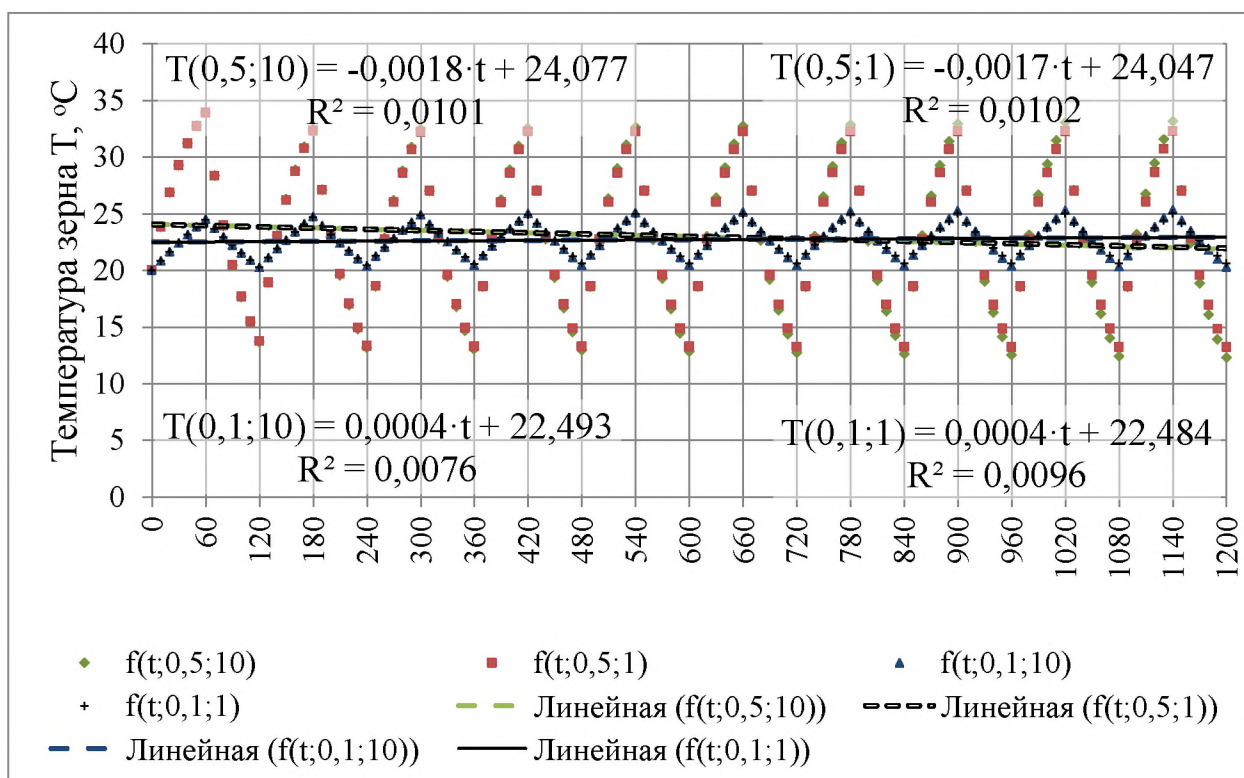
Построения графических зависимостей проводились при следующих начальных условиях:

- геометрия зерновки – 6,37x3,27x2,92 мм;
- масса тысячи зерен до сушки – 41,32 г;
- температура агента нагрева - +40 °С;

-температура агента охлаждения - +5 °С;

-начальная температура зерна - +20 °С;

-начальная влажность зерна – 20%.



$f(t;0,5;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

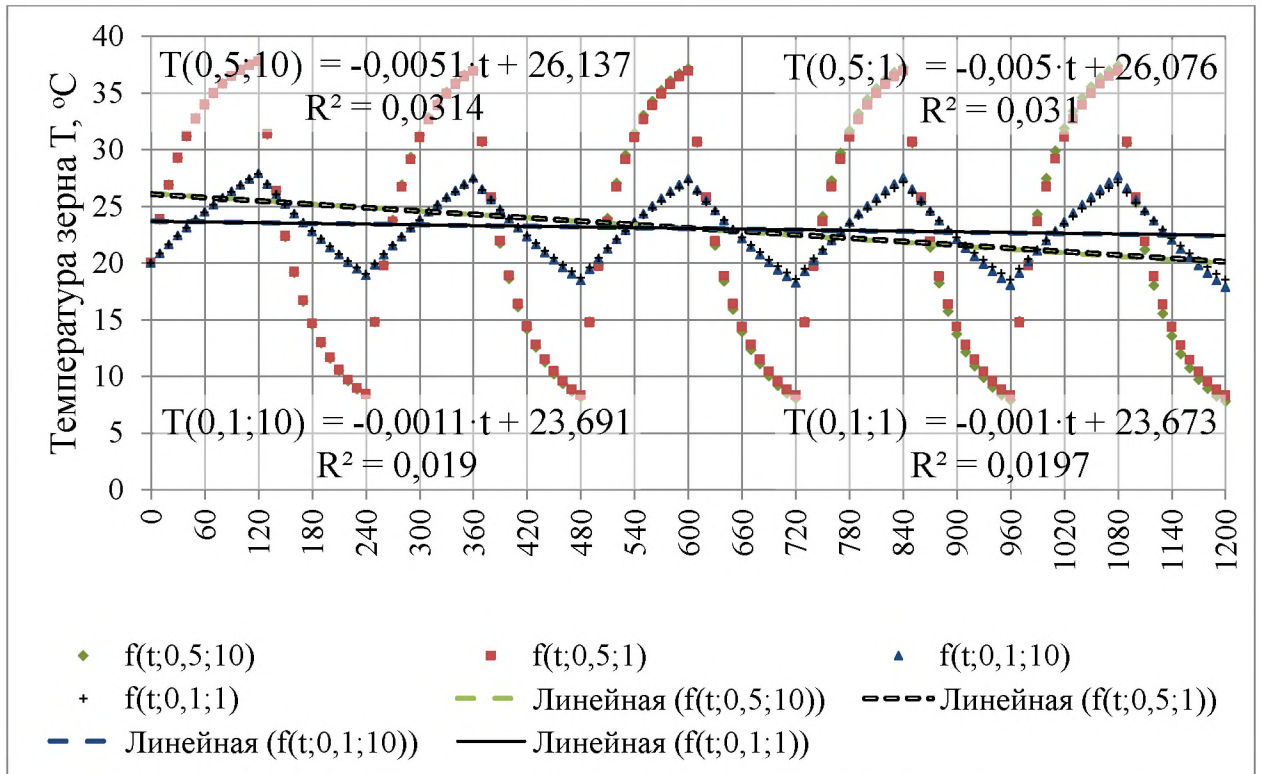
$f(t;0,5;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.17 - Влияние КПД нагрева и испарения на температуру зерна при дифференцированной сушке (время нагрева и испарения по 60 с)

Изменение КПД испарения практически не оказывает влияние на изменение температуры зерна (порядка $0,03^\circ\text{C}$), а рост КПД нагрева обуславливает незначительное увеличение среднего значения температуры зерна (порядка $1,5^\circ\text{C}$).



$f(t;0,5;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

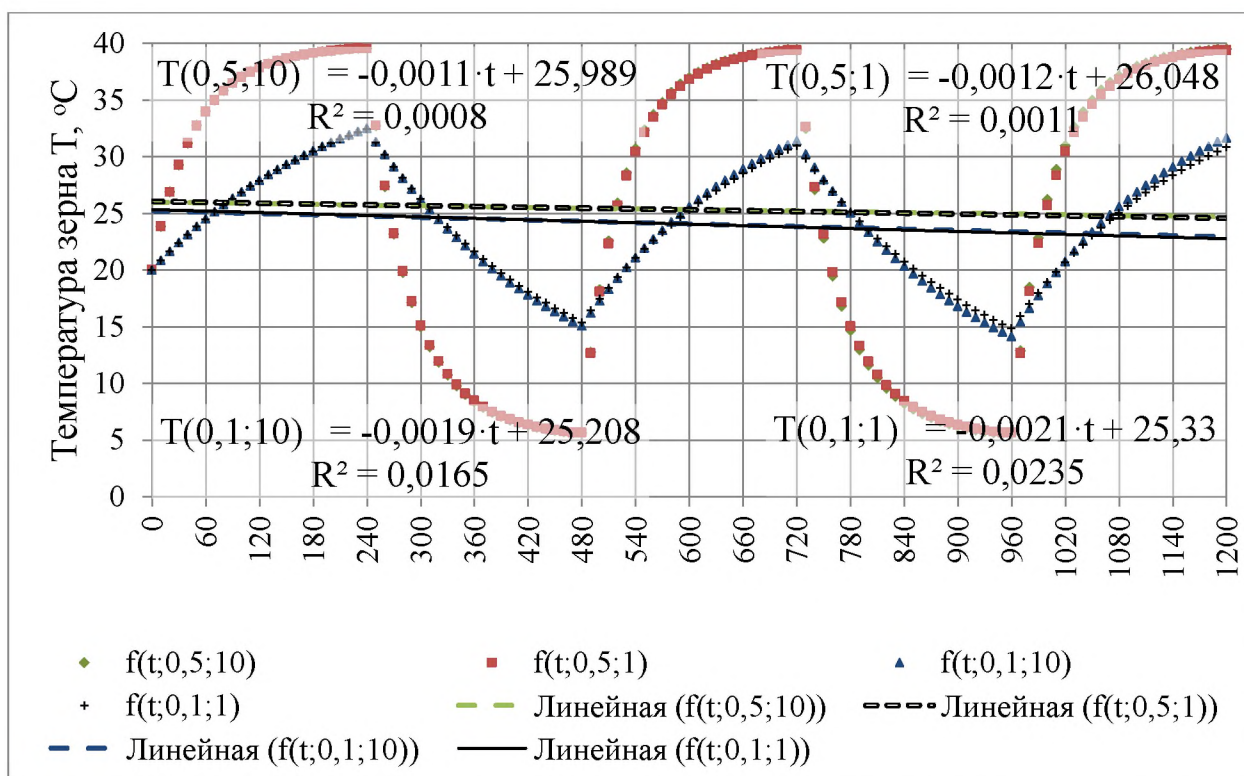
$f(t;0,5;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.18 - Влияние КПД нагрева и испарения на температуру зерна при дифференцированной сушке (время нагрева и испарения по 120 с)

Изменение КПД испарения практически не оказывает влияние на изменение температуры зерна (порядка $0,07^\circ\text{C}$), а рост КПД нагрева обуславливает незначительное увеличение среднего значения температуры зерна (порядка $2,5^\circ\text{C}$).



$f(t;0,5;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,5;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

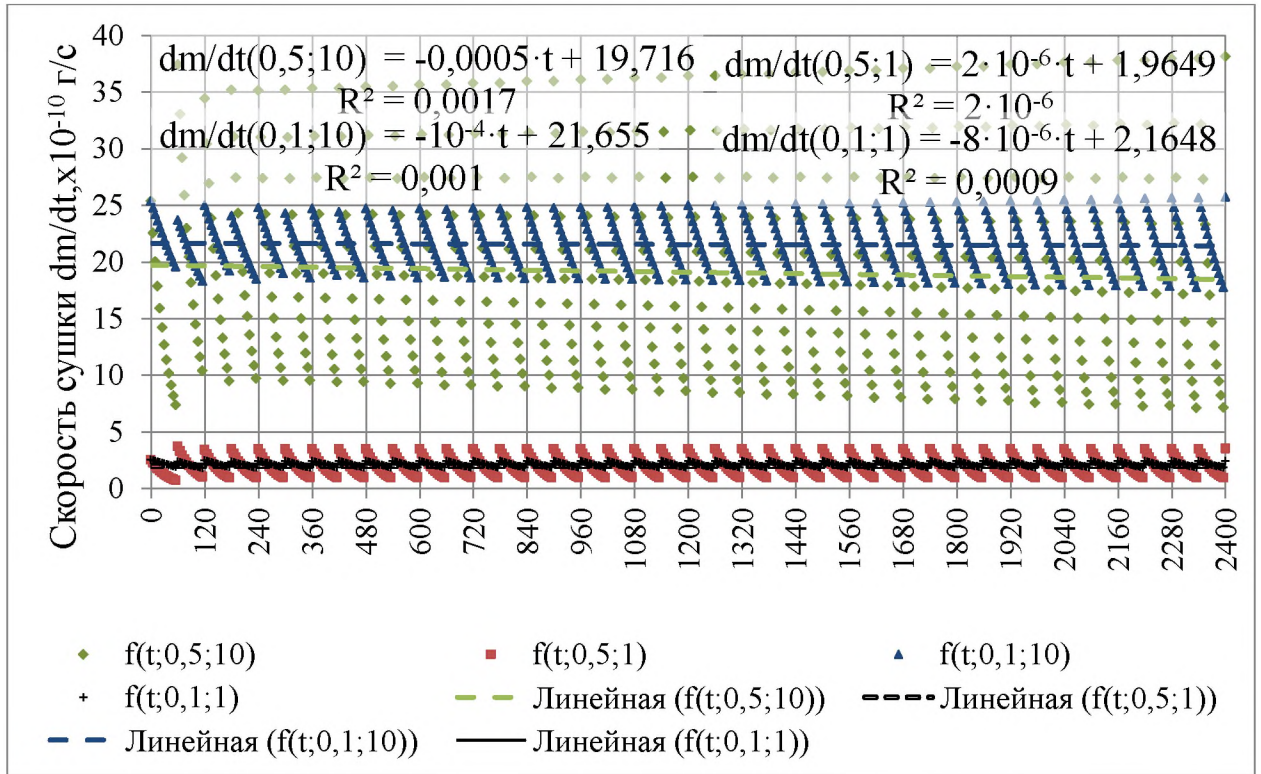
$f(t;0,1;10)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость температуры зерна от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.19 - Влияние КПД нагрева и испарения на температуру зерна при дифференцированной сушки (время нагрева и испарения по 240 с)

Как видно из рисунков 2.17-2.19 рост КПД нагрева обуславливает увеличение скорости изменения температуры, изменение КПД испарения практически не оказывает влияния на температуру зерна в процессе сушки, что отражено на линиях среднего значения температур (линии Тренда). Время нагрева/охлаждения оказывает влияние на максимальное значение температуры зерна в процессе нагрева и минимального значения его температуры в процессе охлаждения. Следовательно, уменьшение времени нагрева/охлаждения способствует снижению

изменения температуры зерна в процессе дифференцированной сушки (невозможность достижения установившихся значений).



$f(t;0,5;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

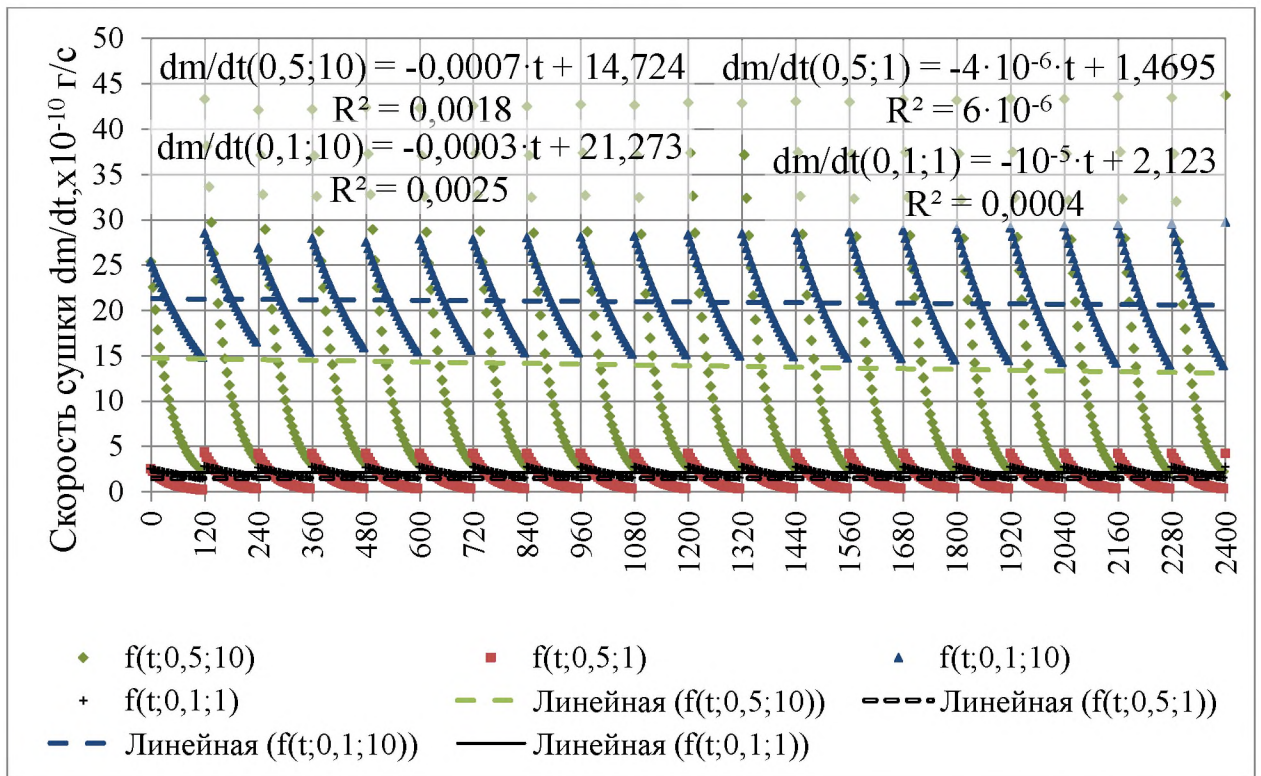
$f(t;0,5;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.20 - Влияние КПД нагрева и испарения на скорости удаления влаги из зерна при дифференцированной сушки (время нагрева и испарения по 60 с)

По средним значениям (линии Тренда) видно, что увеличение КПД нагрева приводит к незначительному снижению скорости удаления влаги (до $2 \cdot 10^{-10}$ г/с), увеличение КПД испарения в 10 раз ведет к росту средней скорости сушки в 10 раз.



$f(t;0,5;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

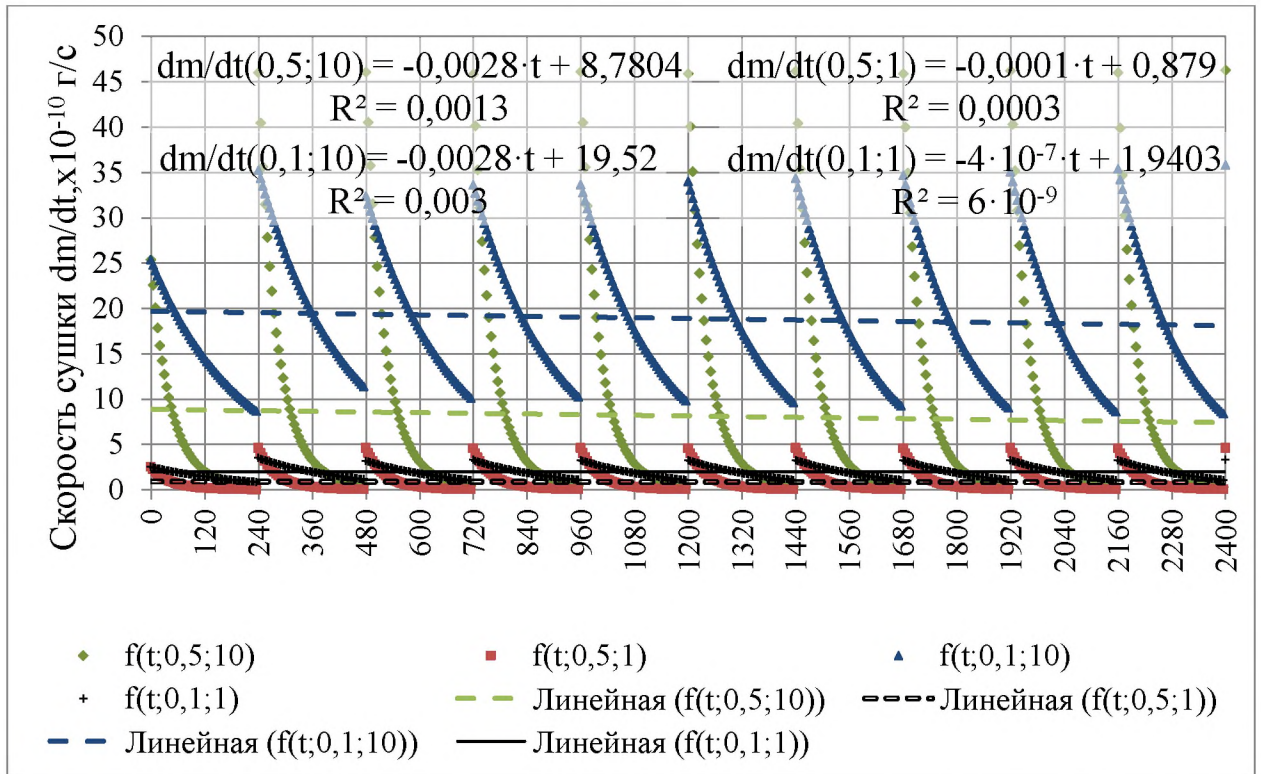
$f(t;0,5;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.21 - Влияние КПД нагрева и испарения на скорости удаления влаги из зерна при дифференцированной сушке (время нагрева и испарения по 120 с)

По средним значениям (линии Тренда) видно, что увеличение КПД нагрева приводит к снижению скорости удаления влаги (до $7 \cdot 10^{-10}$ г/с), увеличение КПД испарения в 10 раз ведет к росту средней скорости сушки в 10 раз.



$f(t;0,5;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,5;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,5 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;10)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $10 \cdot 10^{-5}$ о.е.;

$f(t;0,1;1)$ – зависимость скорости удаления влаги от времени при КПД нагрева 0,1 о.е. и КПД испарения $1 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Рисунок 2.22 - Влияние КПД нагрева и испарения на скорости удаления влаги из зерна при дифференцированной сушке (время нагрева и испарения по 240 с)

Как видно из рисунков 2.20-2.22 рост КПД нагрева обуславливает увеличение темпа изменения скорости испарения влаги из зерновки, рост КПД испарения приводит к увеличению среднего значения скорости сушки и увеличением площади под кривыми (что указывает на рост массы удаленной влаги). Увеличение времени нагрева/охлаждения уменьшает площадь фигуры под линиями зависимости скорости испарения влаги от времени, что обуславливает снижение

количества удаленной влаги. Увеличение времени цикла приводит к снижению средней скорости удаления влаги.

Интенсификация процесса сушки зерна дифференцированной кинетикой достигается за счет снижения времени нагрева/охлаждения, повышением КПД испарения и снижением КПД нагрева, что подтверждено результатами теоретических исследований. Определение факторов, оказывающих влияние на значения КПД нагрева и испарения, позволят разработать рекомендации для сельхозтоваропроизводителей.

Для подтверждения теоретических исследований была разработана методика проведения экспериментальных исследований, представленная в главе 3. Для этого были разработаны цель и программа экспериментальных исследований.

Выводы по главе

1 Исследование существующей теории влагопереноса в зерновке показало, что определение числовых значений на практике не представляется возможным в связи с отсутствием частных решений операторов Лапласа для тела зерновки, представляющего собой эллипсоид вращения.

2 Разработана теория дифференцированной сушки зерен пшеницы, а именно:

- составлены расчетные схемы процессов нагрева и охлаждения;
- для этих процессов составлены системы уравнений тепловых балансов;
- по результатам исследований научных трудов о физико-химическом составе зерновки выявлена закономерность изменения теплоемкости зерновки в зависимости от ее влажности;

- получено выражение коэффициента теплоотдачи для одной зерновки при естественной конвекции;

- Решением теплового баланса получены системы выражений баланса мощностей;

- в баланс мощностей введены коэффициенты полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги, требующие экспериментального определения.

3 Разработан алгоритм решения систем выражений, описывающих дифференцированную кинетику сушки.

4 Реализовано решение алгоритма дифференцированной сушки в программной среде MathCAD.

5 Анализ теоретических исследований показал, что интенсификация процесса дифференцированной сушки зерна достигается за счет снижения времени охлаждения/нагрева до $60\text{с}\pm 15\%$, снижения КПД нагрева с 0,05 до 0,02 и увеличения КПД испарения с $8,5\cdot 10^{-5}$ до $27,5\cdot 10^{-5}$.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КИНЕТИКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ НА КПД НАГРЕВА И ИСПАРЕНИЯ

Для интенсификации процесса дифференцированной сушки зерен пшеницы необходимо выявить закономерность изменения коэффициентов полезного действия нагрева и испарения в зависимости от исходных данных кинетики сушки. Полученные зависимости отражают влияние различных факторов на КПД нагрева и испарения, что позволяет определить интервалы входных параметров, соответствующие наибольшей эффективности сушки.

Программа экспериментальных исследований включала в себя определение КПД нагрева и испарения, которые являются параметрами оптимизации процесса дифференцированной сушки.

Экспериментальные исследования проводились в четыре этапа. На первом этапе определялись исходные параметры материала: геометрия (длина, ширина, толщина); масса тысячи зерен. Второй этап включал в себя определение исходной влажности и температуры зернового материала непосредственно перед сушкой в зерносушилке лабораторной. Третий этап представлял собой сушку зернового материала с определением выходных параметров – температуры и влажности зерна за определенный период времени работы установки, с измерением параметров кинетики (температуры и влажности агентов). Четвертый этап заключался в определении коэффициентов нагрева и охлаждения при помощи номограмм, составленных с учетом частных исходных данных.

Цель и задачи

Цель экспериментов: исследование закономерностей влияния параметров сушки с дифференцированным подводом тепла на КПД нагрева зерновки и КПД испарения поверхностной влаги

Задачи:

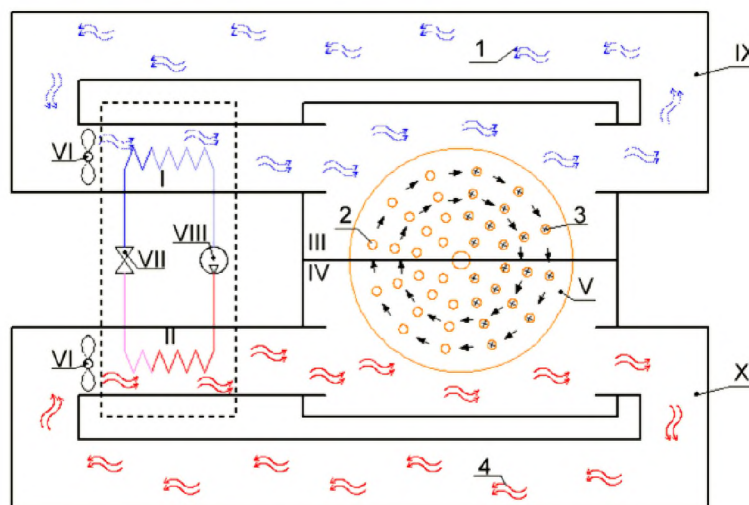
- определить входные параметры и их диапазоны измерения;
- провести ранжирование входных параметров;
- разработать и сравнить с аналогами новое техническое средство для определения влажности зерна;
- разработать методика построения номограмм для определения значений КПД нагрева и КПД испарения по входным и выходным параметрам сушки (масса тысячи зерен, начальная и конечная влажность зерна, начальная и конечная температуры зерна и агентов);
- разработать лабораторную зерносушилку на базе ТНУ и провести исследования работы по интенсификации процесса сушки семян пшеницы;
- выявить взаимосвязь коэффициентов полезного действия в зависимости от исходных параметров зернового материала и технологических параметров дифференцированной сушки;
- определить качественные показатели семян пшеницы до и после сушки (зараженность, всхожесть и энергия прорастания).

3.1 Приборы и оборудование для экспериментальных исследований

Для проведения лабораторных исследований была разработана лабораторная зерносушилка на базе теплонасосной установки [57], позволяющая осуществить дифференцированную кинетику сушки зерен пшеницы. Технологическая схема зерносушилки лабораторной представлена на рисунке 3.1.

Зерносушилка лабораторная состоит из корпуса, выполненного из теплоизоляционного материала. Корпус зерносушилки соединен с камерами нагрева II и охлаждения I ТНУ воздуховодами IX и X. Внутренняя полость корпуса разделена теплоизоляционной перегородкой, которая делит внутреннее пространство на две камеры - охлаждения III и нагрева IV. В верхней части корпуса предусмотрена установка вращающегося штатива V. Верхняя часть оборудована съемной крышкой, выполненной из того же теплоизоляционного материала, что и

корпус. Съемная крышка предназначена для обеспечения доступа в камеры охлаждения III и нагрева IV [34].

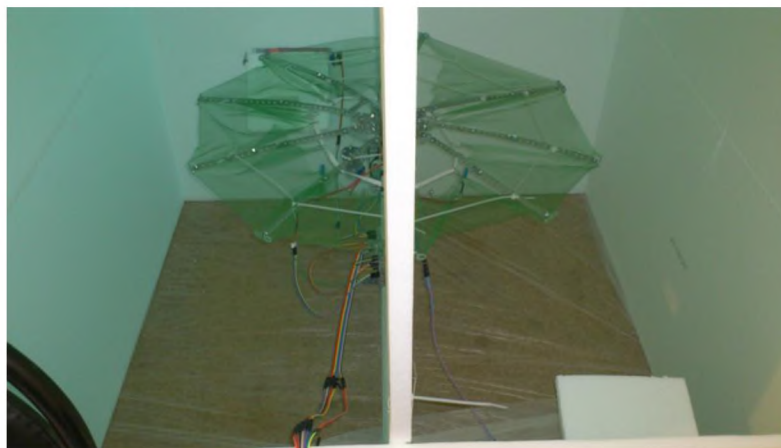


- I – испаритель ТНУ (охлаждение); II – конденсатор ТНУ (нагрев); III – камера охлаждения; IV – камера нагрева; V – вращающийся лоток для размещения зернового материала; VI – рециркуляционные осевые вентиляторы; VII – дроссель; VIII – компрессор; IX – воздуховод агента охлаждения; X – воздуховод агента нагрева;
- 1 – агент охлаждения; 2 – зерновой материал охлажденный; 3 – зерновой материал нагретый; 4 – агент нагрева

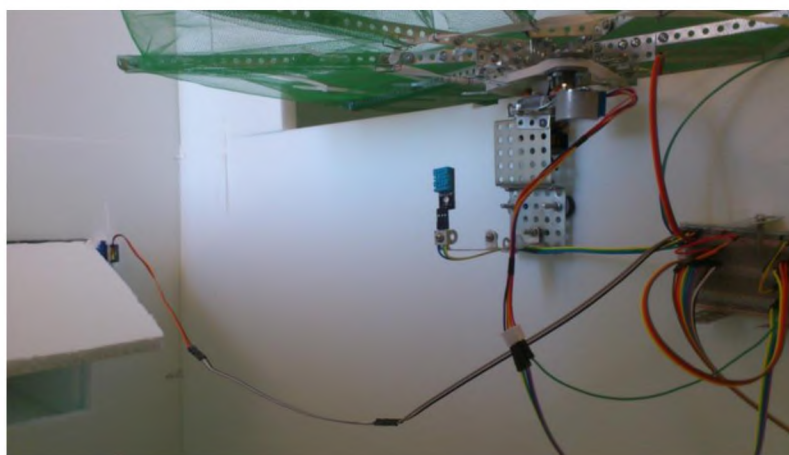
Рисунок 3.1 - Эскиз зерносушилки лабораторной

Лоток представляет собою перфорированную сетку, обеспечивающую свободное движение агента, опирающуюся на упорный подшипник с приводом от шагового двигателя, обеспечивающего вращение с заданной скоростью.

Привод заслонок рециркуляционных воздуховодов выполнен с применением сервомашин с обратной связью SG90, привод лотка от шагового двигателя 28BYJ-48 с драйвером на микросхеме ULN2003, цифровые термогигрометры марки DHT11, микроконтроллер AT Mega 328. Технические характеристики (datasheet) оборудования представлены в приложении Д, исходный код микроконтроллера написан в программной среде Arduino 1.6.8 на языке программирования processing и представлен в приложении Е.



а



б

а – вид внутри; б – привод лотка

Рисунок 3.2 - Зерносушилка лабораторная (фото)

В процессе исследований в зерносушилке лабораторной измерялись температура и влажность агентов нагрева и охлаждения посредством использования термогигрометров ИВА-6АП, чувствительные элементы которых располагались непосредственно над подвижным лотком с материалом.

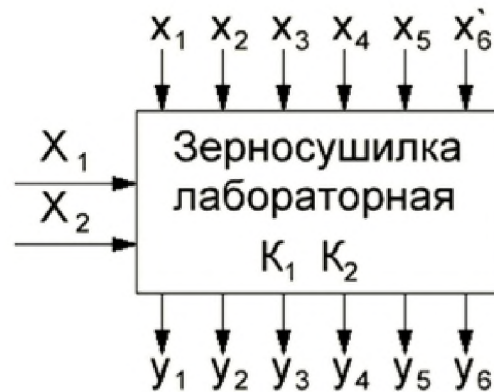
Для определения остальных параметров использовалось следующее оборудование: весы электронные ВК-1500 и ВЛТЭ-500; штангенциркуль ЧИЗ 0-250; секундомер электронный; тепловизор Flir i5, электровлагомер Wile 55.

Перед проведением экспериментальных исследований все измерительное оборудование проходило поверку и тарировалось (приложение Ж).

Технические характеристики измерительного оборудования представлены в приложении Ж.

3.2 Методика ранжирования факторов экспериментальных исследований для выявления зависимостей КПД нагрева и испарения

Планирование многофакторного эксперимента определялось количеством входных параметров. Число опытов в структуре ядра эксперимента имело степенную функцию от числа факторов вида $N=2^n$, где n – число учитываемых факторов. Перед планированием эксперимента необходимо выяснить степень влияния входных параметров на ход эксперимента, на изменение параметра оптимизации. Для выполнения ранжирования составлена блок-схема процесса дифференцированной сушки (рисунок 3.3), основанная на алгоритме выполнения решения систем уравнений, представленных во второй главе.



x_i – входные параметры зернового материала; X_i – входные параметры кинетики сушки; y_i – выходные параметры зернового материала; K_i – внутренние параметры

Рисунок 3.3 – Блок-схема процесса дифференцированной сушки зерен пшеницы

Рассматриваемые факторы: x_1 – температура агента нагрева T_H ; x_2 – температура агента охлаждения T_0 ; x_3 – влажность агента нагрева φ_H ; x_4 – влажность агента охлаждения φ_0 ; x_5 – начальная влажность зерна u_0 ; x'_6 – начальная температура зерна T_0 ; K_1, K_2 – коэффициент нагрева зерновки η_H и испарения поверхностной влаги η_H соответственно; y_1, y_2 – температура и влажность зерна соответственно в момент времени 360 с; y_3, y_4 – температура и влажность зерна

соответственно в момент времени 480 с; y_5 , y_6 – температура и влажность зерна соответственно в момент времени 600 с; X_1 – геометрические характеристики зерновки l , a , b ; X_2 – масса тысячи зерен M .

Из блок-схемы было видно, что входные параметры разбиты на две группы: зернового материала и кинетики сушки.

К входным параметрам зернового материала относятся: геометрические характеристики (длина, толщина, высота); масса тысячи зерен; начальная влажность; начальная температура. Входные параметры x_i являются независимыми, так как непосредственно повлиять на их количественный состав мы не можем.

К входным параметрам кинетики сушки относятся; время цикла; температура и влажность агентов нагрева и охлаждения. Входные параметры X_i являются зависимыми, так как зерносушилка лабораторная позволяет выполнять варьирование этих факторов.

К выходным параметрам относятся температура и влажность зерновки. Остальные выходные параметры не учитывались алгоритмом, рассмотренным во второй главе.

К внутренним параметрам K_i относятся коэффициент полезного действия нагрева зерновки и испарения влаги. Предполагается, что эти факторы зависят от x_i и X_i и являются параметрами оптимизации.

Для выполнения ранжирования использовался экспериментальный метод выбора факторов [53]. Экспериментальный метод выбора факторов ориентирован на выявление степени влияния того или иного фактора на выходные параметры при постоянстве других параметров. Необходимо учитывать, что степень влияния необходимо устанавливать в интервалах, ограниченных алгоритмом решения систем уравнений дифференцированной сушки.

Ранжирование параметров выполнялось в следующей последовательности:

- входным параметрам алгоритма решения дифференцированной кинетики сушки (температура агента нагрева, температура агента охлаждения, начальная

температура зерна, начальная влажность зерна, коэффициент нагрева, коэффициент охлаждения) присваивались переменные X_1, X_2, \dots, X_6 ;

- при неизменных значениях параметров X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 определялись изменение выходных параметров (влажность и температура зерна после сушки) в зависимости от фактора x_1 ;

- аналогичным образом определялись изменение выходных параметров в зависимости только от фактора x_2 ;

- подобным образом определялись изменения выходных параметров от X_3, X_4, X_5 и X_6 ;

- по результатам, полученным в результате определения влияния частных факторов на выходные параметры, строились графические зависимости с использованием среды MS Excel в виде точечных диаграмм;

- на полученные диаграммы размещались линия тренда с отображением уравнения и величины достоверности аппроксимации;

- сглаживание настраивалось таким образом, чтобы значение величины достоверности аппроксимации было равно 1 или стремилось к этому значению;

- для каждой полученной зависимости анализировался характер изменения величины (линейная, квадратичная, кубическая и т.д.);

- по форме, определялась степень влияния каждого фактора X_1, X_2, \dots, X_6 на параметр оптимизации по «старшинству»;

- на основании данных формы факторы располагались в порядке уменьшения влияния на параметр оптимизации;

- выполнялась обратная замена факторов на входные параметры;

- входным параметрам, расположенным в порядке, обоснованном результатами ранжирования, присваивались факторы x_1, x_2, \dots, x_6 по степени важности.

3.3 Методика проведения лабораторных исследований по определению исходных данных для построения номограмм

Лабораторные исследования проводились для зерен пшеницы сорта «Новосибирская-31». Продолжительность периодов нагрева и охлаждения - $60 \pm 15\%$ секунд.

Определение исходных данных для построения номограмм выполнялось в следующей последовательности:

- непосредственно перед сушкой определялись геометрические параметры зерновки;
- определялась масса тысячи зерен;
- определялась влажность зерна влагомером Wile 55;
- определялась влажность зерна звуковым сканером;
- определялась температура зерна перед сушкой;
- определялись температуры и влажности агентов непосредственно в процессе сушки зерна.

3.3.1 Методика определения геометрических параметров зерновки

За основу была принята методика измерения линейных размеров деталей штангенинструментами [40].

Для определения геометрических параметров (линейных размеров) зерновки использовался штангенциркуль типа ШЦ-II марки ЧИЗ 0-250 [40].

3.3.2 Методика определения массы тысячи зерен

За основу принята методика, представленная в ГОСТ 12042-80 [15].

Для определения массы тысячи зерен использовались весы электронные марки ВК-1500 (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 - Весы электронные ВК-1500 (фото)

Определение массы тысячи зерен проводилось в следующей последовательности:

- Из емкости с зерновым материалом делались выборки из 5 точек (четыре угла и центр);
- из объема выборок отбирались три навески по 500 зерен;
- весы лабораторные электронные устанавливались на горизонтальную поверхность и работали в режиме холостого хода (без груза) в течение пяти минут [15];
- на весы устанавливалась тара;
- согласно плану эксперимента, представленному ниже, с трехкратным повтором определялась масса первой навески вместе с тарой;
- аналогично предыдущему пункту определялась масса второй и третьей навески с тарой;
- в тару, размещенную на весах, засыпали все три навески и, с трехкратной повторностью, определялась общая масса трех навесок и тары.

Измерения массы навесок определялись в соответствии с таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – План проведения эксперимента по определению масс навесок

№ опыта	X1	X2	X3	Масса
1	+	-	-	У1
2	-	+	-	У2
3	-	-	+	У3
4	+	+	+	У4

Где переменным X_1 , X_2 , X_3 соответствовали измерения массы с использованием 1, 2 и 3 навесок зерна соответственно.

Целесообразность представленного способа измерения масс навесок обоснована тем, что дисперсия в данном случае в 2 раза ниже, чем в случае, представленном в ГОСТе [15].

Массы навесок определялась по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= (Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2; \\ X_2 &= (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2; \\ X_3 &= (-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4) / 2; \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Масса тысячи зерен определялась по выражению:

$$M = (X_1 + X_2 + X_3) \cdot 2 / 3 \quad (3.2)$$

Измерения массы тысячи зерен считались верными, если выполнялось условие точности измерений, представленное в таблице 3.2, выдержанной из ГОСТ 12042-80.

Таблица 3.2 – Допустимые погрешности [15]

Десятки	Единицы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
1	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,26	0,27	0,28
2	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44
3	0,45	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52	0,54	0,56	0,57	0,58
4	0,60	0,62	0,63	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70	0,72	0,74
5	0,75	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88
6	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	1,04
7	1,05	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12	1,14	1,16	1,17	1,18
8	1,20	1,22	1,23	1,24	1,26	1,28	1,29	1,30	1,32	1,34
9	1,35	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,44	1,45	1,47	1,48

Погрешность измерения определялась по выражению:

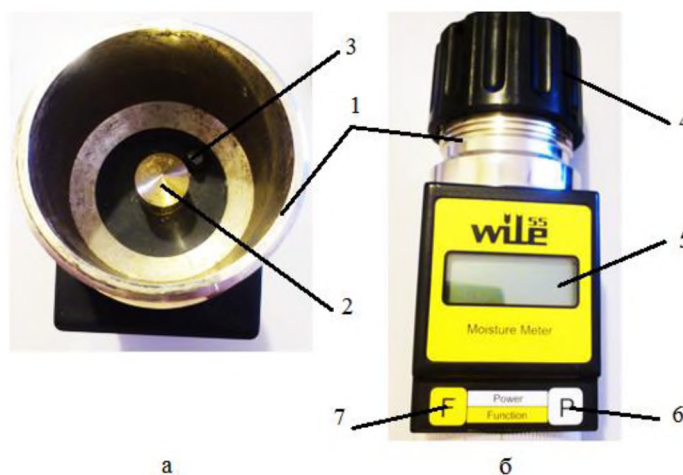
$$\Delta = \frac{|X_1 - X_2| + |X_2 - X_3| + |X_3 - X_1|}{3} \quad (3.3)$$

В случае превышения погрешности измерений необходимо было повторить все измерения заново.

3.3.3 Методика сравнительных измерений влажности зернового материала до и после сушки с помощью влагомера «Wile 55» и технического средства «Звуковой сканер»

Влажность зерна определялась с использованием технических устройств Wile 55 и «Звуковой сканер» для оценки точности измерений и снижения погрешности измерений [56, 58].

За основу была принята методика определения влажности зерна электровлагомером, представленная в паспорте влагомера марки Wile 55 (рисунок 3.5).



а – вид сверху; б – вид спереди

1 – емкость для зернового материала; 2 – электрод; 3 – полупроводниковый измерительный элемент; 4 – крышка с прижимным механизмом; 5 – ЖК-дисплей;
6 – кнопка начала измерения; 7 – кнопка смены культуры

Рисунок 3.5 - Электровлагомер зерна марки Wile 55 (фото)

Совместно с использованием электровлагомера использовалось устройство «Звуковой сканер» (Рисунок 3.6) разработанное на кафедре «Энергообеспечения сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» [56, 58].



Рисунок 3.6 - Устройства «Звуковой сканер» (фото)

- зерновой материал непосредственно перед измерением влажности тщательно перемешивался;
- емкость влагомера наполнялась зерновым материалом с «горкой»;
- влагомер с зерновым материалом встряхивался для равномерного распределения зерна;
- крышка проводилась по поверхности емкости влагомера для удаления излишнего материала из емкости;
- крышка закручивалась до тех пор, пока регулировочный винт прижимного механизма не начинал совпадать с внешней плоскостью крышки;
- нажималась кнопка начала измерений;
- нажатием кнопки выбора культуры выставлялась позиция «2», соответствующая пшенице;
- ожидалось появление результата определения влажности пшеницы на ЖК-дисплее влагомера;
- данные измерений заносились в таблицу по форме;
- производилась обработка результатов измерений.
- Устройство «Звуковой сканер» подключалось к персональному компьютеру посредством протокола связи USB;

- запускалась программа «Grain Sound Scan» (далее «GSS») [58] (интерфейс программы представлен в приложении 3);
- нажималась кнопка «Начать запись»;
- в звуковой сканер засыпался весь объем зернового материала, влажность которого необходимо определить;
- нажималась кнопка «Остановить запись»;
- нажималась кнопка «Сохранить фрагмент» и присваивалось имя файлу записи;
- проводились записи фрагментов всех измерений;
- производилась выборка зернового материала для выполнения калибровки («калибровочный материал») «Звукового сканера» в объеме, соответствующем ГОСТ 13586.5-93 [17];
- производилась запись фрагмента калибровочного материала;
- согласно методике, представленной в ГОСТ 13586.5-93, выполнялось определение влажности «калибровочного материала»;
- производилась запись фрагмента остаточного сухого «калибровочного материала» после определения влажности по ГОСТ 13586.5-93, обладающего влажностью 0%;
- нажималась кнопка «Обработать»;
- нажималась кнопка «Сохранить образец» и присваивалось имя «0»;
- в окне «Записи» программы «GSS» выделялся фрагмент «калибровочный материал»;
- нажималась кнопка «Обработать»;
- нажималась кнопка «Сохранить образец» и присваивалось имя, соответствующее влажности «калибровочного материала», определенной по ГОСТ 13586.5-93 [17];
- для определения влажности требуемого образца в поле «Записи» выделялся требуемый фрагмент;
- нажималась кнопка «Обработать»;
- нажималась кнопка «Сравнить по близости»;

- значения, отображаемые в поле «Образцы», заносились в таблицу;
- табличные данные обрабатывались методом интерполяции.

Влажность пробы определялась по выражению:

$$u_i = X \cdot \left(1 - \frac{y_x}{y_0 + y_x}\right), \quad (3.4)$$

где X – значение влажности «калибровочного образца», %;

Y_0 – коэффициент несовпадения влажности пробы с влажностью образца «0»;

Y_x – коэффициент несовпадения влажности пробы с влажностью «калибровочного образца».

Результаты проведенных исследований представлены в приложении Н.

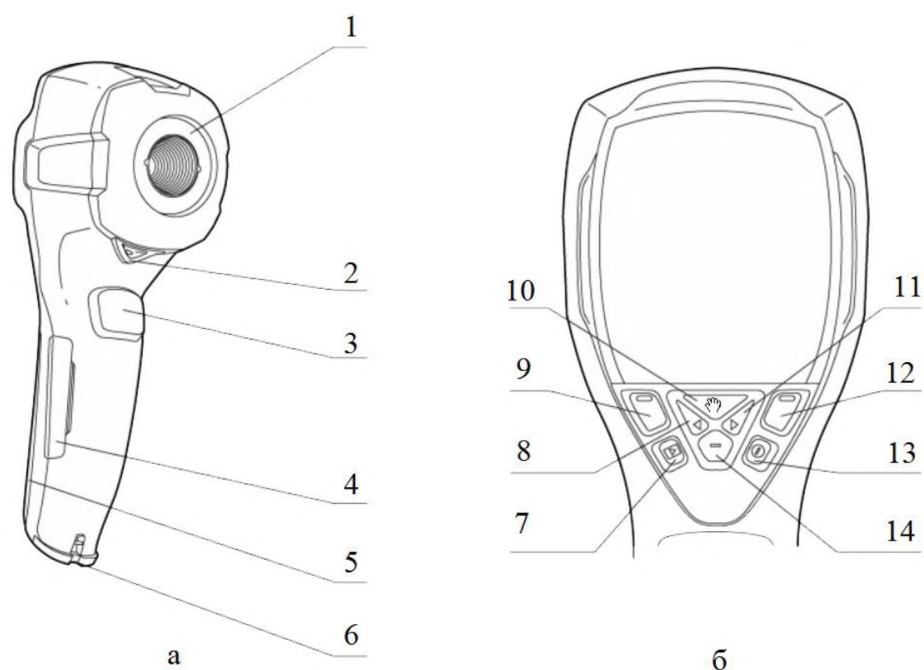
3.3.4 Методика определения температуры зернового материала перед сушкой для построения номограмм, и после сушки для определения КПД нагрева и испарения

За основу приняты рекомендации по измерению температуры объектов, представлены в руководстве пользователя тепловизором Flir серии I [116].

Для определения температуры зерна использовался тепловизор Flir i5, внешний вид которого представлен на рисунке 3.7.

Перед измерением температуры выполнялась настройка тепловизора по отображению температуры тела в области прицельной точки. Для этого выполнялись следующие действия:

- нажатием на кнопку питания производилось включение тепловизора;
- нажималась правая кнопка выбора меню;
- используя навигационные кнопки, выбирался пункт «Экранирование»;
- нажатием кнопки «Выбрать» осуществлялся вход в соответствующий пункт меню;
- используя навигационные кнопки, выбирался пункт «Приц. тчк»;
- нажатием кнопки «Выбрать» осуществлялось подтверждение изменений настроек.



а – общий вид тепловизора; б – кнопки управления тепловизором
 1 – инфракрасный объектив; 2 – рычаг открытия и закрытия крышки объектива; 3 – пусковая кнопка для сохранения изображений; 4 – крышка разъемов и слота для карты памяти; 5 – крышка аккумуляторного отсека; 6 – точка крепления ручного ремня; 7 – кнопка «Архив»; 8 – кнопка со стрелкой влево; 9 – левая кнопка выбора; 10 – кнопка «+»; 11 – кнопка со стрелкой вправо; 12 – правая кнопка выбора; 13 – кнопка включения / выключения; 14 – кнопка «->»

Рисунок 3.7 - Тепловизор Flir i5

Настройки тепловизора достаточно выполнить один раз.

Измерение температуры зерна проводилось в пяти точках по схеме, представленной на рисунке 3.8.

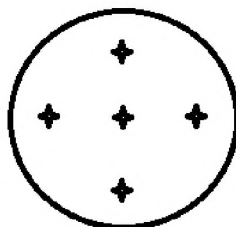


Рисунок 3.8 - Точки измерения температуры зерна

Для исключения влияния отраженного инфракрасного излучения измерения температуры выполнялись под различными углами.

Последовательность определения температуры зерна тепловизором Flir i5:

- нажималась кнопка включения;
- открывался рычаг объектива;
- тепловизор устанавливался на таком расстоянии от емкости с зерном, чтобы на экране отображался весь зерновой материал;
- после автоматической фокусировки прицельная точка тепловизора наводилась на первую точку измерения температуры;
- нажималась пусковая кнопка для сохранения изображения***;
- тепловизор смещался в сторону на некоторое расстояние (5-10 см)*;
- прицельная точка тепловизора наводилась на вторую точку измерения температуры**;
- пункты помеченные *, ** и *** повторялись до тех пор, пока не были произведены снимки температур всех пяти точек;
- нажималась кнопка «Архив»;
- с графических изображений в форму заносились данные определения температур зерна в различных точках.

Температура зерна определялась непосредственно перед началом процесса сушки. Исходная влажность определялась согласно методике, представленной в разделе 3.3.3.

3.3.5 Методика определения температуры и влажности агента сушки (охлаждения) построения номограмм и определения КПД нагрева и охлаждения

За основу принята методика измерений, представленная в инструкции по пользованию термогигрометром ИВА-6АП [117].

Для определения температуры и влажности агента сушки (охлаждения) использовался электронный термогигрометр ИВА-6АП, внешний вид которого представлен на рисунке 3.9.

Температура и влажность агента измерялись непосредственно над поверхностью подвижного лотка с зерновым материалом, расположенного в камере нагрева либо камере охлаждения лабораторной зерносушилки во время сушки.



1 – строка отображения влажности воздуха, %; 2 – шкала отображения температуры воздуха, °С; 3 – кнопка «вниз»; 4 – кнопка «вправо»; 5 – чувствительный элемент

Рисунок 3.9 - Термогигрометр ИВА-6

Последовательность определения температуры агента с использованием электронного термогигрометра ИВА-6:

- чувствительный элемент размещался в камере лабораторной зерносушилки и фиксировался в специальном отверстии в крышке зерносушилки;
- нажималась кнопка «вниз» лицевой стороны термогигрометра;
- с периодичностью 1 раз в 60 секунд производилась запись показаний влажности и температуры агента в форму;
- производилась обработка полученных результатов.

3.4 Методика построения номограмм для определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги

Построение номограмм производилось при помощи алгоритма (приложение И) в среде MathCAD.

Построение номограмм производилось в следующей последовательности:

- заносились значения геометрических параметров зерновки (длина, ширина, толщина) в миллиметрах, определенные экспериментальным путем;
- заносилась масса тысячи зерен в граммах, определенная экспериментальным путем;
- заносились начальная влажность и температура зернового материала, определенные экспериментальным путем;
- заносились температуры агентов в камере нагрева и охлаждения, определенные экспериментальным путем;
- нажималась клавиша «Enter», после чего в среде MathCAD в автоматическом режиме производились расчеты и строились номограммы.

3.5 Методика проведения работы по исследованию интенсификации процесса сушки семян пшеницы

После построения номограмм для определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по исходным данным (раздел 3.3) проводилась следующая последовательность действий:

- включалась лабораторная зерносушилка и работала без зернового материала до момента установления температур агентов нагрева и охлаждения в камерах;
- исходный материал разбивался на три пробы и укладывался на подвижный лоток;
- включался микроконтроллер схемы управления и запускался монитор порта (начало сушки);

-через 360 с после начала сушки извлекалась первая проба с последующим определением ее влажности и температуры (пункты 3.3.3, 3.3.4), полученные результаты заносились в форму;

-через 480 с после начала сушки извлекалась первая проба с последующим определением ее влажности и температуры (пункты 3.3.3, 3.3.4), полученные результаты заносились в форму;

-через 600 с после начала сушки извлекалась первая проба с последующим определением ее влажности и температуры (пункты 3.3.3, 3.3.4), полученные результаты заносились в форму;

-по результатам измерений выходных параметров (температуры и влажности проб после сушки) по номограммам определялись значения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.

Далее эксперимент проводился с использованием проб различной начальной влажности и температуры. Исходные данные представлены в приложении Н.

3.6 Методика определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по номограммам

Методика разработана посредством манипуляции программы «перебора» решения систем уравнений процесса дифференцированной сушки пшеницы сотрудниками кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья».

Определение коэффициентов нагрева и испарения выполнялось по номограммам, составленным для частных случаев входных параметров зернового материала и кинетики сушки с использованием алгоритма в MathCAD, представленного в приложении И.

Для построения частных случаев номограмм в программной среде MathCAD необходимо учитывать такие параметры зернового материала, как геометрия, масса тысячи зерен, начальная температура и начальная влажность зерна, а также температуры агентов нагрева и охлаждения.

Зная влажность и температуру зерна после сушки, графоаналитическим способом определялись значения коэффициентов нагрева и испарения.

Последовательность определения коэффициентов нагрева и испарения по номограммам:

- на номограммах проводились вертикальные линии, соответствующие значениям выходных данных зернового материала (температура и влажность после сушки);

- на пересечении вертикальных линий и кривых, представленных на номограммах, определялся приблизительный диапазон колебания коэффициентов нагрева и охлаждения;

- на дополнительных осях номограмм выделялись приблизительные диапазоны колебания коэффициентов, тем самым производилось сужение областей номограмм;

- вторая и третья позиции методики повторялись до тех пор, пока приблизительные интервалы колебания коэффициентов не сошлись в точку;

- методом интерполяции производилось определение значения коэффициентов нагрева и испарения.

3.7 Методика проведения экспериментальных исследований влияния входных параметров на КПД нагрева и испарения

Обработка результатов эксперимента предназначена для получения выражений регрессии, отображающих изменение коэффициента полезного действия нагрева и испарения по времени, в зависимости от входных параметров зерна (геометрические параметры, начальная влажность) и кинетики его сушки (температур и влажностей агентов нагрева и охлаждения).

По результатам проведения пассивного многофакторного эксперимента заполнялась таблица структуры, из которой формировались матрицы для определения коэффициентов регрессии.

В общем виде, на основе ранжирования факторов, выражения регрессии представляют собой линейные зависимости и описываются следующим образом [53]:

$$y_i = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \dots + \sum_{1,2 \dots \leq i < j \leq k-1,k} b_{ij} \cdot x_i x_j \quad (3.5)$$

или,

$$y_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{15} x_1 x_5 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{25} x_2 x_5 + b_{34} x_3 x_4 + b_{35} x_3 x_5 + b_{45} x_4 x_5 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + b_{124} x_1 x_2 x_4 + b_{125} x_1 x_2 x_5 + b_{234} x_2 x_3 x_4 + b_{235} x_2 x_3 x_5 + b_{345} x_3 x_4 x_5 + b_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4 + b_{1235} x_1 x_2 x_3 x_5 + b_{12345} x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$$

где b_0 – нулевой коэффициенты регрессии;

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 – коэффициент, учитывающий влияние фактора x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 соответственно;

$b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}$ – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_1 и x_2, x_1 и x_3, x_1 и x_4, x_1 и x_5 соответственно;

b_{23}, b_{24}, b_{25} – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_2 и x_3, x_2 и x_4, x_2 и x_5 соответственно;

b_{34}, b_{35}, b_{45} – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_3 и x_4, x_3 и x_5, x_4 и x_5 соответственно;

$b_{123}, b_{124}, b_{125}$ – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_1 и x_2 и x_3, x_1 и x_2 и x_4, x_1 и x_2 и x_5 соответственно;

$b_{234}, b_{235}, b_{345}$ – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_2 и x_3 и x_4, x_2 и x_3 и x_5, x_3 и x_4 и x_5 соответственно;

b_{1234}, b_{1235} – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_1, x_2, x_3 и x_4, x_1, x_2, x_3 и x_5 соответственно;

b_{12345} – коэффициент, учитывающий совместное влияние факторов x_1, x_2, x_3, x_4 и x_5 ;

Для определения коэффициентов регрессии формировались матрицы:

$$X = \begin{vmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} & x_{11} \cdot x_{12} & \dots & x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} & x_{21} \cdot x_{22} & \dots & x_{21} \cdot x_{22} \cdot x_{23} \cdot x_{24} \cdot x_{25} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & x_{n4} & x_{n5} & x_{n1} \cdot x_{n2} & \dots & x_{n1} \cdot x_{n2} \cdot x_{n3} \cdot x_{n4} \cdot x_{n5} \end{vmatrix} \quad (3.6)$$

$$Y_i = \begin{pmatrix} y_{1i} \\ y_{2i} \\ \dots \\ y_{ni} \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Определение коэффициентов регрессии производилось в следующей последовательности:

- по выражению 3.8 определялась матрица, содержащая коэффициенты регрессии [54]:

$$B_i = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_{12345} \end{pmatrix} = (X^T \cdot X)^{-1} (X^T Y_i) \quad (3.8)$$

- из определителя B_i формировались коэффициенты регрессии;

- по выражению 3.9 определялась дисперсия оценок коэффициентов;

$$\sigma_{b_i}^2 = \frac{\sigma_y^2}{n \cdot N}, \quad (3.9)$$

где n – число факторов;

N – число опытов

- определялась среднеквадратичная ошибка;

- по табличным данным (приложение К) [53] выбиралось значение t-критерия при условии уровня значимости $\alpha=0,05$ (5%);

- по выражению 3.10 определялся доверительный интервал коэффициентов регрессии;

$$\Delta_{B_i} = \sigma \cdot (t - \text{критерий}) \quad (3.10)$$

- коэффициенты, абсолютная величина которых равна или больше доверительного интервала, признавались статически значимыми. Статически незначимые коэффициенты регрессии приравнивались к нулю;

- на основе статистической значимости коэффициентов формировалось выражение регрессии по модели, описанной в выражении 3.5.

Проверка гипотезы об адекватности модели выполнялась с помощью F-критерия (критерия Фишера).

3.8 Методика определения качественных показателей семян пшеницы до и после сушки с дифференцированным подводом тепла

Качественные показатели (зараженность, энергия прорастания и всхожесть) определялись до сушки, после сушки классической кинетикой и после сушки кинетикой с дифференцированным подводом тепла.

3.8.1 Методика определения зараженности семян

За основу была принята методика определения зараженности семян, представленная в ГОСТ 12044-93 [16].

3.8.2 Методика определения всхожести и энергии прорастания семян

За основу была принята методика определения всхожести и энергии прорастания семян, представленная в ГОСТ Р 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества» [18].

3.9 Методика определения энергетических затрат для оценки процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла

Для определения энергетических затрат процесса сушки использовалась лабораторная зерносушилка, работающая в двух режимах: с дифференцированным подводом тепла (нагрев и охлаждение) и с «классическим» подводом тепла (нагрев на протяжении всего процесса сушки). В первом случае в качестве источника тепловой энергии служила теплонасосная установка, а во втором – трубчатый электронагреватель т.к. он используется в аналогичных по производительности селекционных зерносушилках.

Оценка энергозатрат осуществлялась в следующей последовательности:

-определялась исходная влажность и начальная температура проб до сушки по методикам, представленным в пунктах 3.3.3 и 3.3.4, а также масса проб до сушки по методике, представленной в пункте 3.3.2;

-запускалась лабораторная зерносушилка (в зерносушилку были установлены весы) и работала в холостую до достижения установившегося значения температуры в ее камерах;

-проба устанавливалась на весы в лотке для контроля ее массы;

-осуществлялась сушка одной пробы по классической кинетике с использованием ТЭНа в качестве источника тепловой энергии с нагревом на протяжении всего процесса (данные о температуре агента поступали в компьютер через микроконтроллер, который регулировал температуру агента $60^{\circ}\text{C}\pm 10\%$);

-по окончании сушки по классической кинетике измерялись температура и влажность пробы по представленным выше методикам;

-аналогичным образом осуществлялась сушка второй пробы, только в качестве источника тепла выступала ТНУ и проба размещалась на подвижный лоток, который перемещал с заданной частотой (время нагрева и охлаждения по $60\pm 15\%$ с).

В процессе проведения оценки энергетических затрат определялись изменение влажности проб по массе, температуры испарителя и конденсатора ТНУ, температур агентов нагрева и испарения.

Влажность зерна в каждый момент времени определялась из значений текущих масс пробы по выражению:

$$u(t)=100*(m(t)-m_{\text{св}})/m(t), \quad (3.11)$$

где $u(t)$ – текущее значение влажности пробы семян, %;

$m(t)$ – текущая масса пробы семян, г;

$m_{\text{св}}$ – масса сухого вещества пробы семян, г (определялась после сушки в соответствии с ГОСТ 13586.5-93 [17]).

Температуры испарителя и конденсатора ТНУ определялись посредством использования термопар, данные температур обрабатывались в автоматическом режиме посредством микроконтроллера.

Результаты определения энергетических затрат представлены в 4 главе и использованы для оценки процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла, представленной в 5 главе.

3.9.1 Определение производительности лабораторной зерносушилки

Производительность лабораторной зерносушилки определялась по выражению:

$$\Pi = M_{п} \cdot t_{\text{сушки}} / t, \quad (3.12)$$

где $M_{п}$ – масса партии семян до сушки, пл.кг;

$t_{\text{сушки}}$ – время работы сушилки в смену, ч;

t – время сушки одной партии семян, ч.

1 пл.кг считается при сушке партии с начальной влажностью $u_0=20,5$ %, конечной – $u=15,7$ %, в противном случае необходим перевод получившегося значения производительности Π методом интерполяции по известной методике с использованием таблицы перерасчета.

Результаты определения производительности лабораторной зерносушилки представлены в 4 главе и использованы в 5 главе при оценке эффективности.

3.9.2 Методика определения энергозатрат на сушку 1 планового килограмма семян

Расход электроэнергии (энергозатраты) на сушку одной партии определялся по выражению:

$$\mathcal{E} = (P_{\text{СУ}} + P_{\text{У}}) \cdot (t_0 + t_{\text{сушки}}), \quad (3.13)$$

где $P_{\text{СУ}}$ – установленная мощность активная схемы управления, кВт;

$P_{\text{У}}$ – установленная мощность активная силового оборудования сушилки (ТНУ, вентиляторы и т.п.), кВт;

t_0 – время подготовки сушилки к работе (выход на номинальный режим работы), ч;

$t_{\text{сушки}}$ – время работы установки в режиме сушки, ч.

Энергозатраты на сушку одного планового килограмма семян определялись по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{шт}} = \mathcal{E} / \Pi \quad (3.14)$$

где Π – производительность лабораторной зерносушилки, пл.кг (раздел 3.9.1)

Результаты определения энергозатрат на сушку 1 планового кг семян представлены в 4 главе.

Выводы по главе

1. По результатам проведения ранжирования установлены параметры входных величин процесса сушки семян при дифференцированном подводе тепла (температура агента нагрева, температура агента охлаждения, начальная влажность семян).
2. Разработаны методики для определения исходных данных для построения номограмм для определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.
3. Впервые разработана методика построения номограмм определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги.
4. Впервые разработана графо-аналитическая методика определения КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по номограммам.
5. Разработана методика проведения работ по исследованию интенсификации процесса сушки семян при дифференцированном подводе тепла.
6. Для изучения влияния процесса сушки с дифференцированным подводом тепла на качественные показатели семян представлены методики определения зараженности, всхожести и энергии прорастания.
7. Для оценки энергетических затрат разработана частная методика сравнения предложенной кинетики с существующей (классической).

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КИНЕТИКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СУШКИ НА КПД НАГРЕВА И ИСПАРЕНИЯ

Проведенные исследования были направлены на определение взаимосвязи между исходными параметрами зерна (геометрия, начальная влажность, масса тысячи зерен), кинетики сушки (температуры нагрева и охлаждения, влажности агентов нагрева и охлаждения, время цикла) и коэффициентами полезного действия нагрева и испарения. На основании полученных результатов составлены выражения регрессий для трех временных участков при продолжительности цикла дифференцированной сушки 60 секунд в интервалах времени 0-360, 360-480, 480-600 с.

В качестве испытуемого зерна выступала пшеница сорта «Новосибирская-31» (приложение Л)

4.1 Результаты ранжирования факторов экспериментальных исследований для выявления зависимостей КПД нагрева и испарения

Для выполнения ранжирования была составлена блок-схема процесса дифференцированной сушки (рисунок 3.3), представленная в третьей главе.

Ранжирование факторов проводилось в среде MathCAD посредством варьирования отдельных факторов при постоянстве остальных.

На основании полученных данных в среде MS Excel были построены точечные графики, проведены линии тренда и, на основании линий тренда, определены зависимости выходных параметров.

Зависимости выходных параметров y_i при варьировании отдельных входных параметров представлены на рисунках 1-12 (приложение М).

Подавляющее большинство рассмотренных зависимостей представляют собой линейные выражения первого порядка (показатель степени переменной равен единице). Следовательно, решение систем процесса дифференцированной сушки представляет собой выражения первого порядка (с незначительными изменениями коэффициентов на различных участках варьирования).

Анализируя изменения выходных величин, представленных на рисунках 1-12 (приложение М), составлена таблица 4.1, содержащая информацию о количественном влиянии входных величин. Фактору, оказывающему наибольшее влияние, присваивается минимальное число, соответствующее его месту среди остальных факторов.

Таблица 4.1 – Экспериментальное ранжирование факторов эксперимента

Наименование	T_n	T_o	T_0	u_0	η_n	η_i
Отклонение T_z , °С	3,97	17,93	0,02	0,94	11,35	0,19
Отклонение u , %	1,73	0,53	0,1	8,01	0,49	1,0
Влияние на T_z , место	3	1	6	4	2	5
Влияние на u , место	2	4	6	1	5	3
Среднее влияние на T_z и u , место	1	1	4	1	2	3
Код фактора (по важности)	x_1	x_2	x_6	x_3	x_4	x_5

На первом месте по влиянию на выходные параметры оказались температура агента нагрева, температура агента охлаждения и начальная влажность зерна (температура нагрева соответствует коду фактора x_1 , температура охлаждения – x_2 , начальная влажность зерна – x_3).

На втором месте по влиянию на выходные параметры оказался коэффициент полезного действия нагрева зерновки, который является параметром оптимизации (коэффициент полезного действия нагрева зерновки соответствует фактору x_4).

На третьем месте по влиянию на выходные параметры оказался коэффициент полезного действия испарения поверхностной влаги, который также является параметром оптимизации (коэффициент полезного действия испарения поверхностной влаги соответствует фактору x_5).

На последнем месте по влиянию на выходные параметры оказалась начальная температура зерна с кодом фактора x_6 .

Таким образом было установлено, что на процесс сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла в условиях естественной конвекции будут оказывать существенное влияние температура агента нагрева, температура агента охлаждения и начальная влажность зерна.

Из ранжирования факторов эксперимента видно, что начальной температурой зерновки можно пренебречь.

В общем виде проведение многофакторного эксперимента было направлено на получение зависимостей:

$$\eta_n = f(T_n, \varphi_n, T_o, \varphi_o, u_o, T_{\text{зерна}}, u_{\text{зерна}}) \quad (4.1)$$

$$\eta_{\text{и}} = f(T_n, \varphi_n, T_o, \varphi_o, u_o, T_{\text{зерна}}, u_{\text{зерна}}) \quad (4.2)$$

где T_n , T_o , $T_{\text{зерна}}$ – температура агента нагрева, агента охлаждения, зерна после сушки соответственно, °С;

φ_n , φ_o – влажность агента нагрева, охлаждения соответственно, %;

u_o , $u_{\text{зерна}}$ – влажность зерна начальная и после сушки соответственно, %.

По результатам ранжирования были установлены целевые функции для оценки влияния параметров кинетики сушки на КПД нагрева и испарения.

4.2 Результаты сравнительных измерений влажности зернового материала до и после сушки с помощью влагомера «Wile 55» и технического средства «Звуковой сканер»

В результате выполнения многофакторного пассивного эксперимента определялась влажность зерна с помощью двух технических устройств: влагомер Wile 55 и «Звуковой сканер», разработанный на кафедре «Энергообеспечение с/х» ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья».

С целью выбора одного устройства, как основного для определения влажности, была проведена серия сравнительных испытаний. Для выполнения эксперимента были определены влажности трех проб зерна по методике, представленной в главе 3.3.3, результаты измерений представлены в приложении

Н. В результате обработки полученных данных были построены зависимости, представленные на рисунке 4.1.

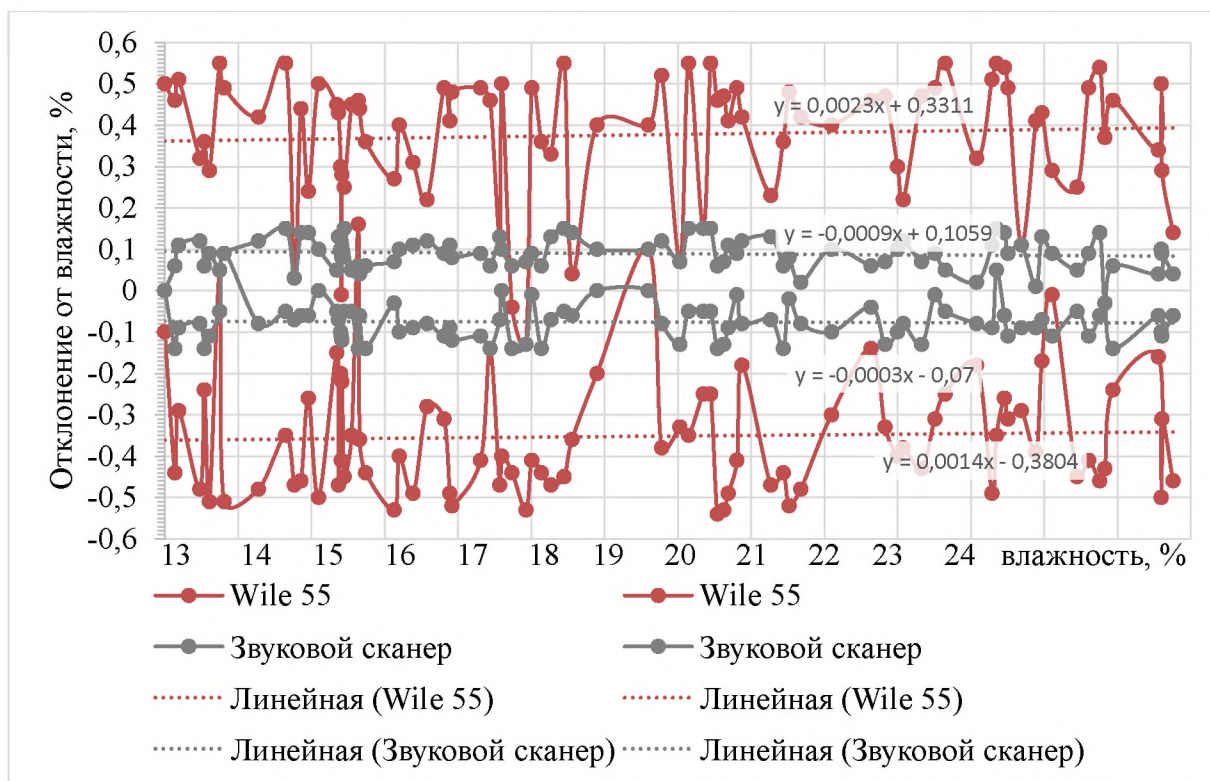


Рисунок 4.1 - Отклонение показаний влагомера Wile 55 и «Звукового сканера» при измерении влажности пшеницы

Сравнивая полученные данные (Рисунок 4.1, таблица 4.2), прослеживается следующая закономерность: среднеквадратичное отклонение у «Звукового сканера» 0,002, а у влагомера Wile 55 от 0,009 до 0,042. Следовательно, погрешность измерений устройства «Звуковой сканер» меньше чем у Wile 55 в 4,5-21 раз.

Таблица 4.2 – Определение влажности зерна (сводная таблица по определению влажности образцов представлена в приложении Н)

№ повтора	Влажность пробы зерна (Wile 55) u , %			Влажность пробы зерна (Звуковой сканер) u , %		
	1 проба	2 проба	3 проба	1 проба	2 проба	3 проба
1	2	3	4	5	6	7
1	23,5	27,5	19,7	23,6	27,4	19,5
2	23,5	27,6	19,5	23,5	27,5	19,5

Продолжение таблицы 4.2

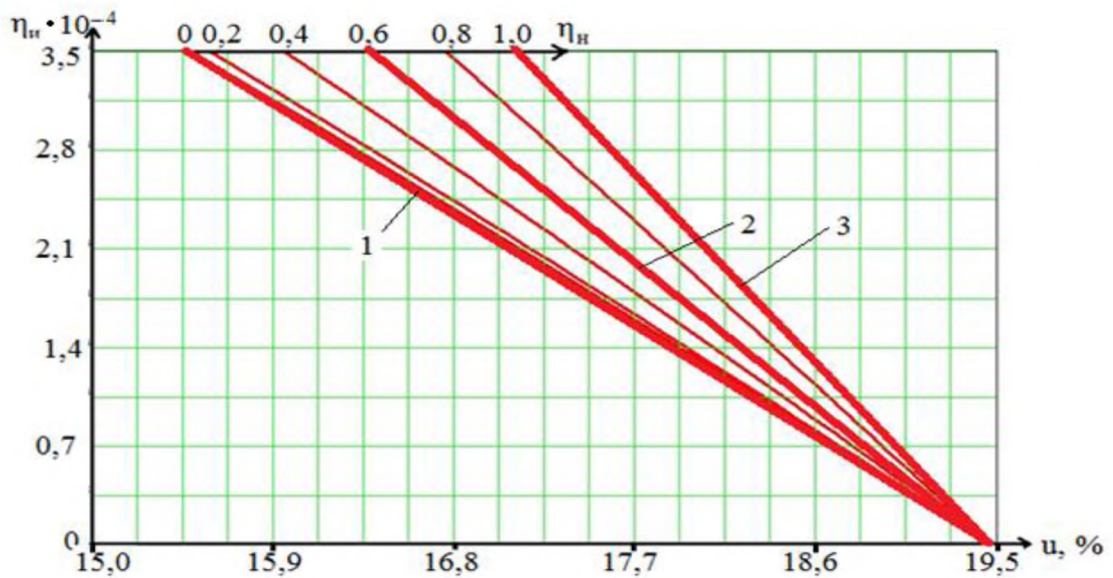
1	2	3	4	5	6	7
3	23,7	27,3	19,2	23,6	27,5	19,4
Среднее значение, \bar{x}	23,57	27,47	19,47	23,57	27,47	19,47
Среднеквадратичное отклонение, σ^2	0,009	0,016	0,042	0,002	0,002	0,002
Линейный коэффициент вариации, λ	0,004	0,005	0,011	0,002	0,002	0,002

Все дальнейшие измерения влажности зерна проводились «Звуковым сканером».

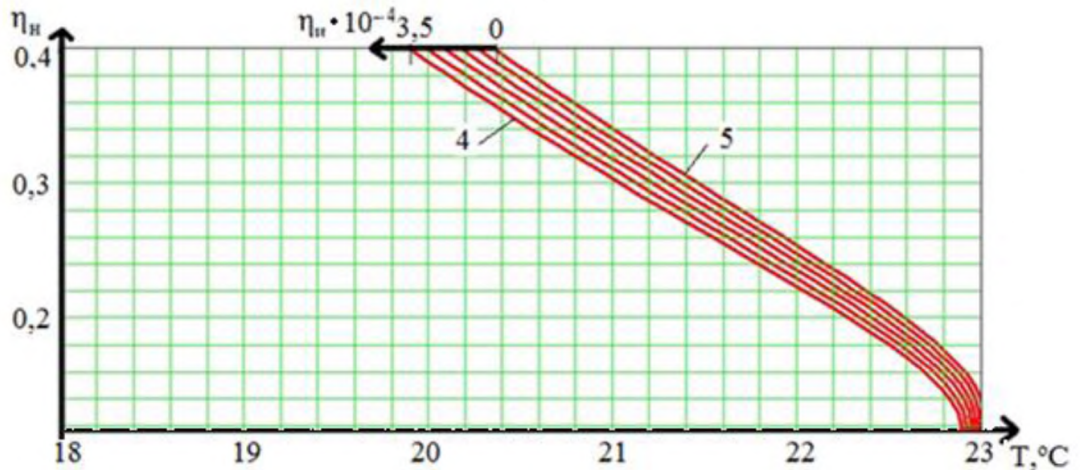
4.3 Результаты определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги по номограммам

В качестве исходных данных для построения номограмм были использованы геометрические параметры (длина, ширина, толщина) семян, масса тысячи зерен, исходная и конечная влажность (после сушки) семян, температура семян до и после сушки, температуры и влажности агентов нагрева и охлаждения, определенные по методикам, представленным в разделе 3.3. Результаты исследований представлены в приложении П.

В качестве примера был рассмотрен частный случай построения номограммы (рисунок 4.2): геометрические параметры зерновки 6,37x3,27x2,92 мм, масса тысячи зерен $M=38,52$ г, начальная влажность зерна $u_0=22,3$ %, начальная температура зерна $T_0=16,8$ °С, температура агента охлаждения $T_o=13,6$ °С, температура агента нагрева $T_H=37,2$ °С, время цикла $t_{ц}=60$ с.



а



б

а – определения КПД нагрева, б – определение КПД испарения

1 – зависимость изменения КПД испарения поверхностной влаги от конечной влажности зерновки при КПД нагрева $\eta_n=0$; 2 – зависимость изменения КПД испарения поверхностной влаги от конечной влажности зерновки при КПД нагрева $\eta_n=0,6$; 3 – зависимость изменения КПД испарения поверхностной влаги от конечной влажности зерновки при КПД нагрева $\eta_n=1$; 4 – зависимость изменения КПД нагрева от конечной температуры при КПД испарения $3,5 \cdot 10^{-4}$; 5 – зависимость изменения КПД нагрева от конечной температуры при КПД испарения 0.

Рисунок 4.2 - Номограммы для определения коэффициентов полезного действия нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги(пример)

Из номограмм видно, что с уменьшением КПД нагрева и при неизменном КПД испарения зерновки конечная влажность (после сушки) уменьшалась линейно, например, при КПД испарения $2,5 \cdot 10^{-4}$ и КПД нагрева 0,8, 0,6 и 0,4 конечная влажность составляет 17,6%, 17,3% и 17,0% соответственно (рисунок 4.2 а). Увеличение КПД нагрева способствует снижению скорости сушки.

Из номограмм (рисунок 4.2 б) видно, что при постоянстве КПД нагрева рост КПД испарения способствует снижению конечной температуры семян (после сушки), например, при КПД нагрева 0,3 и КПД испарения 0 и $3,5 \cdot 10^{-4}$ составляет 21,5 и 21 °С соответственно. Таким образом, увеличение интенсивности сушки характеризуется снижением температуры семян за счет затраты тепла на удаление поверхностной влаги.

Представленный пример построения номограмм позволяет оценить влияние входных и выходных факторов на параметры оптимизации (КПД нагрева зерна и КПД испарения поверхностной влаги).

Для других частных случаев (при изменении начальной влажности и температуры зерна, температур агентов нагрева и охлаждения) использовалась аналогичная методика определения КПД нагрева и испарения, представленная в разделе 3.6.

4.4 Результаты проведения экспериментальных исследований влияния входных параметров на КПД нагрева и испарения

Многофакторный эксперимент, планирование которого представлено в пункте 3.7, проводился с использованием лабораторной зерносушилки. В процессе проведения эксперимента определялись КПД нагрева и испарения через 360, 480 и 600 секунд после начала сушки.

КПД нагрева и испарения определялись графоаналитическим способом с использованием номограмм, построенным по входным данным, и были зашифрованы следующим образом:

y_1 – КПД нагрева;

y_2 – КПД испарения.

В результате обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессий для оценки параметров оптимизации КПД нагрева зерновки и КПД испарения поверхностной влаги (4.3 и 4.4):

$$\eta_n = 10^{-3} \cdot (-11 + 1,351 \cdot T_n - 2,193 \cdot T_o + 5,457 \cdot \varphi_n - 1,761 \cdot \varphi_o + 1,974 \cdot u_o) \quad (4.3)$$

$$\eta_{и} = 10^{-5} \cdot (-9,433 - 0,2585 \cdot T_n + 1,813 \cdot T_o - 7,911 \cdot \varphi_n + 1,5 \cdot \varphi_o + 0,728 \cdot u_o) \quad (4.4)$$

Анализ выражений 4.3 и 4.4 показал, что существенное влияние на КПД нагрева и испарения оказывает влажность агента нагрева, вторым по значимости является температура и влажность агента охлаждения, незначительное влияние оказывает начальная влажность зерновки.

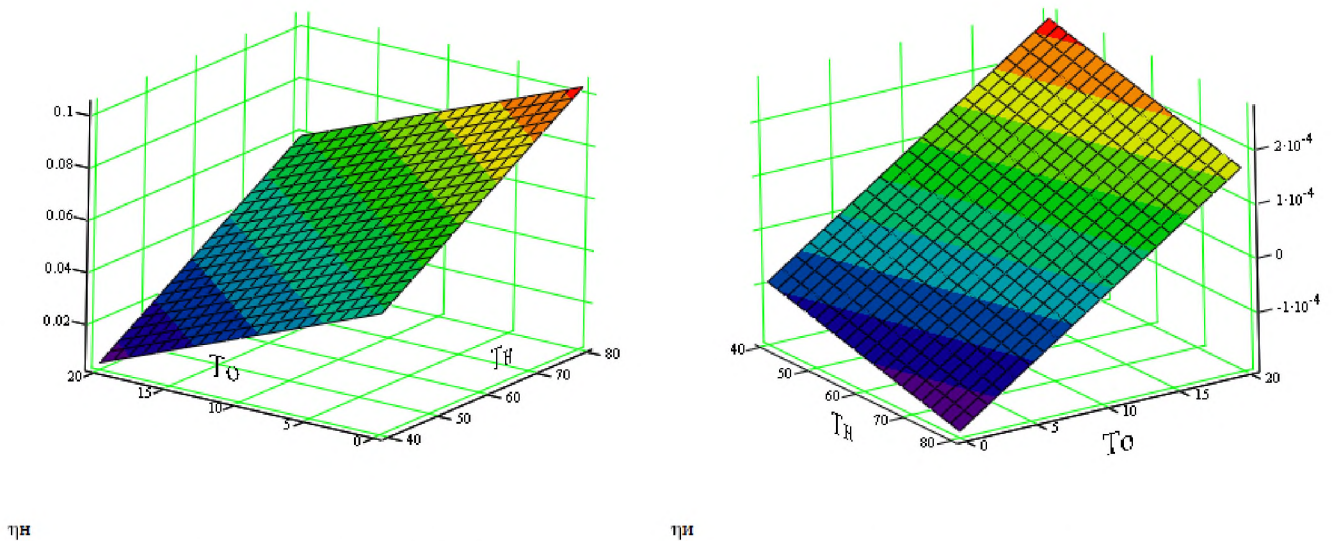


Рисунок 4.3 - КПД нагрева и испарения от температуры нагрева и охлаждения при влажности агента нагрева $\varphi_n=50\%$, влажности агента охлаждения $\varphi_o=50\%$, влажности зерновки $u=20\%$

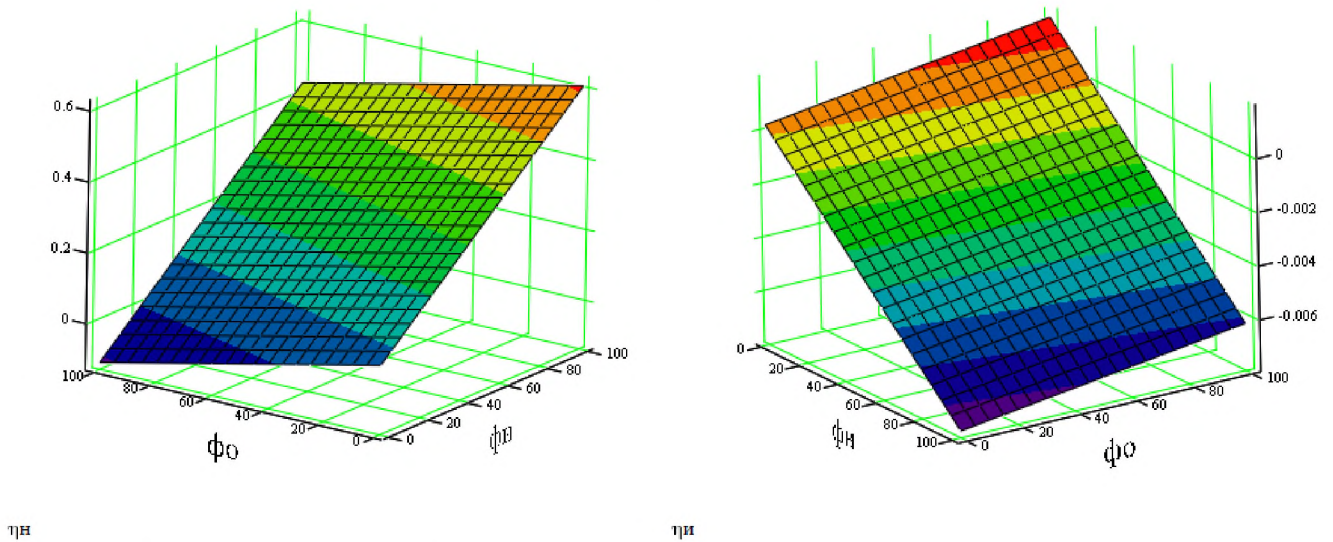


Рисунок 4.4 – КПД нагрева и испарения от влажности агента нагрева и агента охлаждения при температуре агента нагрева $T_n=60^{\circ}\text{C}$, температуре агента охлаждения $T_o=10^{\circ}\text{C}$, влажности зерновки $u=20\%$

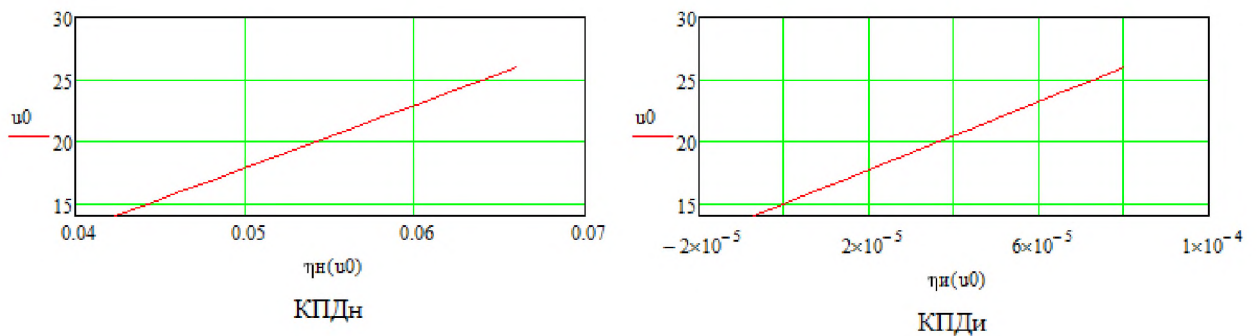


Рисунок 4.5 – КПД нагрева и испарения от начальной влажности зерновки при температуре агента нагрева $T_n=60^{\circ}\text{C}$, температуре агента охлаждения $T_o=10^{\circ}\text{C}$, влажности агента нагрева $\phi_n=50\%$, влажности агента охлаждения $\phi_o=50\%$

Из графических зависимостей (рисунок 4.3-4.5) видно:

- увеличение температуры агента нагрева характеризуется ростом КПД нагрева и снижением КПД испарения;
- снижение температуры агента охлаждения характеризуется ростом КПД нагрева и снижением КПД испарения;

-рост влажности агента нагрева приводит к росту КПД нагрева и к снижению КПД испарения;

-снижение влажности агента охлаждения приводит к росту КПД нагрева и к снижению КПД испарения;

-увеличение начальной влажности семян характеризуется увеличением КПД нагрева и испарения.

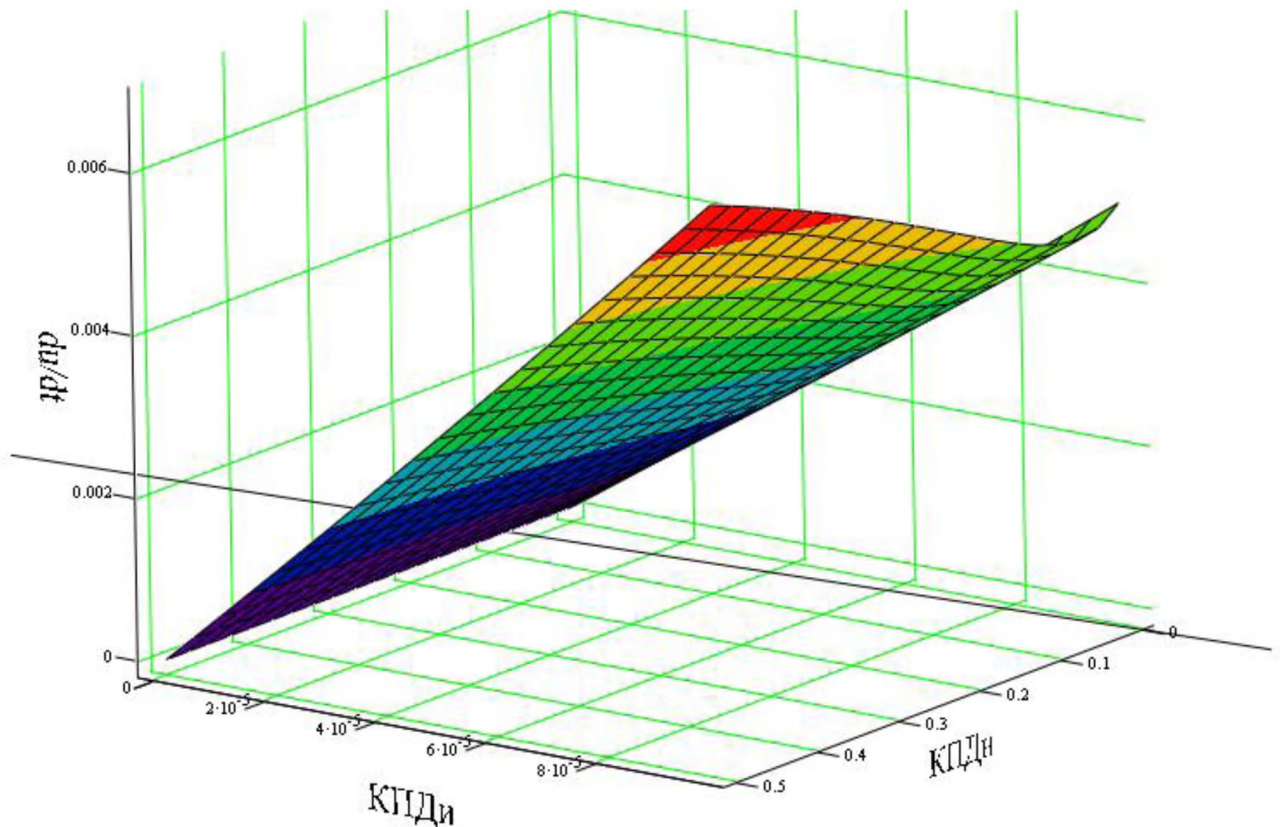


Рисунок 4.6 – Скорость сушки от КПД нагрева и КПД испарения

Анализ зависимости скорости сушки от КПД нагрева зерновки и испарения поверхностной влаги показывает, что в диапазоне $\eta_n=0 \dots 0,1$ рост КПД нагрева приводит к снижению скорости сушки, что подтверждает результаты теоретических исследований, представленных во второй главе. Кроме того, в выражениях регрессий (4.3) и (4.4) у температурных параметров противоположные знаки, что говорит о том, что при увеличении значения одного из коэффициентов полезного действия при изменении температурных параметров, другой будет уменьшаться.

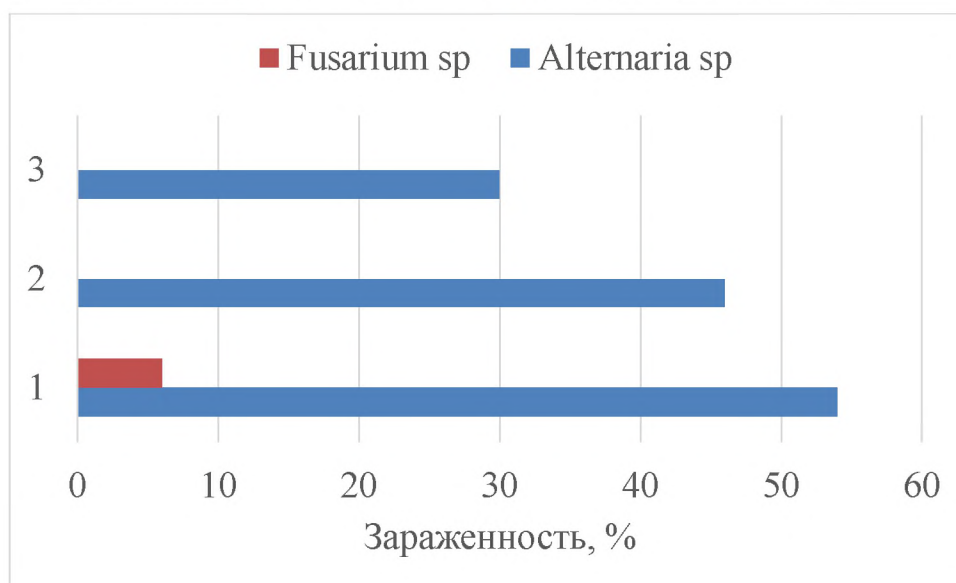
4.5 Результаты определения качественных показателей семян пшеницы до и после сушки с дифференцированным подводом тепла

4.5.1 Результаты определения зараженности семян

Фитоэкспертиза семян проводилась по методике Наумовой (ГОСТ 12044-91) в лабораторных условиях с использованием биологического метода, который основан на создании искусственных условий, стимулирующих рост и развитие микроорганизмов в зараженных семенах с целью получения спороношения и последующего определения возбудителя инфекции и степени поражения семян.

Общая зараженность зерна до сушки составила 60%. Из общей зараженности зерна преобладали грибы рода *Alternaria* sp. 54%, грибами рода *Fusarium* sp. было поражено 6 % зерна. Общая зараженность зерна после сушки по классической кинетике и с дифференцированным подводом тепла составила 46 и 30% соответственно. В пробах зерна после сушки были обнаружены только грибы рода *Alternaria* sp.

Исследования показали, что после сушки семян с дифференцированным подводом тепла зараженность снижается в 2-3 раза (рисунок 4.7).



1 – до сушки; 2 после классической сушки; 3 после дифференцированной сушки

Рисунок 4.7 - Результаты фитосанитарной экспертизы семян пшеницы, %

4.5.2 Результаты определения всхожести и энергии прорастания семян

В соответствии с методикой, изложенной в пункте 3.8.2, были определены всхожесть и энергия прорастания семян пшеницы после сушки с дифференцированным подводом тепла при следующих исходных данных до сушки:

- геометрические параметры зерновки 6,37x3,27x2,92 мм;
- масса тысячи зерен $M=38,52$ г;
- начальная влажность зерна $u_0=22,3$ %;
- начальная температура зерна $T_0=16,8$ °С;
- температура агента охлаждения $T_o=13,6$ °С;
- температура агента нагрева $T_n=37,2$ °С;
- время цикла $t_{ц}=60$ с.

В результате обработки данных были получены следующие параметры:

- энергия прорастания 62%;
- всхожесть 89% (приложение Л).

Что соответствует требованиям, предъявляемым к элитным семенам пшеницы.

4.6 Результаты определения энергетических затрат для оценки процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла

Испытания производительности зерносушилки проводились с применением теплонасосной установки с холодопроизводительностью 2 кВт (для получения агента охлаждения) и электрокалориферной установки теплопроизводительностью 2 кВт (для получения агента нагрева). Мощность активная теплонасосной установки составляла 1 кВт, электрокалорифера – 2,2 кВт, схемы управления – 0,1 кВт. Потери тепла через стенки установки и через технические отверстия перегородки камер нагрева и охлаждения не учитывались.

Таблица 4.2 – Анализ производительности зерносушилки

Наименование	Единица измерения	«Классическая» кинетика сушки	Дифференциальная кинетика сушки
Геометрия зерновки, а/б/л	мм/мм/мм	3,27/2,92/6,37	3,27/2,92/6,37
Начальная влажность зернового материала, u_0	%	20,5	20,5
Масса тысячи зерен перед сушкой, M_0	грамм	46,82	46,82
Начальная температура зернового материала, T_0	°С	18,5	18,5
Температура агента нагрева, T_H	°С	63,2	63,2
Влажность агента нагрева, φ_H	%	10,6	10,6
Время нагрева, t_H	с	3000	60
Температура агента охлаждения, T_0	°С	-	8,3
Влажность агента охлаждения, φ_0	%	-	32,4
Время охлаждения, t_0	с	0	60
Количество циклов нагрева/охлаждения, n	шт.	1/0	25/25
Время сушки, t	с	3000	3000
Конечная влажность зернового материала, u	%	15,7	13,9
Конечная температура зернового материала, T	°С	59,8	29,7
Масса тысячи зерен после сушки, M	грамм	39,92	37,21
Масса партии до сушки, M_p	кг	10	10

4.6.1 Результаты определения производительности лабораторной зерносушилки

Производительность лабораторной зерносушилки определялась по методике, представленной в разделе 3.9.1.

Годовая производительность лабораторной установки составила:

$$П=10 \cdot 12 \cdot 21/0,83=3040 \text{ кг/год.}$$

Что составило при «классической» кинетики сушки (начальная влажность $u_0=20,5$ %, конечная – $u=15,7$ %) $П=3040 \cdot 0,826=2510$ пл.кг/год, а при дифференцированной (начальная влажность $u_0=20,5$ %, конечная – $u=13,9$ %) – $П=3040 \cdot 1,06=3220$ пл.кг/год. [119]

4.6.2 Результаты определения энергозатрат на сушку 1 планового килограмма семян

Годовая стоимость электроэнергии определялась по методике, представленной в разделе 3.9.2:

$$P_{\text{Э}} = \text{Э}_{\Gamma} \cdot S_{\text{Э}}, \text{ руб/год} \quad (4.5)$$

где Э_{Γ} – годовой расход электроэнергии на работу зерносушилки, включая работу схемы управления, кВт·ч;

$S_{\text{Э}}$ – цена 1 кВт·ч, руб.

Годовой расход электроэнергии:

$$\text{Э}_{\Gamma} = (0,1 + 1 + 2,2) \cdot (1/6 + 12) \cdot 21 = 843 \text{ кВт·ч}$$

Годовая стоимость электроэнергии: [118]

$$P_{\text{Э}} = 843 \cdot 2,44 = 2057 \text{ руб/год.}$$

С учетом времени сушки одной партии семян с применение классической и дифференцированной кинетик были получены следующие себестоимости:

Себестоимость сушки 1 пл.кг семян при «классической» кинетики в лабораторной установке составила:

$$S_{\text{С}} = 16057/2510 = 6,4 \text{ руб./пл.кг}$$

При дифференцированной кинетике, себестоимость составила:

$$S_{\text{С}} = 16057/3220 = 5 \text{ руб./пл.кг}$$

Переход от классической кинетики к дифференцированной характеризуется снижением себестоимости сушки 1 пл.кг с 6,4 руб. до 5 руб, что на 1,4 руб ниже (21 %).

Выводы по главе

1. Ранжирование факторов показало, что существенное влияние на отклонение температуры зерновки и ее влажность в процессе сушки оказывают следующие факторы: температуры агентов нагрева и охлаждения, начальная влажность зерна, начальной температурой зерна можно пренебречь.

2. Сравнительные испытания по определению влажности зерна электровлагомером Wille 55 и устройством «Звуковой сканер» показали следующие результаты: погрешность измерений устройства «Звуковой сканер» меньше чем у Wile 55 в 4,5-21 раз.

3. Разработанная методика построения номограмм позволила оценить влияние входных и выходных факторов на параметры оптимизации (КПД нагрева при дифференцированной сушке от 0,02 до 0,05, КПД испарения – от $8,5 \cdot 10^{-5}$ до $27,5 \cdot 10^{-5}$).

4. Анализ влажностно-температурных параметров агентов и влажности семян показал, что существенное влияние на КПД нагрева и испарения оказывает влажность агента нагрева, вторым по значимости является температура и влажность агента охлаждения, незначительное влияние оказывает начальная влажность зерновки

5. По результатам определения качественных показателей сушки семян пшеницы были получены следующие результаты: после сушки семян с дифференцированным подводом тепла зараженность снижается в 2-3 раза; энергия прорастания составила 62 %, всхожесть – 89%, что соответствует требованиям, предъявляемым к элитным семенам пшеницы.

6. Результаты определения энергетических затрат процесса сушки семян пшеницы с дифференцированным подводом тепла показали снижение энергозатрат процесса на 21% и увеличение производительности на 28%.

5 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СУШКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛА

Расчет эффективности выполнен путем сопоставления затрат на модернизацию лабораторной зерносушилки и прибыли, за счет применения дифференцированной кинетики сушки взамен «классической» (нагрев на протяжении всего процесса). В качестве источника тепловой энергии для создания агента нагрева (сушки) использовался конденсатор теплонасосной установки, а в качестве потребителя тепловой энергии для создания агента охлаждения – испаритель теплонасосной установки.

Для расчета экономической эффективности результатов исследований произведен анализ производительности зерносушилки на базе теплонасосной установки, работающей по «классической» и дифференцированной кинетике.

5.1 Годовые эксплуатационные расходы и себестоимость сушки

Годовые эксплуатационные расходы зерносушилки $P_{Г}$ состояются из следующих элементов: [45]

- а) стоимость расходуемой в процессе эксплуатации электроэнергии $P_{Э}$;
- б) амортизационных отчислений $P_{А}$ от капитальных затрат на сооружение сушильной установки за определенное число лет работы в связи с их естественным и техническим износом;
- в) заработной платы персонала $P_{З}$;
- г) прочих расходов $P_{ПР}$ (в частности, затрат на материалы для текущего ремонта).

Таким образом, годовые эксплуатационные затраты равны:

$$P_{Г} = P_{Э} + P_{А} + P_{З} + P_{ПР} \quad (5.1)$$

$$P_{Г} = 2057 + 2500 + 10500 + 1000 = 16057 \text{ руб./год}$$

По величине суммарных годовых эксплуатационных расходов и по количеству высушенного в год материала определялась себестоимость сушки S_C единицы материала по формуле:

$$S_C = P_T / \Pi \quad (5.2)$$

где P_T – суммарные годовые затраты, руб./год;

Π – годовая производительность зерносушилки в единицах продукции, кг/год.

Себестоимость сушки 1 пл.кг семян при «классической» кинетики в лабораторной установке составила:

$$S_C = 16057 / 2510 = 6,4 \text{ руб./пл.кг}$$

При дифференцированной кинетике, себестоимость составила:

$$S_C = 16057 / 3220 = 5 \text{ руб./пл.кг}$$

5.1.1 Стоимость амортизационных отчислений и прочих расходов

Нормы амортизационных отчислений установлены соответствующими законоположениями для зданий, сооружений и оборудования. Эти нормы различны для отдельных отраслей промышленности. Для зерносушильного оборудования норма амортизации определялась по выражению:

$$P_A = K / N, \quad (5.5)$$

где K – капиталовложения, руб.

N – предполагаемый срок эксплуатации оборудования, лет.

$$P_A = 25\,000 / 10 = 2\,500 \text{ руб/год.}$$

Годовая стоимость расходуемых обтирочных материалов и хладагента для дозаправки теплонасосной установки зерносушилки составляла $P_{\text{ПР}} = 1000$ руб.

5.1.2 Заработная плата персонала

Часть эксплуатационных расходов сушильного цеха, зависящую от его годовой производительности или от количества высушенного материала, называют переменными затратами - расходами. Другую часть эксплуатационных расходов,

не зависящую от производительности сушильного цеха, называют постоянными затратами - расходами.

Основная зарплата штатного персонала сушильного цеха должна быть отнесена к постоянным расходам, часть расходов на оплату персонала (премиальная, прогрессивная и др.); связанная с выпуском продукции, относится к переменным затратам.

Обслуживающий персонал сушильного цеха состоит из 1-го мастера.

Годовая заработная плата мастера сушильного цеха, обеспеченная вахтовым графиком работы (сезонность) составляет в среднем по России 10500 руб/год.

Таким образом, годовая заработная плата обслуживающего персонала сушильного цеха составила $P_3=10500$ руб/год.

5.2 Срок окупаемости

При сравнении различных вариантов сушильных установок и режимов их работы необходимо учитывать срок окупаемости. Срок окупаемости определялся по выражению: [45]

$$\tau=K/(П \cdot \Delta S_C+P_A), \quad (5.7)$$

где K – капиталовложения, руб.

$П$ – годовая производительность установки, кг/год.

ΔS_C – экономия (снижение себестоимости) от сушки 1 пл.кг;

P_A – амортизационные отчисления, руб./год.

$$\tau=25000/(3040 \cdot (6,4-5)+2500)=3,7 \text{ года}$$

Срок окупаемости перехода от «классической» кинетики сушки семян пшеницы к дифференцированной в лабораторной зерносушилке характеризуется снижением себестоимости сушки 1 пл.кг с 6,4 руб. до 5 руб, что на 1,4 руб ниже (21 %), и, при капиталовложениях в 25000 руб, срок окупаемости с учетом заработной платы, амортизационных отчислений и прочих расходов составит 4 года.

Выводы по главе

1. Использование технических устройств сушки зернового материала с применением дифференцированной кинетики сушки на базе теплонасосной установки в хозяйстве позволит снизить себестоимость сушки семян пшеницы на 21% (6,4 руб./пл.кг при «классической» кинетике сушки и 5 руб./пл.кг при дифференцированной);

2. Эффективность применения дифференцированной кинетики сушки семян пшеницы заключается в обеспечении чередования процессов нагрева и охлаждения с целью увеличения скорости удаления влаги, что позволит увеличить производительность на 28 % (с 2510 пл.кг/год до 3220 пл.кг/год на лабораторной зерносушилке);

3. При средней стоимости электроэнергии по России 2,44 руб./кВт·ч и размере капитальных затрат на создание лабораторной установки 25 тыс.руб. (с учетом сезонности работ) срок окупаемости составляет 4 года.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АПК – агропромышленный комплекс;
ВТО – всемирная торговая организация;
КПД – коэффициент полезного действия;
ТНУ – теплонасосная установка;
ТЭН – трубчатый электронагреватель;
СТС - сушильной технологической системы;
ЖК – жидкокристаллический.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, интенсификация процесса конвективной сушки семян пшеницы в мягких режимах, с использованием дифференциации подвода тепловой энергии теплонасосной установкой и повышение качества конечного продукта. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований были сформулированы следующие заключения:

1. Впервые разработаны расчетные схемы, алгоритм расчета процессов нагрева и охлаждения, а также получены аналитические зависимости, которые позволяют установить мягкие режимы дифференцированной сушки семян пшеницы тепловым насосом. Анализ теоретических исследований показал, что интенсификация процесса дифференцированной сушки зерна достигается за счет снижения времени охлаждения/нагрева до $60\text{с}\pm 15\%$, снижения КПД нагрева с 0,05 до 0,02 и увеличения КПД испарения с $8,5\cdot 10^{-5}$ до $27,5\cdot 10^{-5}$.

2. Разработана и предложена методика с применением графо-аналитического способа, которая позволила определить значения коэффициентов полезного действия по номограммам в программной среде MathCAD (КПД нагрева зерновки от 0,02 до 0,05, КПД испарения поверхностной влаги от $8,5\cdot 10^{-5}$ до $27,5\cdot 10^{-5}$).

3. Разработан и испытан комплекс для определения исходных параметров зерна и КПД нагрева и испарения, состоящий из лабораторной зерносушилки (№ RU 152 192 U1) на базе теплонасосной установки и звукового сканера (RU 151 089 U1) с программным обеспечением (RU 2014614300). Обоснованы режимы работы комплекса (температура агента охлаждения от +5 до +15°C, температура агента нагрева от +30 до +75°C, время цикла охлаждения/нагрева $60\text{с}\pm 15\%$, при влажности семенного материала от 13 до 27%). Установлено, что среднеквадратичное отклонение влажности у

«Звукового сканера» 0,002, а у влагомера Wile 55 от 0,009 до 0,042, следовательно, погрешность измерений устройства «Звуковой сканер» меньше чем у Wile 55 в 4,5-21 раз.

4. Установлено, что предложенная кинетика сушки оказывает положительное влияние на качественные показатели семян пшеницы (после сушки семян с дифференцированным подводом тепла зараженность снижается в 2-3 раза; энергия прорастания составила 62%, всхожесть – 89%, что соответствует требованиям, предъявляемым к элитным семенам пшеницы).

5. Разработана кинетика с дифференцированным подводом теплоты для мягких режимов сушки семян пшеницы, обеспечивающая снижение энергозатрат на 1 кг испаренной влаги до 21%, и соответствие семенного материала требованиям нормативной документации (зараженность, энергия прорастания, всхожесть).

Рекомендации производству

Для послеуборочной обработки семян злаковых культур, в частности сушки, необходимо использовать зерносушилку на базе теплонасосной установки (патент на полезную модель № RU 152 192 U1) и звукового сканера (патент на полезную модель № RU 151 089 U1), которая обеспечивает кинетику сушки с дифференцированным подводом тепловой энергии. Кроме того, предложенную конструкцию целесообразно использовать для сушки семян многолетних трав, т.к. в условиях естественной конвекции исключаются потери и порча конечной продукции.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейших научных исследованиях по теме работы необходимо уделить внимание на:

- влияние искусственных потоков агентов сушки и агентов охлаждения;
- создание автоматической схемы управления, определяющей культуру и исходные параметры материала, поступающего на сушку;

- разработку теплонасосной установки с возможностью независимого регулирования температурных параметров агентов нагрева и охлаждения с целью повышения эффективности работы системы;
- разработку конструкции промышленного образца сушилки семян на базе теплонасосной установки с дифференцированным подводом тепловой энергии;
- расширение области использования разработанной кинетики сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. пособие для студентов эконом. спец. Вузов [текст]/И.Л. Акулич. – М.: Высш. шк., 1986. – 105с.
2. Арутюнов, Г.О. Совершенствование технологии сушки зерна на основе разработки конструктивно-технологических параметров зоны охлаждения зерносушилки бункерного типа непрерывного действия [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.18.01/ Арутюнов Генрих Отарович. – М., 2003. – 161 с.
3. Афанасьев А.М. Математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при сушке электромагнитным излучением [текст]: дис. ... д-ра.техн.наук: 05.13.18/ Афанасьев Анатолий Михайлович – Волгоград, 2010. – 300с.
4. Баум, А.Е. Сушка зерна [текст]/А.Е. Баум, А.А. Резчиков. – М.: Колос, 1983. – 223с.
5. Бекасов, А.Г. Руководство по сушке зерна [текст]/А.Г. Бекасов, Н.И. Денисов. – М.: Заготиздат, 1952. – 325 с.
6. Бритиков Д.А. Разработка ресурсосберегающих процессов сушки зерна злаковых и семян масличных культур с использованием теплонасосных технологий [текст]: дис. ... д-ра.техн.наук:05.18.12/ Бритиков Дмитрий Александрович – Воронеж, 2013 – 302с.
7. Будников Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.20.02/ Будников Дмитрий Александрович – Зеленоград: ФГОУ ВПО «АЧГАА», 2008. – 164 с.
8. Вобликов, Е.М. Послеуборочная обработка и хранение [текст]/Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов. – Ростов на Дону: МарТ, 2001. – 229с.

9. Вобликов, Е.М. Послеуборочная обработка и хранение зерна [текст]/Е.М. Вобликов. – М.: Лань, 2001. – 240с.
10. Вобликов, Е.М. Технология хранения зерна [текст]/Е.М. Вобликов. – М.: Лань, 2003. – 448с.
11. Вобликов, Е.М. Технология элеваторной промышленности [текст]/Е.М. Вобликов. – М.: Лань, 2010. – 376с.
12. Воронова, Е. В. Применение теплонасосных установок в системах кондиционирования воздуха шахтных зерносушилок [Текст] / Е. В. Воронова. // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 10. – С.3-7. – ISSN 0869-4931
13. Гороховский А.Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.21.05/ Гороховский Александр Григорьевич – СПб., 2008. – 274с.
14. Горшков-Кантакузен, В.А. Эффект GKZh при больших значениях Ra в вычислении числа Нуссельта при конвекции Рэлея-Бенара [текст]/ В.А. Горшков-Кантакузен, С.Е. Жуперин. // XXII Международный симпозиум «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова: Материалы. – 2015. – 15-19 февраль (т. 1). – С.85-86. – ISSN 978-5-9907705-8-4
15. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян [текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 4с.
16. ГОСТ 12044-93. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями [текст]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. – 58с.
17. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности [текст]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. – 8с.

18. ГОСТ 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества [текст]. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 24с.
19. Данилов, Д. Ю. Средства механизации тепловой обработки зерна [текст]/Д. Ю. Данилов. // Вестник НГИЭИ. – 2012. – №4. – С.32-40.
20. Диденко А.А. Моделирование и анализ энергопотребления различных способов сублимационной сушки [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.17.08/ Диденко Александр Алексеевич – М.:2011. – 181с.
21. Евдокимов А.В. Повышение энергетической эффективности процесса сушки зерна пшеницы осушенным воздухом в шахтных зерносушилках с тепловым насосом [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12/ Евдокимов Алексей Викторович – Воронеж, 2004 – 164с.
22. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки [текст]/В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
23. Замалеев, З.Х. Основы гидравлики и теплотехники: Учебное пособие [текст]/З.Х. Замалеев, В.Н. Посохин, В.М. Чефанов. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 352 с. ISBN978-5-8114-1531-1
24. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка семян в нечернозёмной зоне [текст]/И.В. Захарченко. – М.: Москва, 1983. – 140с.
25. Иванов В.В. Разработка и научное обеспечение способа сушки солода в двухступенчатой теплонасосной сушильной установке [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.18.12/Иванов Владимир Владимирович – Воронеж, 2007 – 163с.
26. Инструкция № 9-7-88 по хранению зерна, маслосемян, муки и крупы [текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 26с.
27. Инструкция по сушке продовольственного, кормового зерна маслосемян и эксплуатации зерносушилок №9-3-82. [текст] – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1982. – 61с.
28. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна [текст]/Б.А. Карпов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288с.

29. Каталог техники и оборудования [текст]/ Рос. акад. с.-х. наук, Омский эксперим. з-д. - Омск : [б. и.], 2011. - 45 с.
30. Кизуров А.С. «Высокодифференцированная» сушка зерна [текст] / А.С. Кизуров, И.П. Лапшин. // Тюмень: Перспективы развития АПК в работах молодых учёных. Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых учёных. Министерство сельского хозяйства РФ ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». – 2014. – С.213-215.
31. Кизуров, А.С. Выбор и обоснование конструкции сушилки зерна и семян [текст] / А.С. Кизуров, И.В. Якушев, С.Н. Кокошин, И.А. Шестопалов, И.П. Лапшин. // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2016. – №1(32). – С.129-134.
32. Кизуров, А.С. Высокодифференцированная сушка семян [текст]/ А.С. Кизуров, С.В. Костелова, И.В. Якушев, И.П. Лапшин.// Агропродовольственная политика России. – 2013. – №7(19). – С.59-61.
33. Кизуров, А.С. Дифференцированная сушка семян [текст]/ А.С. Кизуров. // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2014. – С.158-161.
34. Кизуров, А.С. Коэффициент теплоотдачи от агента сушки зерновке при естественной конвекции [текст]/ А.С. Кизуров, С.Н. Кокошин, И.П. Лапшин. // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №12-5. – С.790-795.
35. Кизуров, А.С. Применение тепловых насосов при сушке семян зерновых культур [текст]/ А.С. Кизуров, И.В. Якушев, С.В. Костелова, И.П. Лапшин.// Вестник Курганской ГСХА. – 2013. – №4(8). – С.39-41.
36. Кизуров, А.С. Разработка схемы управления двухконтурного теплового насоса для сушки зернового материала [текст]/ А.С. Кизуров, И.В. Якушев, И.П. Лапшин, С.В. Костелова // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2013. – 18 апреля. – С.246-250.
37. Кокурина Г.Н. Расчет тепломассопереноса в процессе сушки волокнистых материалов на основе аналитических методов в теории

теплопроводности [текст]: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.17.18/ Кокурина Галина Николаевна – Иваново, 2010. – 176с.

38. Коломникова О.П. Совершенствование технологии комбикормов на основе энергосберегающих принципов формирования тепловых объектов [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01, 05.18.12/ Коломникова Олеся Петровна – Воронеж, 2006. – 188с.

39. Комышник, Л.Д. Сушка и хранение семян подсолнечника [текст]/Л.Д. Комышник, А.П. Журавлёв, Ф.М. Хасанова. – М.: Агропромиздат, 1988. – 95с.

40. Коротаев, Д.Н. Измерение линейных размеров деталей штангенинструментами. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» [текст]/ Д.Н. Коротаев. – Омск.: СибАДИ, 2003. – 12с.

41. Кравченко, В.М. Технология производства модифицированных кормов с иммуностропным и пребиотическим действием [текст]/В.М. Кравченко, И.В. Черемушкина, А.Н. Мартеха, Ю.С. Новикова. // Вестник ВГУИТ. – 2012. – №2. – С.113-115

42. Лапшин, И.П. Выявления зараженности семян пшеницы для определения параметров сушки [текст] / И.П. Лапшин, Н.В. Снегирева, А.С. Кизуров. // Тюмень: Молодой ученый. – 2015. – №6-5(86). – С.7-10.

43. Лапшин, И.П. Математический анализ процесса дифференцированной сушки при конвективном подводе тепловой энергии [текст] / И.П. Лапшин, А.С. Кизуров, И.В. Якушев. // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2015. – №1(28). – С.76-81.

44. Лапшин, И.П. Применение технического устройства «звуковой сканер» в процессе послеуборочной обработки зерна [текст]/ И.П. Лапшин, А.С. Кизуров, С.В. Костелова. // Агропродовольственная политика России. – 2015. – №5(17). – С.74-77.

45. Лебедев, П.Д. Расчёт и проектирование сушильных установок [текст]/ П.Д. Лебедев. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 320с.

46. Липова, С.В. Звуковой сканер, программа записи и обработки звуковых колебаний зерна, поступающего на послеуборочную обработку [текст] / С.В. Липова, И.П. Лапшин, А.С. Кизуров. // Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях материалы IV-ой Международной научно-практической конференции молодых учёных. – 2015. – С.3-6.
47. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах [текст]/ А.В. Лыков. – М.: государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954г. – 298 с.
48. Манасян С.К. Имитационное моделирование процессов сушки зерна в зерносушилках сельскохозяйственного назначения [текст]: дис. ... д-ра.техн.наук 05.20.01/ Манасян Сергей Керопович – Красноярск, 2009. – 403с.
49. Машины для селекционной работы в полеводстве [текст]/В.И. Анискин, Ю.А. Космовский, Ю.Ф. Некипелов и др. ; Рос. акад. с.-х. наук. Всерос. науч.-исслед. ин-т механизации сел. хоз-ва. - Москва : [б. и.], 2001. - 202 с. - ISBN 5-94600-001-2
50. Машины и лабораторное оборудование для селекционных работ в растениеводстве: справочное пособие [текст]/ [В. П. Ситник, Я. С. Гуков, А. Л. Красниченко и др.] ; под общ. ред. В. М. Дринчи ; Укр. акад. аграр. наук, Ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва, Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. селекц.-технол. ин-т садоводства и питомниководства, "Зерноочистка" ОАО ГСКБ, "Селга" НПО. - Воронеж : МОДЭК, 2010. - 431 с. - ISBN 978-5-89395-877-5
51. Миронов Н.А. Математическое моделирование процесса сушки движущегося слоя зерна в режиме инвертирования [текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.18.12/ Миронов Николай Александрович – Краснодар, 2010. – 164с.
52. Николаев, Г.И. Лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты": Учебное пособие [текст]/Г.И. Николаев. - Улан-Удэ, ИПЦ ВСГТУ, 2001 – 61с. ISSN 5-89230-066-8

53. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов [текст]/ Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304с.
54. Обработка экспериментальных данных в MS Excel : методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов дневной формы обучения [текст]/ сост. Е. Г. Агапова, Е. А. Битехтина. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 32 с.
55. ОСТ 70.10.1-74. Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения. Программа и методы испытаний [текст]. – Москва: ЦНИИТЭИ В/О «Союзсельхозтехника», 1977. – 171 с.
56. Пат. 151089 Российская Федерация, МПК В02В 7/00 Звуковой сканер для определения параметров зерновых культур [текст]/Бабаев И.Х., Кизуров А.С. Костелова С.В., Лапшин И.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья».- №2014137943/13; заявл. 18.09.2014; опубл.20.03.2015, Бюл. №8. – 4с.: ил.
57. Пат. 152192 Российская Федерация, МПК F26В 9/06. Лабораторная зерносушилка [текст]/Кизуров А.С., Лапшин И.П., Якушев И.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья». - №2014139456/06; заявл. 29.09.2014; опубл.10.05.2015, Бюл. №13. – 3с.: ил.
58. Пат. 2014614300 Российская Федерация, Grain Sound Scan [программа для ЭВМ]/ Бабаев И.Х., Кизуров А.С., Костелова С.В., Лапшин И.П., Пиджаков С.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья».- №2014612022; заявл. 12.03.2014; опубл.22.04.2014 – (422 Кб)
59. Прохорова Т.М. Анатомо-морфологическая характеристика зерновок мягкой яровой пшеницы сортов саратовской селекции [текст]: дис. ... канд.биол.наук: 03.02.01/ Прохорова Татьяна Михайловна – Саратов, 2011. – 170с.
60. Резчиков, В.А. Технология зерносушения: Учебник [текст]/В.А. Резчиков, О.Н. Налеев, С.В. Савченко. – Алматы, 2000. – 400с.

61. Руководство по сушке семенного зерна в зерносушилках [текст]/В.Л. Критович, А.П. Гержой, С.Д. Птицын, А.А. Бундель. – М.: Заготиздат, 1954. – 215 с.
62. Самочетов, В.Ф. Техническая база хлебоприемных предприятий [текст]/В.Ф. Самоцветов, Г.А. Джорогян, Е.И. Никулин. – М.:Москва, 1978. – 512с.
63. Самочетов, В.Ф. Техническая база хлебоприемных предприятий: Зерносушение [текст]/ В.Ф. Самочетов, Г.А. Джорогян, Е.И. Никулин. – М.: Колос, 1978. – 272с.
64. Сельскохозяйственная техника: каталог [текст]/ М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, [Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса ; редкол.: В. Ф. Федоренко (гл. ред.) и др.]. - Москва: Росинформагротех, 2005 - Т. 3: Техника для растениеводства / [сост.: Л. С. Орстик и др.]. - 2007. - 235 с. - ISBN 978-5-7367-0651-8
65. Сотников, М.В. Установка для сушки зерна в тонком слое [текст]/ М.В. Сотников. //Материалы Международной научно-практической конференции «Молодёжь и наука в 21 веке». – Ульяновск: Ульяновская ГСХА – 2006. – Часть 1. – С.214-217.
66. Тертычная Т.Н. Использование зерна современных сортов озимой тритикале, возделываемых в ЦЧР [текст]: автореф. дис. ... д-ра. с/х.наук: 05.18.01/ Тертычная Татьяна Николаевна – Воронеж, 2009 – 42с.
67. ТР ТС 015/2011. О безопасности зерна. Технический регламент таможенного союза [текст]. – ЕЭК, 2011. – 38с.
68. Трисвятский, Л.А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов [текст]/Л.А. Трисвятский, Б.В. Лесик, В.Н. Кудрина. – М.: Агропромиздат, 1991. – 415с.
69. Тюрин, И.Ю. Основы современной сушки семян и зерна [текст]/ И.Ю. Тюрин, В.С. Лишавский, Ю.В. Комаров. // Вавиловские чтения. Материалы

международной научно-практической конференции, (часть 2) ИЦ «Наука» - Саратов. – 2009. – С.368-369.

70. Филин, В.М. Оценка качества зерна крупяных культур на малых предприятиях [текст]/В.М. Филин, Т.В. Устименко, В.В. Бражников. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 168с.

71. Хосни, Р.К. Зерно и зернопродукты [текст]/Р.К. Хосни. ;пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2006. – 330с.

72. Шадриков, П.Ю. Классификация зерносушилок [текст]/ П.Ю. Шадриков, М.В. Сотников, В.Н. Игонин, Н.Н. Аксенова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-3. – С.389-391.

73. Шевцов А.А. Развитие научных основ энергосбережения в процессах сушки пищевого растительного сырья [текст]: дис. ... д-ра.техн.наук: 05.18.12/ Шевцов Александр Анатольевич – Воронеж, 1999 – 496с.

74. Юрицин, С.А. Математическая модель переходных процессов в компрессоре теплонасосной установки [текст] /С.А. Юрицин, А.С. Кизуров, И.П. Лапшин // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2016. – №3(34). – С.115-122.

75. Юрицин, С.А. Разработка бездрессельной теплонасосной установки [текст] /С.А. Юрицин, А.С. Кизуров, И.П. Лапшин // Тюмень: Молодой ученый. – 2016. – №6-5(110). – С.13-16.

76. Юрицин, С.А. Регулирование параметров теплонасосной установки [текст] /С.А. Юрицин, А.С. Кизуров. // Тюмень: Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2014. – №6-5(86). – С.82-85.

77. Юрицин, С.А. Регулирование параметров теплонасосной установки [текст] /С.А. Юрицин, А.С. Кизуров. // Тюмень: Молодой ученый. – 2015. – №6-5(86). – С.17-21.

78. Cabell C. A., R. E. Davis, R. A. Saul. 1958. Relation of drying air temperature, time, and air flow rate to the nutritive value of field-shelled corn. A technical progress report. ARS 44—41. Agr. Res. Service, U. S. Dep. Agr.

79. Colemand. A., H. C. Fellows. 1925. Hygroscopic moisture of cereal grains and flaxseed exposed to atmospheres of different relative humidities. *Cereal Chem.*, 2, 275—287.
80. Coleman D. A., B. E. Rothgeb, H. C. Fellows. 1928. Respiration of sorghum grains. *U. S. Dep. Agr. Tech. Bull.* 100.
81. Foster G. H. 1964. Dryeration — A corn drying process, progress report. *Agr. Marketing Serv., U. S. Dep. Agr., AMS* 532.
82. Holman L. E. 1948. Basic drying rates of different grains. *Pres. at A. S. A. E. Annual Meeting.*
83. Hukill W. V. 1947 Basic principles in drying corn and grain sorghum. *Agr. Eng. (St. Joseph, Mich.)*, 28, 335—338.
84. Hukill W. V., C. K. Shedd. 1955. Non-linear air flow in grain drying. *Agr. Eng. (St. Joseph, Mich.)* 36. 462—466.
85. Ives N. C., W. V. Hukill, R. A. Saul. 1959. Grain ventilation and drying patterns. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 2, 95—101.
86. Kelly C. F. 1940. Methods of ventilating wheat in farm storages. *U. S. Dep. Agr. Circ.* 544.
87. McKenzie B. A., G. H. Foster, R. I. Noyes, R. A. Thompson, 1966. Dryeration — Better corn quality with highspeed drying. *Coop. Ext. Serv. Purdue Univ.*
88. Newman A. B. 1931. The drying of porous solids. *Trans. Amer. Inst. Chem. Eng.*, 27, 203—220, 310—333.
89. Page G. 1948. Basic drying rates of different grains *Pres. at A. S. A. E. Annual Meeting.*
90. Ramstad P. E., W. F. Geddes. 1942. The respiration and storage behavior of soybeans. *Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 156.
91. Saul R. A., J. L. Steele. 1966. Why damaged corn costs more to dry. *Agr. Eng. (St. Joseph, Mich.)*, 47, 326—329, 337.
92. Schmidt J. L. 1948. How to reduce ear corn to bushels of shelled corn. *Agr. Eng. (St. Joseph, Mich.)*, 29, 294—296.

93. Schmidt J. L., P. J. Waite. 1962. Summaries of wet-bulb temperature and wetbulb depression for grain drier design. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 5, 186—189.
94. Schrenk W. G., A. C. Andrews, H. H. King. 1947. Calorimetric measurements of heats of hydration of starches. *Ind. Eng. Chem.*, 39, 113—116.
95. Shedd C. K- 1953. Resistance of grains and seeds to airflow. *Agr. Eng. (St. Joseph, Mich.)*, 34, 616—619.
96. Sherwood T. K- 1936. Air drying of solids. *Trans. Amer. Inst. Chem. Eng.*, 32, 150—168.
97. Siebel J. E. 1911. *Compend of mechanical refrigeration and engineering* (8th ed.). Nickerson and Collins Co., Chicago, 111.
98. Thompson R. A., G. H. Foster. 1963. Stress cracks and breakage in artificially dried corn. *Marketing Res. Rep. 631*. U. S. Dep. Agr. Agr. Marketing Serv.
99. Winkler C. A., W. E. Geddes. 1931. Heat of hydration of wheat flour and certain starches including wheat, rice, and potato. *Cereal Chem.*, 8, 455—475
100. Агропромышленный комплекс – отрасли сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pb8.ru/4x0>, свободный.
101. Бензпирен [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бензпирен>, свободный.
102. Снижение энергозатрат при конвективной сушке зерна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pb8.ru/4wx>, свободный
103. Зерновые культуры – Википедия [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Зерновые_культуры, свободный.
104. Биология зерна [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.russianfood.ru/item84/>, свободный.
105. Строение зерна. Химический состав зерна [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Documents/Str_corn.htm, свободный.
106. Классификация зерносушилок [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://suplicio.ru/zernosushenie/165-52-classification-of-dryers.html>, свободный.

107. Раздел 15. Растительное сырье [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://chemanalytica.com/book/novyyu_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_II/5178, свободный.
108. Пшеница – строение зерна пшеницы, свойства, состав, применение [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://bread2010.narod.ru/pshenica.html>, свободный.
109. Конвекция [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Конвекция>, свободный.
110. Коэффициент объемного расширения газов [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://dink.ru/tables/008c6d67f5679c08c6e6fe317a13f800.pdf>, свободный.
111. Физические свойства воздуха [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.highexpert.ru/content/gases/air.html>, свободный.
112. Руководство пользователя Mathcad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.exponenta.ru/soft/Mathcad/UsersGuide/0.asp>, свободный.
113. Целая часть – Википедия [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Целая_часть, свободный.
114. Инженерный справочник [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.dpva.info>, свободный.
115. Руководство пользователя ВК-1500 [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.massa.ru/images/User_Manual_VK.pdf, свободный.
116. Инструкция для тепловизоров FLIR iX серии (i7, i5, i3) [Электронный ресурс]. – режим доступа: xtray.ru/321, свободный.
117. Паспорт ИВА-6А, Н_2010.doc [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://podruchny.ru/files/instrIVA6A%20N2001.pdf>, свободный
118. Новые тарифы на электроэнергию на 2016 год для населения с января и июля [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.energoconsultant.ru/sprav/tarifi_na_elektroenergiyu_v_2016, свободный.

119. Сушка зерна [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://fermer.zol.ru/a/15638/?module=a¶m1=15638>, свободный.
120. Агропромышленный комплекс (АПК) - презентация онлайн [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://ppt-online.org/112116>, свободный.
121. Развитие агропромышленного комплекса как основа определения конкурентоспособной специализации экономики Казахстана [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://articlekz.com/article/15427>, свободный.
122. Агропромышленный комплекс - отрасли сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/agropromyshlennyy-kompleks.html>, свободный.
123. Чем опасен бензапирен? [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.bolshoyvopros.ru/questions/56620-chem-opasen-benzapiren.html>, свободный.
124. Сайт Евразийской экономической комиссии [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Pages/FAQ.aspx>, свободный.
125. Зерноперерабатывающие предприятия, отрасли, комплексы РФ [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://agrogold.ru/zernopererabatyvayuschie_predpriyat, свободный.
126. Способ в.ф.трещенко сушки зернового продукта и его устройство для осуществления этого способа [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/211/2117224.html>, свободный.
127. Строение зерна. | ТК-21 [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://kostya197.wordpress.com/2015/02/05/строение-зерна>, свободный.
128. Строение зерна, химический состав зерна [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Documents/Str_corn.htm, свободный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А Критерии подобия

Согласно положений теории подобия конвективный теплообмен без изменения агрегатного состояния вещества в стационарных условиях может быть описан критериальным уравнением вида:

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{f(Re, Pr, Gr, \Gamma, \dots)}, \quad (1)$$

Для расчета числа критерия Нуссельта при вынужденном движении потока можно рекомендовать следующие уравнения:

а) для ламинарного режима движения теплоносителя, $\mathbf{Re} \leq 2320$:

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{0,15 Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \epsilon_l}, \quad (2)$$

б) для переходного режима движения теплоносителя, $\mathbf{2320} \leq \mathbf{Re} < \mathbf{10000}$:

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{C \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \epsilon_l}. \quad (3)$$

Значение коэффициента С определяется из таблицы 1 в зависимости от величины критерия Рейнольдса.

Для приближенных расчетов можно пользоваться уравнением:

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43}}. \quad (4)$$

Таблица 1 - Значение коэффициента С

Re·10 ⁻³	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	3	4	5	6	8	10
С	1,9	2,2	3,3	3,8	4,4	6,0	10,3	15,5	19,5	27,0	33,0

в) для турбулентного режима движения теплоносителя, $\mathbf{Re} \geq 10000$:

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \epsilon_l}. \quad (5)$$

Величина коэффициента ϵ_l , входящая в уравнения (2), (3), (5), определяется из таблиц (2) и (3).

Таблица 2 - Значение коэффициента ϵ_l при Re<10000

$l/d_{\text{экр}}$	1	2	5	10	15	20	30	40	50
ϵ_l	1,9	1,7	1,44	1,26	1,18	1,13	1,05	1,02	1

l - длина трубы, м.

Продолжение приложения А

Таблица 3 - Значение коэффициента ϵ_l при $Re > 10000$

Re	Отношение $l/d_{\text{ЭКВ}}$				
	10	20	30	40	50
$1 \cdot 10^4$	1,23	1,13	1,07	1,03	1,0
$2 \cdot 10^4$	1,18	1,10	1,05	1,02	1,0
$5 \cdot 10^4$	1,13	1,08	1,04	1,02	1,0
$1 \cdot 10^5$	1,10	1,06	1,03	1,02	1,0
$1 \cdot 10^6$	1,05	1,03	1,02	1,01	1,0

г) При свободном движении теплоносителя (естественная конвекция):

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25} \quad (6)$$

Значение коэффициента C и показатель степени n зависит от режима и определяется из таблицы 4.

Таблица 4 - Значение коэффициента C и показателя степени n

Режим	$Gr \cdot Pr$	C	n
Ламинарный	$1 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^2$	1,18	0,125
Переходный	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	0,25
Турбулентный	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{12}$	0,185	0,33

Источник:

[<https://www.isuct.ru/dept/chemkiber/piaht/metodwork/newmet/1.htm>]

Приложение Б

Алгоритм расчета сушки с дифференцированным подводом тепла
в среде MathCAD методом математического перебора

```

f(i, ηн, ηи) :=
  a ← 3.27·10-3
  b ← 2.92·10-3
  10 ← 6.37·10-3
  z ← 0.49635·1.57·10-3 ·  $\left(\frac{210 \cdot a}{10 + a}\right)^{-0.625}$  · 4·π ·  $\frac{(5 \cdot a + 6 \cdot b)}{60}$  ·  $\left[1 - \frac{(5 \cdot a + 6 \cdot b)}{20}\right]$ 
  M ← 41.32
  Тн ← 40
  То ← 5
  Т0 ← 20
  u0 ← 20
  ηи1 ← ηи
  ηи1 ← ηи·10-5
  Δt ← 0.1
  for t ∈ 0, (0 + Δt) .. i
    чет ← mod(floor( $\frac{t}{60}$ ), 2)
    P ← z · (|Тн - Т0|)0.125 ·  $\frac{(0.0148 \cdot Тн + 11.234) \cdot (Тн - Т0)}{0.9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot Т0}$  if чет = 0
    P ← z · (|То - Т0|)0.125 ·  $\frac{(0.0148 \cdot То + 11.234) \cdot (То - Т0)}{0.9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot Т0}$  if чет = 1
    Δm ←  $\frac{|P| \cdot \eta_{и1} \cdot \Delta t}{2502 - 2.4385 \cdot T0}$ 
    u ← 100 ·  $\frac{\left(M \cdot 10^{-6} \cdot \frac{u0}{100} - \Delta m\right)}{M \cdot 10^{-6} - \Delta m}$ 
    T2 ← T0 + P · ηи1 ·  $\frac{\Delta t}{M \cdot 10^{-6} \cdot (32.928 \cdot u0 + 770.71 + 318.6)}$ 
    u0 ← u
    Т0 ← T2
    M ← M - 1000000 · Δm
   $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ 
X

```


Продолжение приложения Б

t_0 – время половины цикла (время нагрева и/или время охлаждения), с; P – мощность подводимая (отводимая от) одной зерновке, Вт; Δm – масса испаренной влаги из одной зерновки за интервал времени Δt , г; u – влажность зерновки по прошествии времени Δt , %; T_2 – температура зерновки по прошествии времени Δt , °С; $M \cdot 100000 \Delta m$ – масса тысячи зерен по прошествии времени Δt , г; X – величина наполнения массива данных; i – текущее время, с; η_i – КПД испарения; η_n – КПД нагрева; z – геометрические характеристики зерновки.

Рисунок 1 - Решение систем уравнений для дифференцированной кинетики сушки методом перебора в среде MathCAD

Приложение В

Физико-химические показатели пшеницы

Таблица 1 – Химический состав анатомических слоев зерновки пшеницы (масса % к сухой массе слоя)

	Крахмал	Белки	Липиды	Клетчатка	Зольные компоненты
Плодовая оболочка	25-30	5-8	1-2	20-22	3,5-24,5
Семенная оболочка	14-36	12-20	0-0,2	1-1,5	7-20
Алейроновый слой	6-8	16-20	10-15	5-7	14,5-17
Зародыш	9-11	24-42	13-24	2-2,5	5,5-6,5
Эндосперм	2-3	12-15	0,7-1,0	0,1-0,2	0,36-0,5

Таблица 2 – Удельные теплоемкости сухого вещества анатомических слоев зерновки пшеницы

Слой	<i>Плодовая оболочка</i>	<i>Семенная оболочка</i>	<i>Алейроновый слой</i>	<i>Зародыш</i>	<i>Эндосперм</i>
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	993,56	433,86	845,56	391,97	458,123
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	1549,3	510,19	1301,44	677,07	1021,59
Средняя теплоемкость, Дж/кгС⁰	1271,43	472,025	1073,5	534,52	739,855
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	277,87	38,165	227,94	142,55	281,735

Продолжение приложения В

Таблица 3 – Удельная теплоемкость плодовой оболочки в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	993,56	1314,204	1346,268	1378,333	1410,397	1442,462	1474,526	1506,59	1538,655	1570,719	1602,784	1634,848	1666,912	1698,977	1731,041	1763,106
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	1549,3	1814,37	1840,877	1867,384	1893,891	1920,398	1946,905	1973,412	1999,919	2026,426	2052,933	2079,44	2105,947	2132,454	2158,961	2185,468
Средняя теплоемкость, Дж/кгС⁰	1271,43	1564,287	1593,573	1622,858	1652,144	1681,43	1710,716	1740,001	1769,287	1798,573	1827,858	1857,144	1886,43	1915,715	1945,001	1974,287
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	277,87	250,083	247,3043	244,5256	241,7469	238,9682	236,1895	233,4108	230,6321	227,8534	225,0747	222,296	219,5173	216,7386	213,9599	211,1812

Таблица 4 – Удельная теплоемкость семенной оболочки в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	433,86	810,474	848,1354	885,7968	923,4582	961,1196	998,781	1036,442	1074,104	1111,765	1149,427	1187,088	1224,749	1262,411	1300,072	1337,734
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	510,19	879,171	916,0691	952,9672	989,8653	1026,763	1063,662	1100,56	1137,458	1174,356	1211,254	1248,152	1285,05	1321,948	1358,846	1395,744
Средняя теплоемкость, Дж/кгС⁰	472,025	844,8225	882,1023	919,382	956,6618	993,9415	1031,221	1068,501	1105,781	1143,061	1180,34	1217,62	1254,9	1292,18	1329,459	1366,739
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	38,165	34,3485	33,96685	33,5852	33,20355	32,8219	32,44025	32,0586	31,67695	31,2953	30,91365	30,532	30,15035	29,7687	29,38705	29,0054

Продолжение приложения В

Таблица 5 – Удельная теплоемкость алейронового слоя в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	845,56	1181,004	1214,548	1248,093	1281,637	1315,182	1348,726	1382,27	1415,815	1449,359	1482,904	1516,448	1549,992	1583,537	1617,081	1650,626
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	1301,44	1591,296	1620,282	1649,267	1678,253	1707,238	1736,224	1765,21	1794,195	1823,181	1852,166	1881,152	1910,138	1939,123	1968,109	1997,094
Средняя теплоемкость, Дж/кгС⁰	1073,5	1386,15	1417,415	1448,68	1479,945	1511,21	1542,475	1573,74	1605,005	1636,27	1667,535	1698,8	1730,065	1761,33	1792,595	1823,86
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	227,94	205,146	202,8666	200,5872	198,3078	196,0284	193,749	191,4696	189,1902	186,9108	184,6314	182,352	180,0726	177,7932	175,5138	173,2344

Таблица 6 – Удельная теплоемкость зародыша в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	391,97	772,773	810,8533	848,9336	887,0139	925,0942	963,1745	1001,255	1039,335	1077,415	1115,496	1153,576	1191,656	1229,737	1267,817	1305,897
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	677,07	1029,363	1064,592	1099,822	1135,051	1170,28	1205,51	1240,739	1275,968	1311,197	1346,427	1381,656	1416,885	1452,115	1487,344	1522,573
Средняя теплоемкость, Дж/кгС⁰	534,52	901,068	937,7228	974,3776	1011,032	1047,687	1084,342	1120,997	1157,652	1194,306	1230,961	1267,616	1304,271	1340,926	1377,58	1414,235
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	142,55	128,295	126,8695	125,444	124,0185	122,593	121,1675	119,742	118,3165	116,891	115,4655	114,04	112,6145	111,189	109,7635	108,338

Продолжение приложения В

Таблица 7 – Удельная теплоемкость эндосперма в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	458,123	832,3107	869,7295	907,1482	944,567	981,9858	1019,405	1056,823	1094,242	1131,661	1169,08	1206,498	1243,917	1281,336	1318,755	1356,173
Максимальная теплоемкость, Дж/кгС ⁰	1021,59	1339,431	1371,215	1402,999	1434,783	1466,567	1498,352	1530,136	1561,92	1593,704	1625,488	1657,272	1689,056	1720,84	1752,624	1784,408
Средняя теплоемкость, Дж/кгС ⁰	739,855	1085,871	1120,472	1155,074	1189,675	1224,277	1258,878	1293,479	1328,081	1362,682	1397,284	1431,885	1466,487	1501,088	1535,69	1570,291
Отклонение от средней теплоемкости, ±Дж/кгС ⁰	281,735	253,5602	250,7428	247,9255	245,1081	242,2908	239,4735	236,6561	233,8388	231,0215	228,2041	225,3868	222,5695	219,7521	216,9348	214,1175

Таблица 8 – Массы слоев зерновки пшеницы

Слой	Плодовая оболочка	Семенная оболочка	Алейроновый слой	Эндосперм	Зародыш
1	2	3	4	5	6
Масса слоя при массе зерновки $20 \cdot 10^{-6}$ кг (масса 1000 зерен 20г), $\cdot 10^{-6}$ кг	0,7-0,92	0,22-0,44	1,26-1,78	15,4-17	0,28-0,7

Продолжение приложения В

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6
Масса слоя при массе зерновки $40 \cdot 10^{-6}$ кг (масса 1000 зерен 40г), $\cdot 10^{-6}$ кг	1,4-1,84	0,44-0,88	2,52-3,56	30,8-34	0,56-1,4
Масса слоя при массе зерновки $60 \cdot 10^{-6}$ кг (масса 1000 зерен 60г), $\cdot 10^{-6}$ кг	2,1-2,76	0,66-1,32	3,78-5,34	46,2-51	0,84-2,1
Масса слоя при массе зерновки $80 \cdot 10^{-6}$ кг (масса 1000 зерен 80г), $\cdot 10^{-6}$ кг	2,8-3,68	0,88-1,76	5,04-7,12	61,6-68	1,12-2,8
Масса слоя при массе 1000 зерен (M_{1000} [Г]), $\cdot 10^{-6}$ кг	$M_{1000} \cdot (0,0405 \pm 0,0055)$	$M_{1000} \cdot (0,0165 \pm 0,0055)$	$M_{1000} \cdot (0,076 \pm 0,013)$	$M_{1000} \cdot (0,81 \pm 0,04)$	$M_{1000} \cdot (0,0245 \pm 0,0105)$

Таблица 9 – Теплоемкости слоя зерновки, отнесенная к массе 1000 зерен в граммах, в зависимости от влажности

Влажность слоя, %	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Плодовая оболочка</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	34,7746	45,99714	47,11939	48,24165	49,3639	50,48616	51,60841	52,73066	53,85292	54,97517	56,09743	57,21968	58,34193	59,46419	60,58644	61,7087

Продолжение приложения В

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	71,2678	83,46102	84,68034	85,89966	87,11899	88,33831	89,55763	90,77695	91,99627	93,2156	94,43492	95,65424	96,87356	98,09288	99,31221	100,5315
<i>Семенная оболочка</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	4,77246	8,915214	9,329489	9,743765	10,15804	10,57232	10,98659	11,40087	11,81514	12,22942	12,64369	13,05797	13,47224	13,88652	14,30079	14,71507
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	11,22418	19,34176	20,15352	20,96528	21,77704	22,58879	23,40055	24,21231	25,02407	25,83583	26,64759	27,45934	28,2711	29,08286	29,89462	30,70638
<i>Алейроновый слой</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	53,27028	74,40325	76,51655	78,62985	80,74314	82,85644	84,96974	87,08304	89,19633	91,30963	93,42293	95,53622	97,64952	99,76282	101,8761	103,9894
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	115,8282	141,6253	144,2051	146,7848	149,3645	151,9442	154,5239	157,1037	159,6834	162,2631	164,8428	167,4225	170,0022	172,582	175,1617	177,7414
<i>Зародыш</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	5,48758	10,81882	11,35195	11,88507	12,41819	12,95132	13,48444	14,01757	14,55069	15,08382	15,61694	16,15006	16,68319	17,21631	17,74944	18,28256
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	23,69745	36,02771	37,26073	38,49376	39,72678	40,95981	42,19283	43,42586	44,65888	45,89191	47,12493	48,35796	49,59099	50,82401	52,05704	53,29006
<i>Эндосперм</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	352,7547	640,8792	669,6917	698,5041	727,3166	756,1291	784,9415	813,754	842,5664	871,3789	900,1913	929,0038	957,8162	986,6287	1015,441	1044,254
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	868,3515	1138,516	1165,533	1192,549	1219,566	1246,582	1273,599	1300,615	1327,632	1354,648	1381,665	1408,681	1435,698	1462,714	1489,731	1516,747
<i>Зерновки в целом</i>																
Минимальное значение, мкДж/С ⁰	451,0596	781,0137	814,0091	847,0045	879,9999	912,9953	945,9907	978,9861	1011,981	1044,977	1077,972	1110,968	1143,963	1176,959	1209,954	1242,949

Продолжение приложения В

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Максимальное значение, мкДж/С ⁰	1090,369	1418,972	1451,832	1484,693	1517,553	1550,413	1583,274	1616,134	1648,994	1681,855	1714,715	1747,575	1780,436	1813,296	1846,156	1879,017

Приложение Г

Поверхности отклика влияния температур агентов сухого воздуха, насыщенного пара и влажного воздуха на коэффициент теплоотдачи

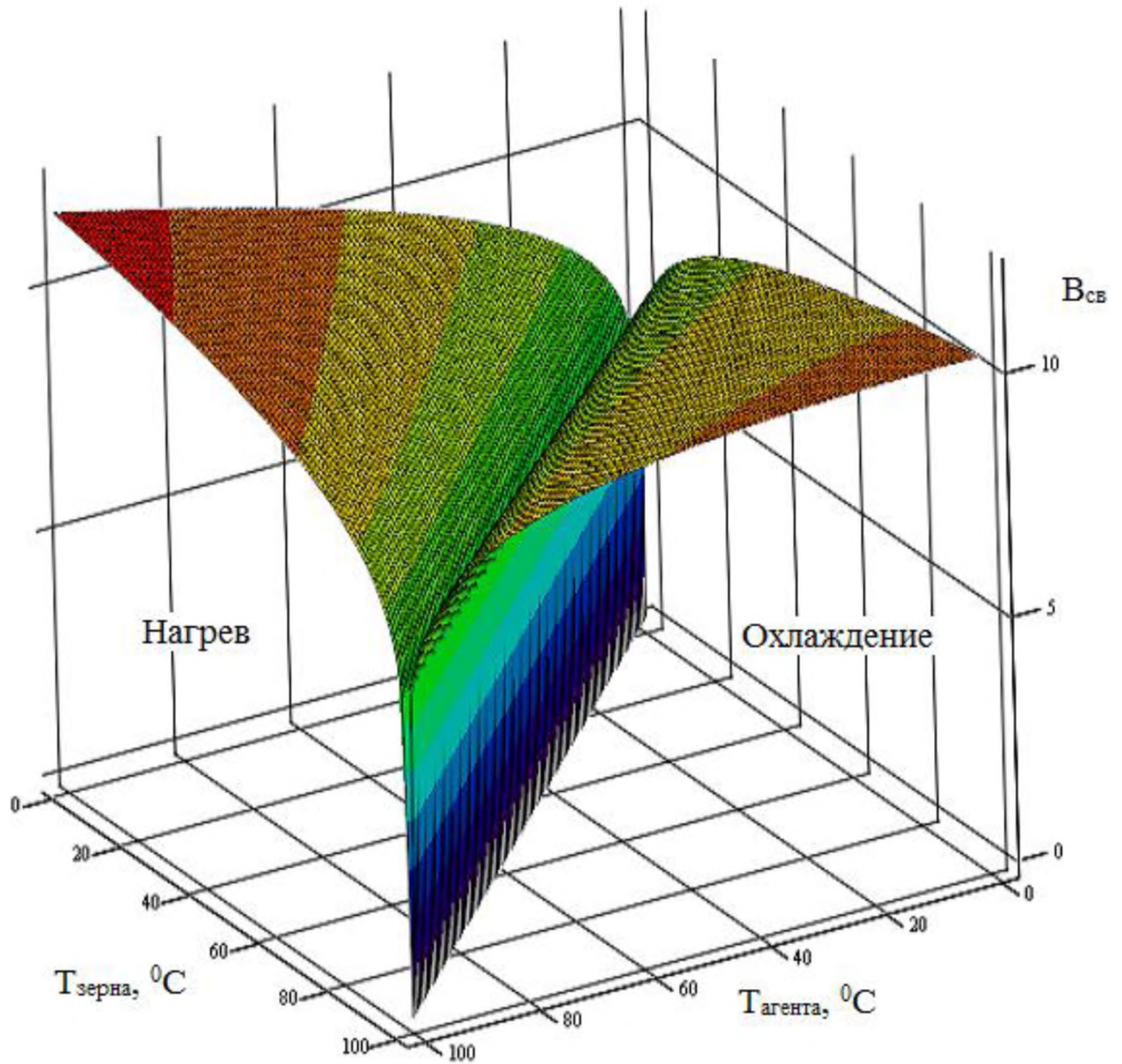


Рисунок 1 – Значение коэффициента B_{sv} в зависимости от температур агента и зерновки

Продолжение приложения Г

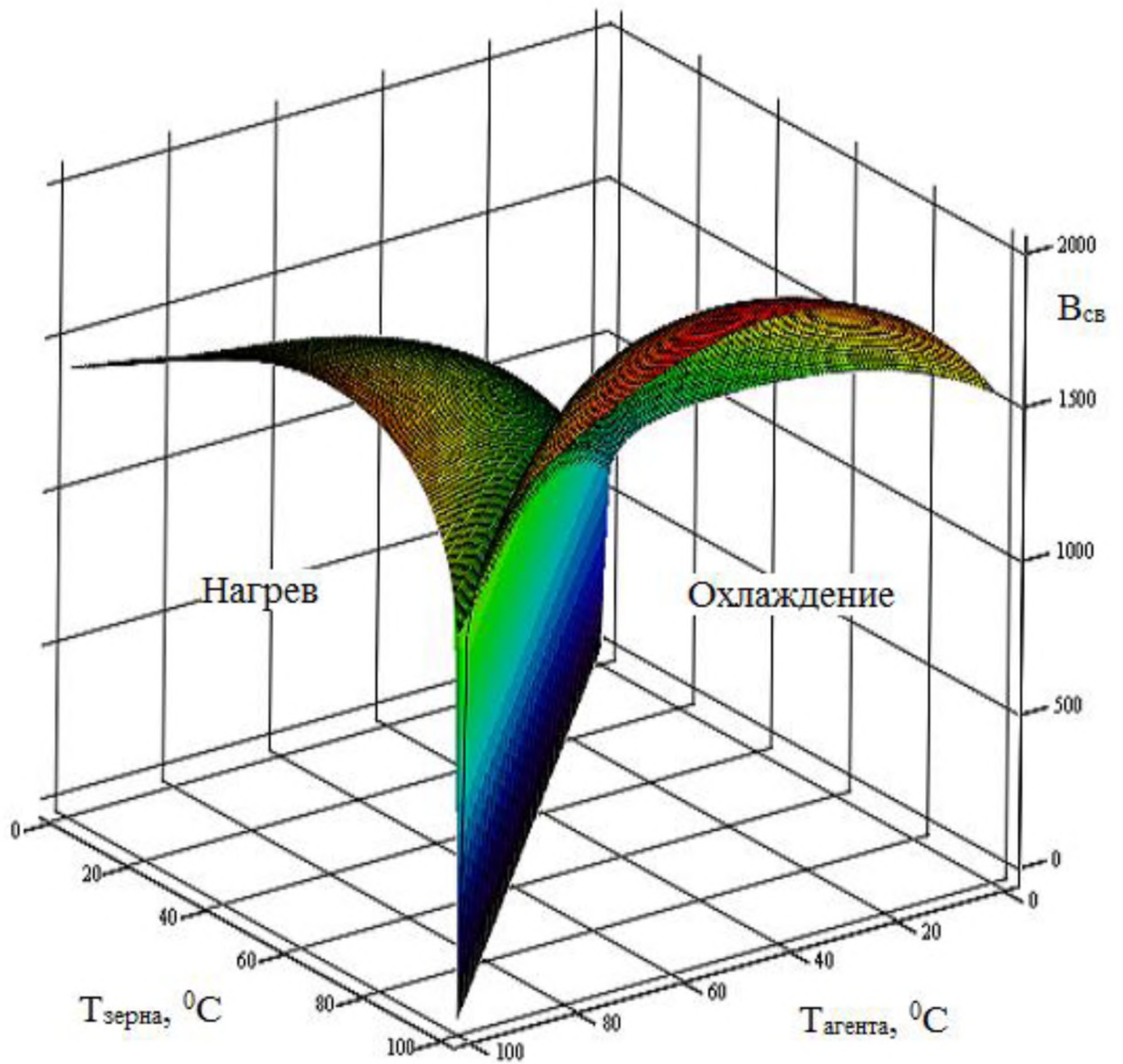


Рисунок 2 – Значение коэффициента $B_{шп}$ в зависимости от температуры агента и зерновки

Продолжение приложения Г

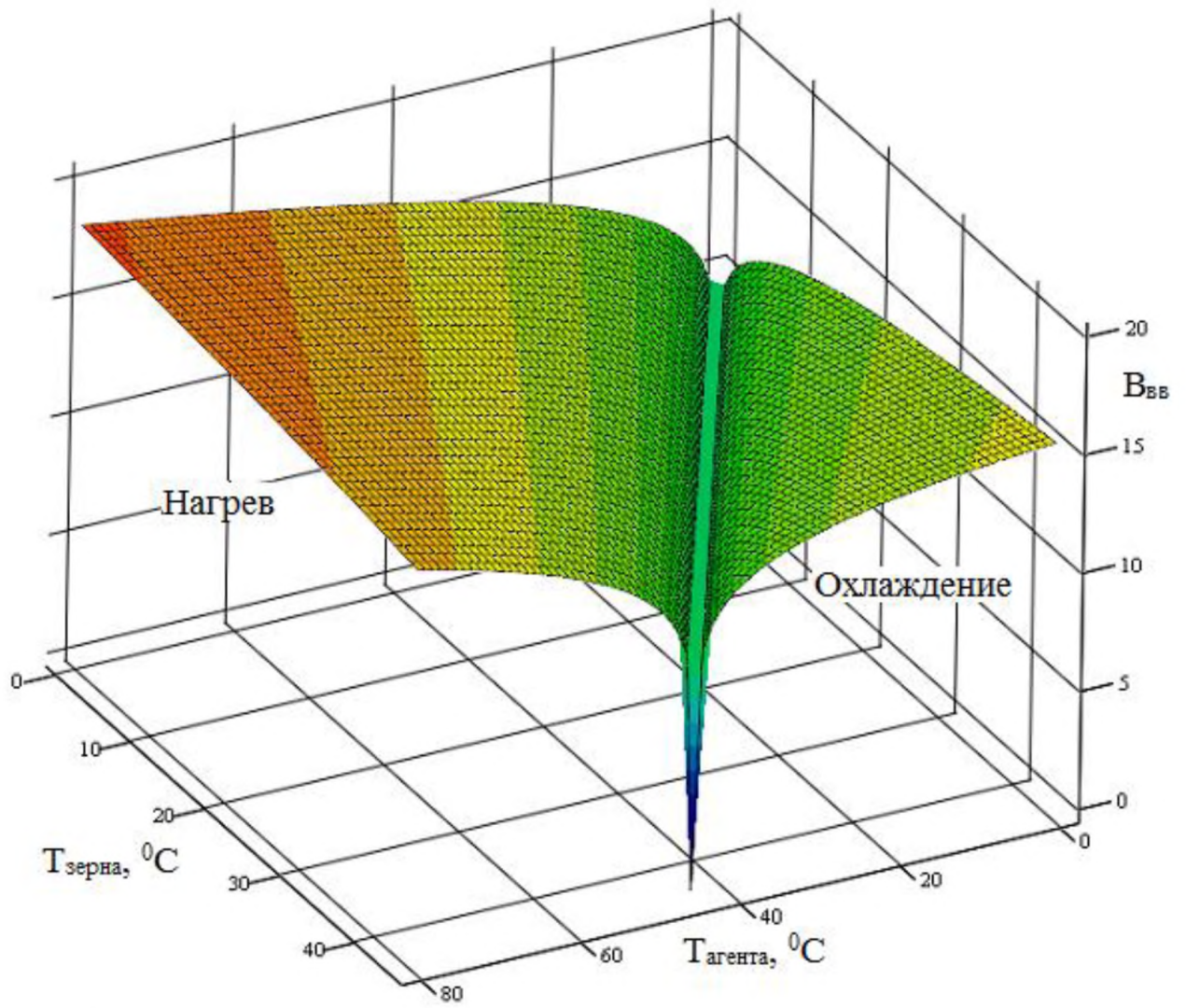
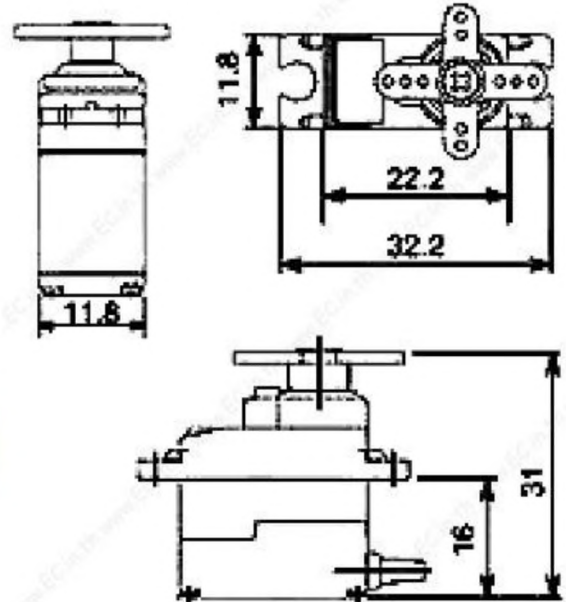


Рисунок 3 – Значение коэффициента B_{VB} в зависимости от температуры агента и зерновки

Приложение Д

Технические характеристики лабораторного оборудования

SG90 9 g Micro Servo

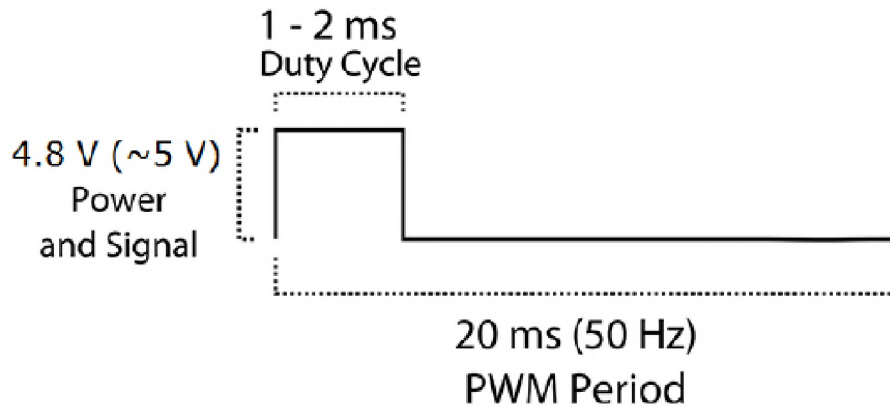
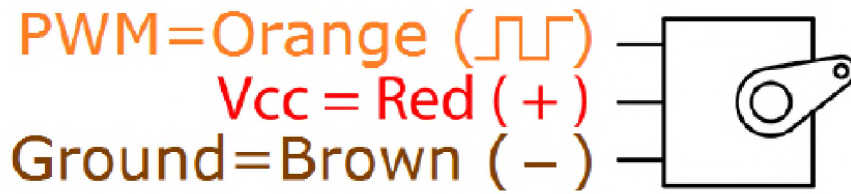


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

Specifications

- Weight: 9 g
- Dimension: 22.2 x 11.8 x 31 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm
- Operating speed: 0.1 s/60 degree
- Operating voltage: 4.8 V (~5V)
- Dead band width: 10 μ s
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

Продолжение приложения Д



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is all the way to the left.

Источник: [<http://www.micropik.com/PDF/SG90Servo.pdf>]

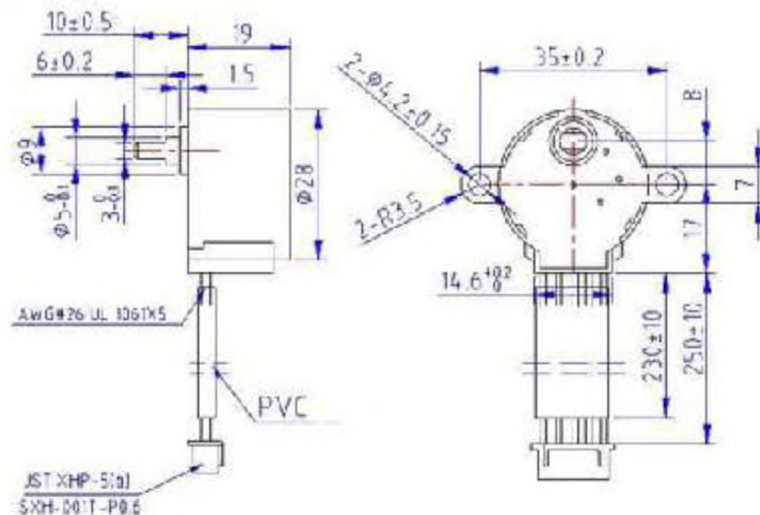
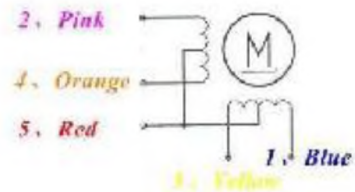
Продолжение приложения Д

28BYJ-48 – 5V Stepper Motor

The 28BYJ-48 is a small stepper motor suitable for a large range of applications.



Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V



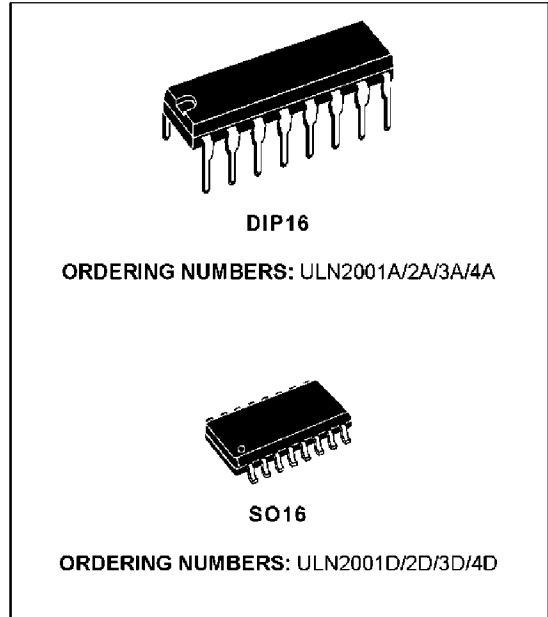
Продолжение приложения Д



**ULN2001A-ULN2002A
ULN2003A-ULN2004A**

SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT



DESCRIPTION

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

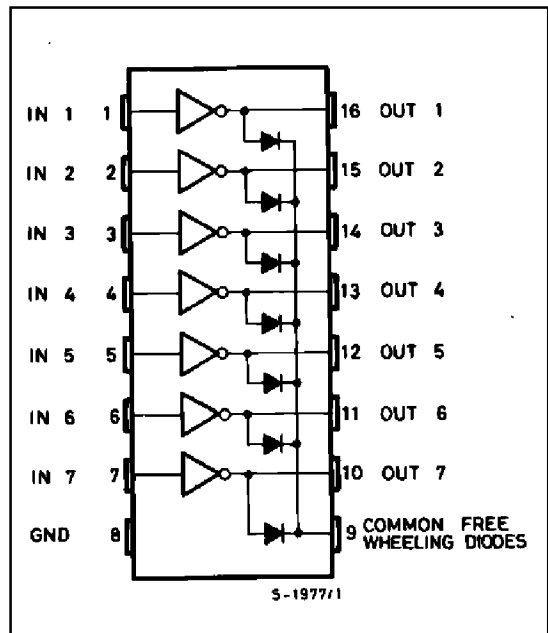
The four versions interface to all common logic families :

ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.

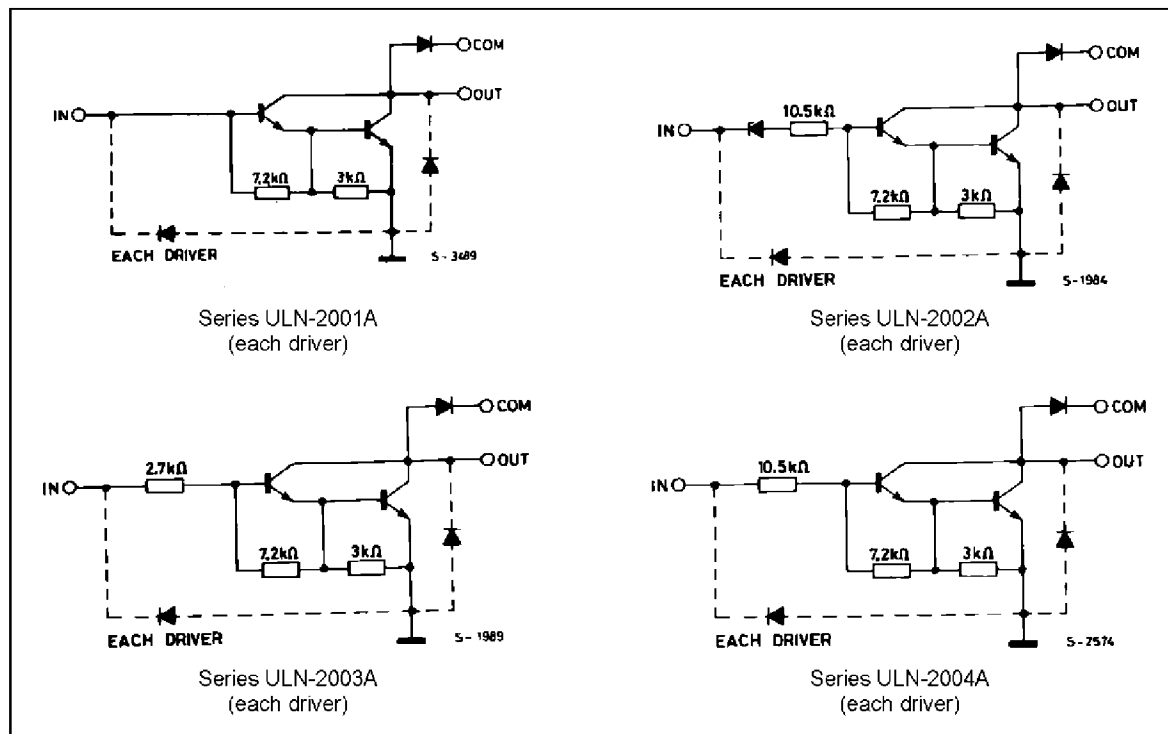
PIN CONNECTION



Продолжение приложения Д

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_o	Output Voltage	50	V
V_{in}	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
I_c	Continuous Collector Current	500	mA
I_b	Continuous Base Current	25	mA
T_{amb}	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
T_j	Junction Temperature	150	°C

THERMAL DATA

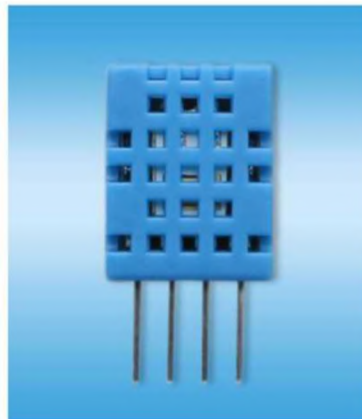
Symbol	Parameter		DIP16	SO16	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	70	120	°C/W

Источник: [<http://cdselectronics.com/kits/uln2003.PDF>]

AOSONG

Temperature and humidity module

DHT11 Product Manual



www.aosong.com

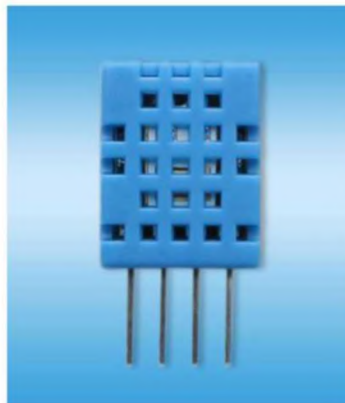
Продолжение приложения Д

AOSONG

Temp, Humidity & Dew point measurement experts

1、Product Overview

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a composite Sensor contains a calibrated digital signal output of the temperature and humidity. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a resistive sense of wet components and an NTC temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller.



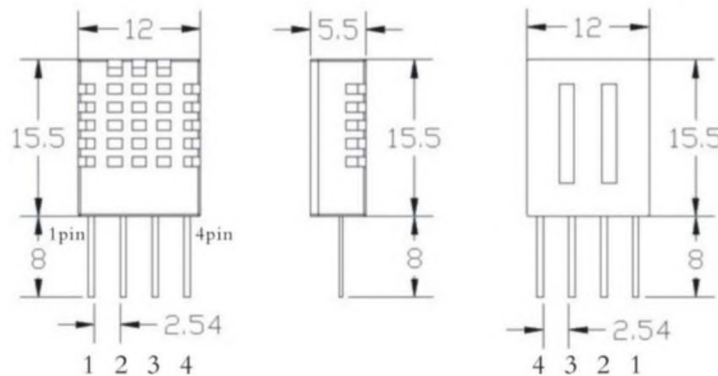
2、Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other humidity measurement and control.

3、Features

Low cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, strong anti-interference ability, long distance signal transmission, digital signal output, and precise calibration.

4、Dimensions (unit: mm)



Продолжение приложения Д

AOSONGTemp, Humidity & Dew point measurement experts

5、Product parameters

Relative humidity

Resolution: 16Bit

Repeatability: $\pm 1\%$ RHAccuracy: At 25°C $\pm 5\%$ RH

Interchangeability: fully interchangeable

Response time: 1 / e (63%) of 25°C 6s

1m / s air 6s

Hysteresis: $< \pm 0.3\%$ RHLong-term stability: $< \pm 0.5\%$ RH / yr in

Temperature

Resolution: 16Bit

Repeatability: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ Range: At 25°C $\pm 2^\circ\text{C}$

Response time: 1 / e (63%) 10S

Electrical Characteristics

Power supply: DC 3.5 ~ 5.5V

Supply Current: measurement 0.3mA standby 60 μ A

Sampling period: more than 2 seconds

Pin Description

1, the VDD power supply 3.5 ~ 5.5V DC

2 DATA serial data, a single bus

3, NC, empty pin

4, GND ground, the negative power

Источник: [<https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11.pdf>]

Продолжение приложения Д

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48A
ATmega48PA
ATmega88A
ATmega88PA
ATmega168A
ATmega168PA
ATmega328
ATmega328P**

Summary

Rev. 8271BS-AVR-04/10

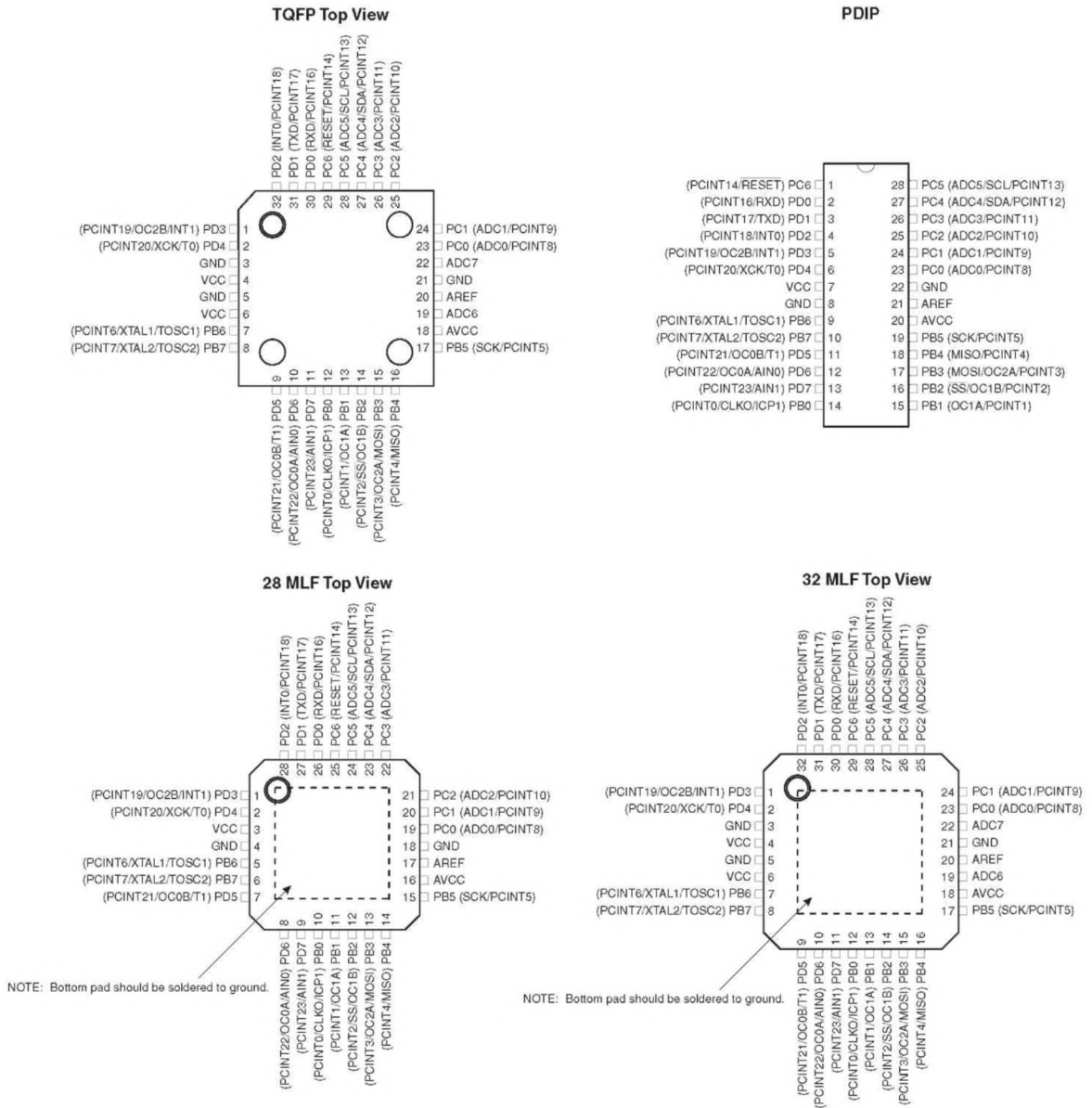


Продолжение приложения Д

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P



Продолжение приложения Д

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7...6 is used as TOSC2...1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in ["System Clock and Clock Options"](#) on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5...0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/ $\overline{\text{RESET}}$

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 28-12 on page 323](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in ["Alternate Functions of Port C"](#) on page 86.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Продолжение приложения Д

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

The various special features of Port D are elaborated in "[Alternate Functions of Port D](#)" on page 89.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6...4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

Продолжение приложения Д

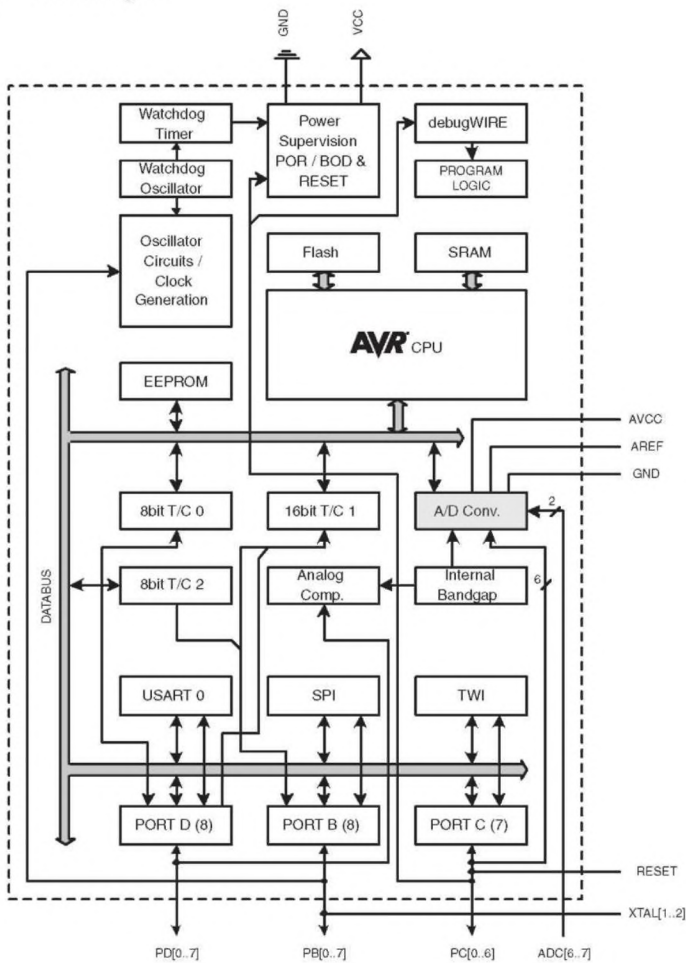
ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

2. Overview

The ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent

Продолжение приложения Д

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P provides the following features: 4K/8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between Processors

The ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. [Table 2-1](#) summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48A	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88A	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168A	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector

Продолжение приложения Д

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega 48A/48PA there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.

3. Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

Приложение Е

Исходный код программы микроконтроллера схемы управления лабораторной установки на языке Wiring

```

#include <Servo.h>
#include <DHT.h>
DHT dht_1(7, DHT11); //тепло
DHT dht_2(8, DHT11); //холод
Servo myservo_1; //тепло
Servo myservo_2; //холод
int q=40; //температура нагрева
int w=10; //температура охлаждения

void setup() {
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT); //серво тепло
  pinMode(12, OUTPUT); //серво холод
  Serial.begin(250000);
  dht_1.begin();
  dht_2.begin();
  myservo_1.attach(10);
  myservo_2.attach(9);
}

void loop() {
  digitalWrite(12, 0); digitalWrite(13, 0);
  Serial.println("Start");
  float y = dht_1.readHumidity(); //влажность тепло
  float u = dht_1.readTemperature(); //температура тепло
  float o = dht_2.readHumidity(); //влажность холод
  float p = dht_2.readTemperature(); //температура холод
  if (isnan(y) || isnan(u)) {Serial.println("DHT_1 - ???");} else {Serial.print("DHT_1:
T="); Serial.print(u); Serial.print(" C; w="); Serial.print(y); Serial.println(" %");}
  if (isnan(o) || isnan(p)) {Serial.println("DHT_2 - ???");} else {Serial.print("DHT_2:
T="); Serial.print(p); Serial.print(" C; w="); Serial.print(o); Serial.println(" %");}
}

```

Продолжение приложения Е

```

for (int t = 1; t < 227; t++) {
int a = 2; //работа катушки
int b = 2; //пауза
    digitalWrite(3, 1); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0);
    delay(a);
digitalWrite(3, 1); digitalWrite(4, 1); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0);
    delay(b);
    digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 1); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0);
    delay(a);
    digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 1); digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 0);
    delay(b);
    digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 0);
    delay(a);
    digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 1);
    delay(b);
    digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 1);
    delay(a);
    digitalWrite(3, 1); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 1);
    delay(b);
}
digitalWrite(3, 0); digitalWrite(4, 0); digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0);

digitalWrite(13, 1); delay(1000); if (y > q) {myservo_1.write(170); delay(1000);
myservo_1.write(150);}
else {myservo_1.write(100); delay(1000); myservo_1.write(120);} delay(2000);
digitalWrite(13, 0);
if (p > w) {myservo_2.write(100);} else {myservo_2.write(170);}
delay(6200); Serial.print("ob");

delay(60000);
}

```

Приложение Ж Паспортные данные с информацией о поверке измерительного оборудования



20 Свидетельство и приёмка
Весы лабораторные ВК 1500... Заводской номер 019/61
Соответствуют ТУ 4274-025-27450820-2010 и признаны годными для эксплуатации.
Дата выпуска 19 НОЯ 2012 201 г
М.П. МАССА-К ЛК 5 Представитель ОТК

21 Заключение о поверке
Весы лабораторные ВК - 1500 Заводской номер 019/61
Версия программного обеспечения U.1.4, Контрольная сумма 1EE485. На основании первичной поверки признаны годными и допущены к применению.

№ п/п	Дата поверки	Код юстировки	Оттиск поверительного клейма и подпись поверителя
	19.11.2012	5	1 В 2 ВИНТЮК Н.И.

РЭ ВК (Редакция 7) 2012

Приложение А

Корешок гарантийного талона

Весы лабораторные ВК 1500
Заводской номер 019/61 Дата выпуска 19 НОЯ 2012

Представитель ОТК предприятия-изготовителя
Адрес предприятия-изготовителя:
Россия, 194044, Санкт-Петербург, Пироговская наб., 15, лит.А.
Тел/факс: (812) 319-70-87, 319-70-88
Продавец МАССА-К ЛК 5

Дата продажи _____ М.П. _____

Название и адрес предприятия, осуществившего гарантийный ремонт _____

Фамилия и подпись _____ М.П. _____

Форма - А

Гарантийный талон

Весы лабораторные ВК 1500... 19 НОЯ 2012
Заводской номер 019/61 Дата выпуска
МАССА-К ЛК 5

Представитель ОТК предприятия-изготовителя
Адрес предприятия-изготовителя:
Россия, 194044, Санкт-Петербург, Пироговская наб., 15, лит.А.
Тел/факс: (812) 319-70-87, 319-70-88
Продавец _____

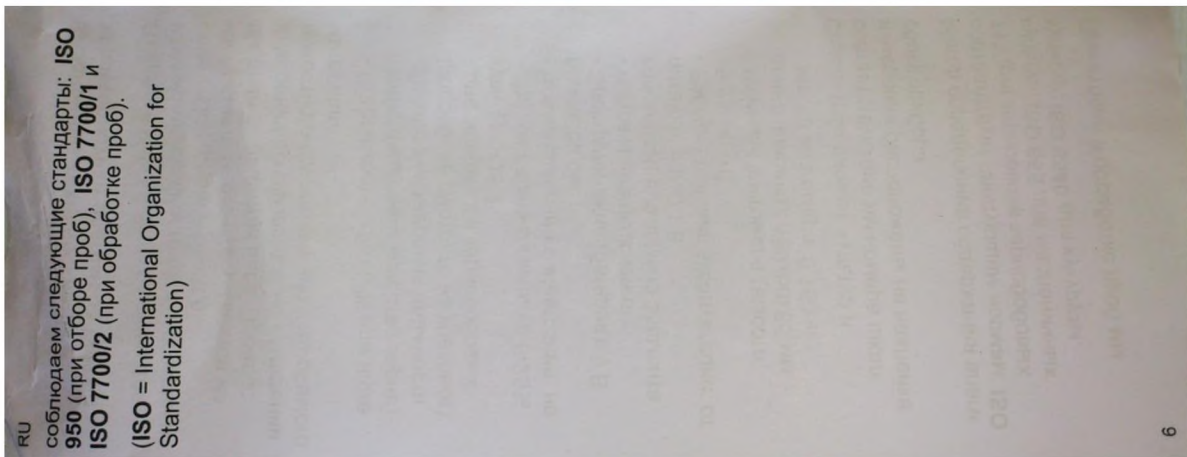
Дата продажи _____ М.П. _____

Название и адрес предприятия, осуществившего гарантийный ремонт _____

Фамилия и подпись _____ М.П. _____

РЭ ВК (Редакция 7) 2012

Продолжение приложения Ж



3. Основные технические характеристики влагомера Wile 55

Влагомер Wile 55 предназначен для измерения влажности цельных зерен и семян. Содержание влаги в измеряемой массе отображается на дисплее в процентах веса. Процесс измерения основывается на измерении емкостного сопротивления измеряемого материала.

- Погрешность: +/- 0,5 % или ниже (при стандартном качестве зерна)
- Диапазон измерения влажности (подробнее смотрите на упаковке):
 - для зерновых и зернообовых культур 8–35%
 - для масличных культур 5-25%
- Время единичного измерения, не более: 50 сек
- Электропитание (батарея): 9 В
- Напряжение включения сигнализации о замене элемента питания: 6,9±0,1 В
- Рабочие условия эксплуатации: от +5 до +40 °С.
- Размеры влагомера (высота, длина, ширина): 180x80x65 мм
- Масса влагомера: 0,750 кг

Список измеряемых культур и соответствующие им номера шкал измерения расположены на наклейке сбоку прибора.

Метод определения содержания влаги соответствует следующим нормам: **ISO 712** для зерновых и зернообовых культур, **ISO 665** для масличных культур, **ISO 6540** для кукурузы.


При отборе и обработке проб мы

5



Продолжение приложения Ж

НПК «МИКРОФОР»



ТЕРМОГИГРОМЕТР
ИВА-6АП,
ИВА-6НП,
ИВА-6НКП

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

ЦАРЯ 2.772.001 РЭ

ЗАО "ХИМПРИБОР"

625002 ТОМЕНЬ ГОСПАРОВСКАЯ 31
t (3452) 593-349, 593-395
А.В. О.А. О.В.

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее руководство по эксплуатации, объединенное с техническим описанием и методикой поверки, является документом, удостоверяющим гарантированные предприятия-изготовителем основные параметры и технические характеристики термогигрометров ИВА-6АП, ИВА-6НП и ИВА-6НКП (в дальнейшем - термогигрометров).

Кроме того, документ позволяет ознакомиться с устройством и принципом работы термогигрометра и устанавливает правила эксплуатации, соблюдение которых обеспечивает поддержание его в постоянной готовности к действию.

2. НАЗНАЧЕНИЕ

Термогигрометр представляет собой автоматический, цифровой, одноканальный, многофункциональный прибор непрерывного действия и предназначен для измерения и регистрации относительной влажности и температуры воздуха в жилых, складских и производственных помещениях, а также в свободной атмосфере.

Термогигрометр ИВА-6АП представляет собой автономный прибор с выносным измерительным преобразователем, ИВА-6НП, ИВА-6НКП - автономный прибор со встроенным измерительным преобразователем.

По устойчивости к механическим воздействиям и по защищенности от воздействия окружающей среды термогигрометр выполнен в обыкновенном исполнении по ГОСТ 12997-84.

Рабочие условия применения термогигрометра:

- температура, °С
 - блок индикации 0...50;
 - измерительный преобразователь -40...+60;
- относительная влажность, %
 - блок индикации 20...80 (20...70 при 35...50°С);
 - измерительный преобразователь 0...98;
- атмосферное давление, кПа 86...106

3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1. Термогигрометр изготовлен в соответствии с ТУ4311-011-77511225-2005.

3.2. Габаритные размеры термогигрометра ИВА-6АП:

блока индикации, мм	.....	не более 24x70x160
измерительного преобразователя, мм	.....	не более Ø13x175
Длина соединительного кабеля, м	.....	не менее 0,8

Габаритные размеры термогигрометров ИВА-6НП и ИВА-6НКП, мм ... не более 24x70x175

3.3. Масса термогигрометра, кг не более 0,4

3.4. Диапазон измерений:

для термогигрометра ИВА-6АП	.....	относительной влажности, %	.....	0...98
температуры, °С	.....	.....	.....	-40...60
для термогигрометра ИВА-6НП, ИВА-6НКП	.....	относительной влажности, %	.....	0...98
температуры, °С	.....	.....	.....	0...60

1

Продолжение приложения Ж

12. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

12.1. Термогигрометры, упакованные в соответствии с техническими условиями ТУ4311-011-77511225-2005, могут транспортироваться на любое расстояние всеми видами транспорта: водным, воздушным (в отапливаемых герметизированных отсеках), железнодорожным, в сочетании их между собой и автомобильным транспортом, с общим числом перевозок не более четырех, в крытых транспортных средствах, в том числе, в универсальных контейнерах при температуре окружающей среды от минус 50 до 50°С.

12.2. Термогигрометры должны храниться в сухом помещении при температуре окружающего воздуха от 10 до 35°С, влажности до 80 %. Наличие в воздухе паров кислот, щелочей и прочих примесей не допускается.

13. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

Термогигрометр Ива-6 АП заводской номер 1314 соответствует техническим условиям ТУ4311-011-77511225-2005 и признан годным к эксплуатации.

Дата выпуска " 1 " 01 " 2008 г.



подпись руководителя предприятия-изготовителя

14. СВЕДЕНИЯ О ПОВЕРКЕ.

Дата поверки	Поверяемый параметр	Результат поверки (годен, не годен)	Подпись и клеймо поверителя поверочного органа	Дата очередной поверки
04.01.2008	влажность	годен		04.01.2009
05.01.2008	температура	годен		05.01.2009

12. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

12.1. Термогигрометры, упакованные в соответствии с техническими условиями ТУ4311-011-77511225-2005, могут транспортироваться на любое расстояние всеми видами транспорта: водным, воздушным (в отапливаемых герметизированных отсеках), железнодорожным, в сочетании их между собой и автомобильным транспортом, с общим числом перевозок не более четырех, в крытых транспортных средствах, в том числе, в универсальных контейнерах при температуре окружающей среды от минус 50 до 50°С.

12.2. Термогигрометры должны храниться в сухом помещении при температуре окружающего воздуха от 10 до 35°С, влажности до 80 %. Наличие в воздухе паров кислот, щелочей и прочих примесей не допускается.

13. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

Термогигрометр Ива-6 АП заводской номер 1315 соответствует техническим условиям ТУ4311-011-77511225-2005 и признан годным к эксплуатации.

Дата выпуска " 1 " 01 " 2008 г.



подпись руководителя предприятия-изготовителя

14. СВЕДЕНИЯ О ПОВЕРКЕ.

Дата поверки	Поверяемый параметр	Результат поверки (годен, не годен)	Подпись и клеймо поверителя поверочного органа	Дата очередной поверки
04.01.2008	влажность	годен		04.01.2009
05.01.2008	температура	годен		05.01.2009


Продолжение приложения Ж

НППО.005.001 РЗ Стр. 21

11 ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ПОВЕРКЕ

11.1 Весы лабораторные ВЛТЗ-500 заводской № В0034 первичной поверки, проведенной на основании результатов 954,7гггг-С-178 признаны годными и допущены к применению.

Поверитель *А.Ю.Иванов* личная подпись расшифровка подписи

2013.06.06 год, месяц, число 

12 СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ УПАКОВЫВАНИИ

12.1 Весы лабораторные ВЛТЗ-500 заводской № В0034 упакованы НППО «ГОСМЕТР» согласно требованиям, предусмотренным в действующей технической документации.

Отметка об упаковке: *СБ*

13 СВЕДЕНИЯ ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ТИПА

13.1 Весы лабораторные ВЛТЗ зарегистрированы в государственном реестре средств измерений под № 21370-12 и допущены к применению в Российской Федерации. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.28.001.А № 46246 от 11.05.2012 года.

14 СВЕДЕНИЯ О РЕМОНТЕ

14.1 Послегарантийный ремонт осуществляет предприятие - изготовитель.
14.2 Сведения о ремонте следует заносить в таблицу 10.

Таблица 10

Наименование и составные части изделия	Дата		Наименование ремонтных работ	Количество часов работы до ремонта	Вид ремонта	Должность, фамилия и подпись ответственного лица
	поступления в ремонт	выхода из ремонта				

Стр. 20 НППО.005.001 РЗ

8 ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

8.1 Изготовитель гарантирует соответствие весов требованиям технических условий при соблюдении условий транспортирования, эксплуатации и хранения.
8.2 Гарантийный срок эксплуатации – 18 месяцев со дня продажи.
8.3 Гарантийный ремонт производит предприятие – изготовитель (190020, Россия, Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 58, ООО «Научно-производственное предприятие «Госметр»).

9 СВЕДЕНИЯ О КОНСЕРВАЦИИ

9.1 Сведения о консервации весов следует заносить в таблицу 9.

Таблица 9

Дата	Наименование работ	Срок действия, годы	Должность, фамилия и подпись

10 СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

10.1 Весы лабораторные ВЛТЗ-500 заводской № В0034 изготовлены и приняты в соответствии с обязательными требованиями технических условий ТУ 4274-001-92050572-2011 и признаны годными к эксплуатации.

Начальник ОТК НППО «Госметр» *А.Ю.Иванов* личная подпись расшифровка подписи

2013.06.05 год, месяц, число



Приложение 3

Интерфейс программы «Grain Sound Scan»

The screenshot displays the Grain Sound Scan software interface. At the top, the Windows taskbar shows the application title: "Устройство записи Внутренний микрофон (Сопелант 5)". Below the taskbar, the software title bar reads "Устройство воспроизведения".

The main interface is divided into several sections:

- Left Panel (Records):** Contains a list of recorded files. The list has columns for "Имя" (Name) and "Удалить..." (Delete...). The entries are:

Имя	Удалить...
Пшеница 0%.wav	
Пшеница 24.1%.wav	
- Top Left Controls:** Includes buttons for "Начать запись" (Start recording), "Начать воспроизведение" (Start playback), "Сохранить фрагмент" (Save fragment), "Обработать" (Process), and "Обработать (среднее)" (Process (average)).
- Waveform Display (Left):** Shows a blue audio waveform. The vertical axis is labeled from 0.0000 to 1.5850. A blue rectangular box highlights a segment of the waveform.
- Right Panel (Samples):** Contains a list of samples. The list has columns for "Имя" (Name) and "Совпадение" (Match). The entries are:

Имя	Совпадение
Пшеница 24.1% ср. sample	0.2095278...
Пшеница 24.1% sample	0.2234181...
Пшеница 0% sample	0.4997760...
Пшеница 0% ср. sample	0.4933954...
- Top Right Controls:** Includes buttons for "Сохранить образец" (Save sample), "Сравнить с образцами" (Compare with samples), "Сравнить с образцами (нижняя половина спектра)" (Compare with samples (lower half of spectrum)), "Сравнить по близости" (Compare by proximity), and "Сравнить по максимальному расстоянию" (Compare by maximum distance).
- Waveform Display (Right):** Shows a comparison of two waveforms, one in red and one in blue, overlaid on a grey background. The vertical axis is labeled from 0.0000 to 1.5850.

Приложение II

Алгоритм заполнения массивов выходных параметров сушки с дифференцированным подводом тепла в среде MathCAD методом математического перебора

```

u(кн, кн) :=
a ← 3.27·10-3
b ← 2.92·10-3
l0 ← 6.37·10-3
M ← 38.52
Тн ← 37.17
Т0 ← 13.67
Т0 ← 16.8
u0 ← 19.47
ηн ← кн
ηи ← кн
Δt ← 1
for t ∈ 0, (0 + Δt)..370
    чет ← mod(floor( $\frac{t}{60}$ ), 2)
    P ← 1.57·10-3 · ( $\frac{210-a}{10+a}$ )-0.625 · 4·π · ( $\frac{5-a+6-b}{60}$ ) · [1 - ( $\frac{5-a+6-b}{20}$ )] · (|Тн - Т0|)0.125 ·  $\frac{0.49635 \cdot (0.0148 \cdot Тн + 11.234) \cdot (Тн - Т0)}{0.9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot Т0}$  if чет = 1
    P ← -1.57·10-3 · ( $\frac{210-a}{10+a}$ )-0.625 · 4·π · ( $\frac{5-a+6-b}{60}$ ) · [1 - ( $\frac{5-a+6-b}{20}$ )] · (|Т0 - Т0|)0.125 ·  $\frac{0.49635 \cdot (0.0148 \cdot Т0 + 11.234) \cdot (Т0 - Т0)}{0.9169 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot Т0}$  if чет = 0
    Pи ← P·ηи
    Pн ← P·ηн if чет = 0
    Pо ← P·ηн if чет = 1
    Δm ←  $\frac{Pи \cdot \Delta t}{2502 - 2.4385 \cdot Т0}$ 
    u ← 100 ·  $\frac{(M \cdot 10^{-6} \cdot \frac{u0}{100} - \Delta m)}{M \cdot 10^{-6} - \Delta m}$ 
    T2 ← Т0 + Pи ·  $\frac{\Delta t}{M \cdot 10^{-6} \cdot (32.928 \cdot u0 + 770.71 + 318.6)}$  if чет = 0
    T2 ← Т0 + Pо ·  $\frac{\Delta t}{M \cdot 10^{-6} \cdot (32.928 \cdot u0 + 770.71 + 318.6)}$  if чет = 1
    u0 ← u
    Т0 ← T2
    M ← M - 1000000·Δm
u0
u0

```

Рисунок 1 – Заполнение массива влажности зерна по времени

Продолжение приложения И

```

T(кн, кт) :=
a ← 3.27·10-3
b ← 2.92·10-3
l0 ← 6.37·10-3
M ← 38.52
Tн ← 37.17
T0 ← 13.67
T0 ← 16.8
u0 ← 19.47
ηн ← кн
ηи ← кт
Δt ← 1
for t ∈ 0, (0 + Δt)..370
  чет ← mod(floor(t/60), 2)
  P ← 1.57·10-3 · (210-a)/(10+a)-0.625 · 4·π · (5·a+6·b)/60 · [1 - (5·a+6·b)/20] · (|Tн - T0|)0.125 · 0.49635 · (0.0148·Tн + 11.234) · (Tн - T0) if чет = 1
  P ← -1.57·10-3 · (210-a)/(10+a)-0.625 · 4·π · (5·a+6·b)/60 · [1 - (5·a+6·b)/20] · (|T0 - T0|)0.125 · 0.49635 · (0.0148·T0 + 11.234) · (T0 - T0) if чет = 0
  Pи ← P·ηи
  Pн ← P·ηн if чет = 0
  Pо ← P·ηн if чет = 1
  Δm ← (Pи·Δt)/(2502 - 2.4385·T0)
  u ← 100 · ((M·10-6 · u0/100 - Δm)/(M·10-6 - Δm)
  T2 ← T0 + Pн · (Δt)/(M·10-6 · (32.928·u0 + 770.71 + 318.6)) if чет = 0
  T2 ← T0 + Pо · (Δt)/(M·10-6 · (32.928·u0 + 770.71 + 318.6)) if чет = 1
  u0 ← u
  T0 ← T2
  M ← M - 1000000·Δm
u0
T0

```

Рисунок 2 – Заполнение массива температуры зерна по времени

Приложение К

Сведения к планированию эксперимента и обработке результатов

Критические значения коэффициента корреляции

Число степеней свободы f	Уровни значимости α					Число степеней свободы f	Уровни значимости α				
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001		0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,988	0,997	0,999	1,000	1,000	17	0,389	0,456	0,528	0,575	0,693
2	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999	18	0,378	0,444	0,516	0,561	0,679
3	0,805	0,878	0,934	0,959	0,992	19	0,369	0,433	0,503	0,549	0,665
4	0,729	0,811	0,882	0,917	0,974	20	0,360	0,423	0,492	0,537	0,652
5	0,669	0,754	0,833	0,874	0,951	25	0,323	0,381	0,445	0,487	0,597
6	0,621	0,707	0,789	0,834	0,925	30	0,296	0,349	0,409	0,449	0,554
7	0,582	0,666	0,750	0,798	0,898	35	0,276	0,325	0,381	0,418	0,519
8	0,549	0,632	0,716	0,765	0,872	40	0,257	0,304	0,358	0,393	0,490
9	0,521	0,602	0,685	0,735	0,847	45	0,243	0,287	0,338	0,372	0,465
10	0,497	0,576	0,658	0,708	0,823	50	0,231	0,273	0,322	0,354	0,443
11	0,476	0,553	0,634	0,684	0,801	60	0,211	0,250	0,295	0,325	0,408
12	0,457	0,532	0,612	0,661	0,780	70	0,195	0,232	0,274	0,302	0,380
13	0,441	0,514	0,592	0,641	0,760	80	0,183	0,217	0,256	0,283	0,357
14	0,426	0,497	0,574	0,623	0,742	90	0,173	0,205	0,242	0,267	0,337
15	0,412	0,482	0,558	0,606	0,725	100	0,164	0,195	0,230	0,254	0,321
16	0,400	0,468	0,543	0,590	0,708						

Критические значения t -критерия

Число степеней свободы f	Уровни значимости α			Число степеней свободы f	Уровни значимости α		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
1	6,31	12,7	63,66	16	1,75	2,12	2,92
2	2,92	4,30	9,93	17	1,74	2,11	2,90
3	2,35	3,18	5,84	18	1,73	2,10	2,88
4	2,13	2,78	4,60	19	1,73	2,09	2,86
5	2,02	2,57	4,03	20	1,73	2,08	2,85
6	1,94	2,45	3,71	21	1,72	2,08	2,83
7	1,90	2,37	3,50	22	1,72	2,07	2,82
8	1,86	2,31	3,36	23	1,71	2,07	2,81
9	1,83	2,26	3,25	24	1,71	2,06	2,80
10	1,81	2,23	3,17	25	1,71	2,06	2,79
11	1,80	2,20	3,11	26	1,71	2,06	2,78
12	1,78	2,18	3,06	27	1,70	2,05	2,77
13	1,77	2,16	3,01	28	1,70	2,05	2,76
14	1,76	2,15	2,98	29	1,70	2,05	2,76
15	1,75	2,13	2,95	30	1,70	2,04	2,75
				∞	1,64	1,96	2,58

Приложение Л

Сертификат соответствия семян пшеницы

		СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «РОССЕЛЬХОЗЦЕНТР»																												
Зарегистрирована в Едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации																														
рег. № РОСС RU.V934.04ШР01 от «07» июня 2012 г.																														
Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Тюменской области																														
Регистрационный номер Росс RU ДС1.5.1.072																														
<h2 style="margin: 0;">СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ</h2>																														
№ РСЦ 072 072 E1 0597-16																														
Срок действия с	23 марта 2016 года	по 07 июля 2016 года																												
Срок продлен до																														
Срок продлен до																														
Срок продлен до																														
Срок продлен до																														
Объект	Семена пшеницы яровой мягкой сорт Новосибирская 31, категория – элитные семена (элита) год урожая - 2015, партия № 23, размером 60 (шестьдесят) тонн	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>9</td><td>7</td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Код ОК 005 (ОКП)</td> </tr> <tr> <td>9</td><td>2</td><td>5</td><td>3</td><td>3</td><td>6</td><td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Код объекта</td> </tr> </table>	9	7		1	2	3	2	Код ОК 005 (ОКП)							9	2	5	3	3	6	1	Код объекта						
9	7		1	2	3	2																								
Код ОК 005 (ОКП)																														
9	2	5	3	3	6	1																								
Код объекта																														
Соответствует требованиям	ГОСТ Р 52325–2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества» для элитных семян на семенные цели (ЭС)																													
Производитель (Продавец)	АО ПЗ «Учхоз ГАУ Северного Зауралья» Тюменская область, г. Тюмень, п. Роцино, ул. Гагарина, 2																													
Продавец –	АО ПЗ «Учхоз ГАУ Северного Зауралья»																													
Сертификат выдан	АО ПЗ «Учхоз ГАУ Северного Зауралья» Тюменская область, г. Тюмень, п. Роцино, ул. Гагарина, 2																													
телефон	8(3452) 767-315																													
 Руководитель органа по сертификации	 А.А. Петрачук (инициалы, фамилия)	ОСТАТОК 10 тн																												
ДС № 190202																														

Продолжение приложения Л

Дополнительная информация:

Сертификат выдан на основании акт апробации ДС №00013577, выданного филиалом ФГБУ «Россельхозцентр» по Тюменской области и протокол испытания № РСЦ 072 072 04 0025-16 от 07.03.2016 года

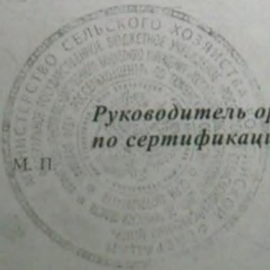
Испытания проведены в испытательной лаборатории Тюменского районного отдела филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Тюменской области Росс RU ДС1.6.1.072

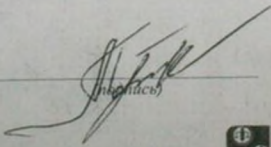
Результаты испытаний

1. Сортная (видовая) чистота – 99,9%	9. Жизнеспособность _____ %
2. Чистота - 99,88%	Метод определения _____
3. Семян других растений – 3 (шт/кг)	10. Влажность - 13,6%
4. Семян других видов кормовых трав - %	11. Масса 1000 семян - 38,3г.
5. Семян других культурных растений - (шт/кг)	12. Зараженность болезнями:
6. Семян сорных растений – 3 (шт/кг) в том числе наиболее вредных сорняков (для кормовых трав, шт/кг) _____	головневых образований – н/о
7. Энергия прорастания - 62 %	склероции спорыньи – н/о
8. Всхожесть - 89% в том числе твердых _____ %	галлы пшеничной нематоды – н/о
Условия проращивания	13. Заселенность вредителями – н/о
t 5-10;20 за 10 суток НП; Т	


Ботанический состав семян других видов:
 Семян других культурных растений: н/о
 Семян сорных растений: овсюг – н/о, горец вьющийся – 3 (шт/кг)
 Другие определения:
 Данные фитоанализа: альтернариоз – 15,0%, гельминтоспориоз – 1,0%, плесень – 2,0%

Дата окончания анализа семян на всхожесть 07.03.2016 г.
 Отбор проб произведен от насыпи.
 К показателю всхожести семян применении пункт 4.1.7 ГОСТ Р 52325-2005.

 **Руководитель органа по сертификации**

 _____
(подпись)

А.А.Петрачук
(инициалы, фамилия)

 СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНЫХ СЕРТИФИКАЦИЙ
Подпись _____
23.03.2016

Приложение М

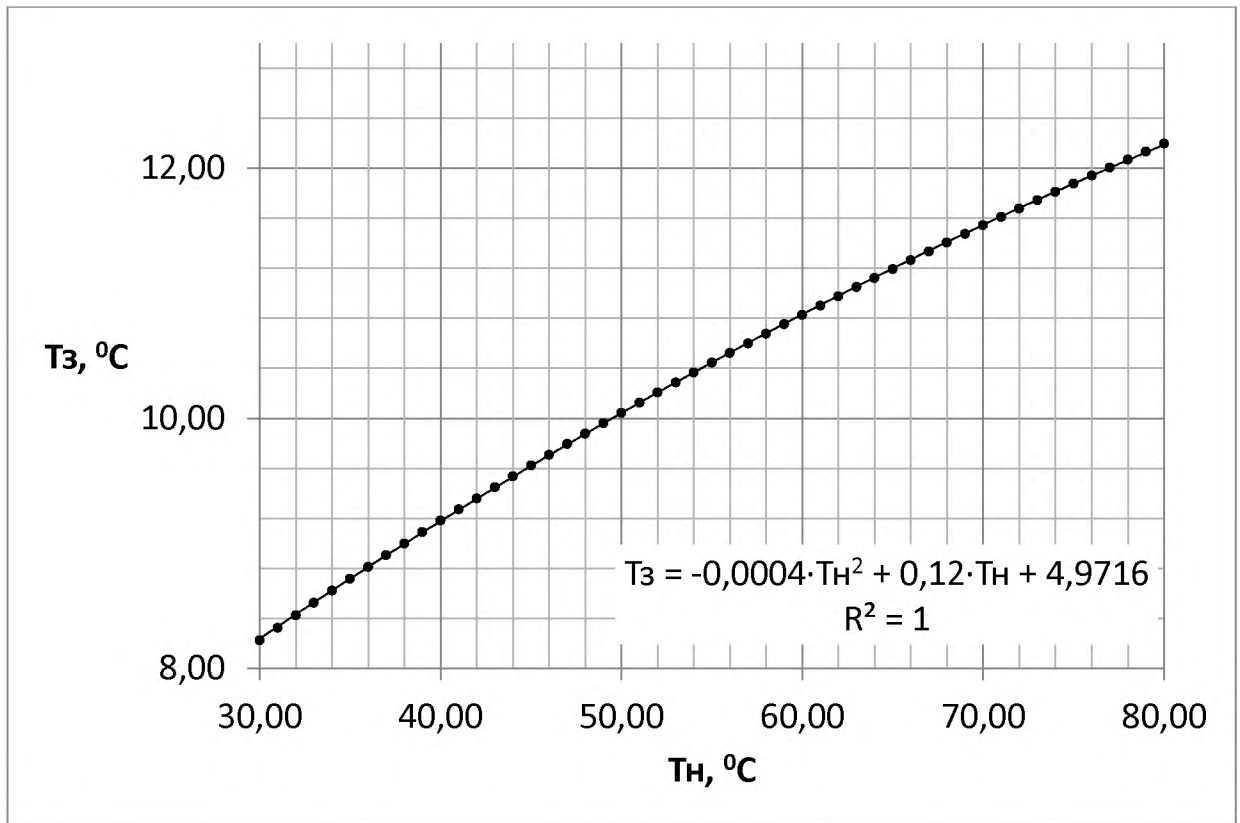
Зависимости выходных параметров u_i при варьировании входных

Рисунок 1 – Зависимость температуры зерновки от температуры агента нагрева

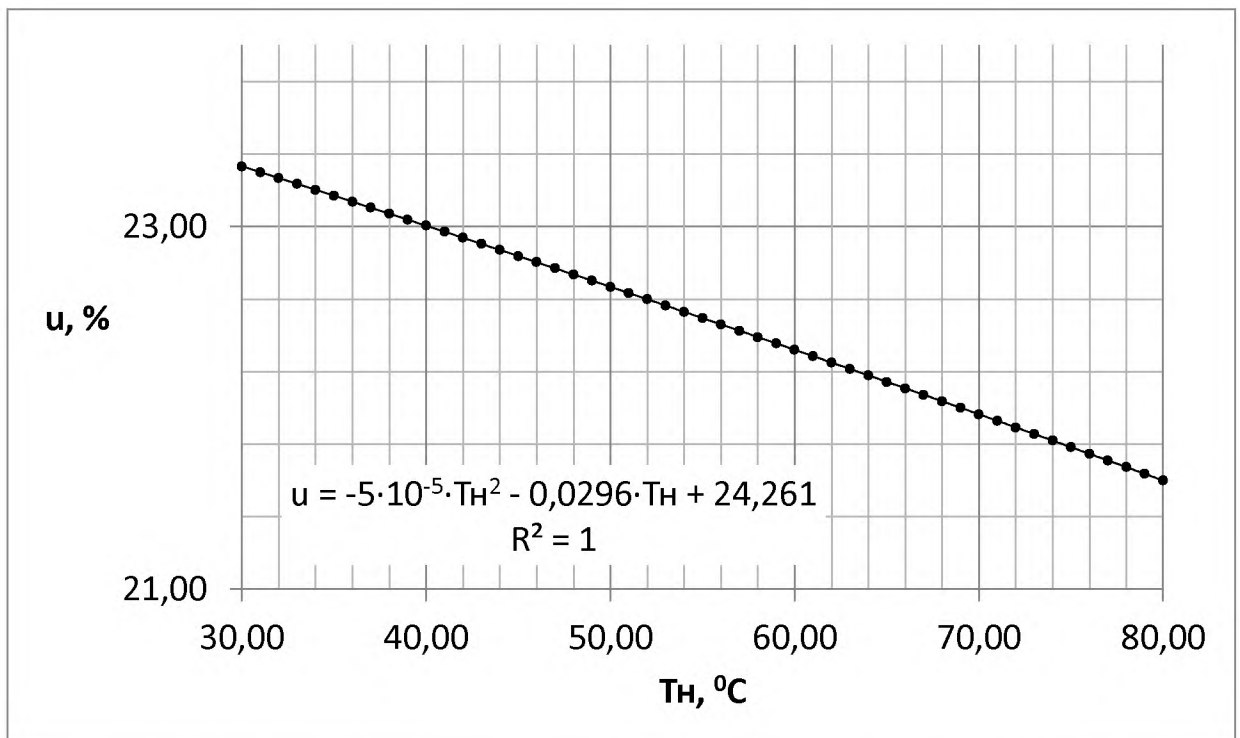


Рисунок 2 – Зависимость влажности зерновки от температуры агента нагрева

Продолжение приложения М

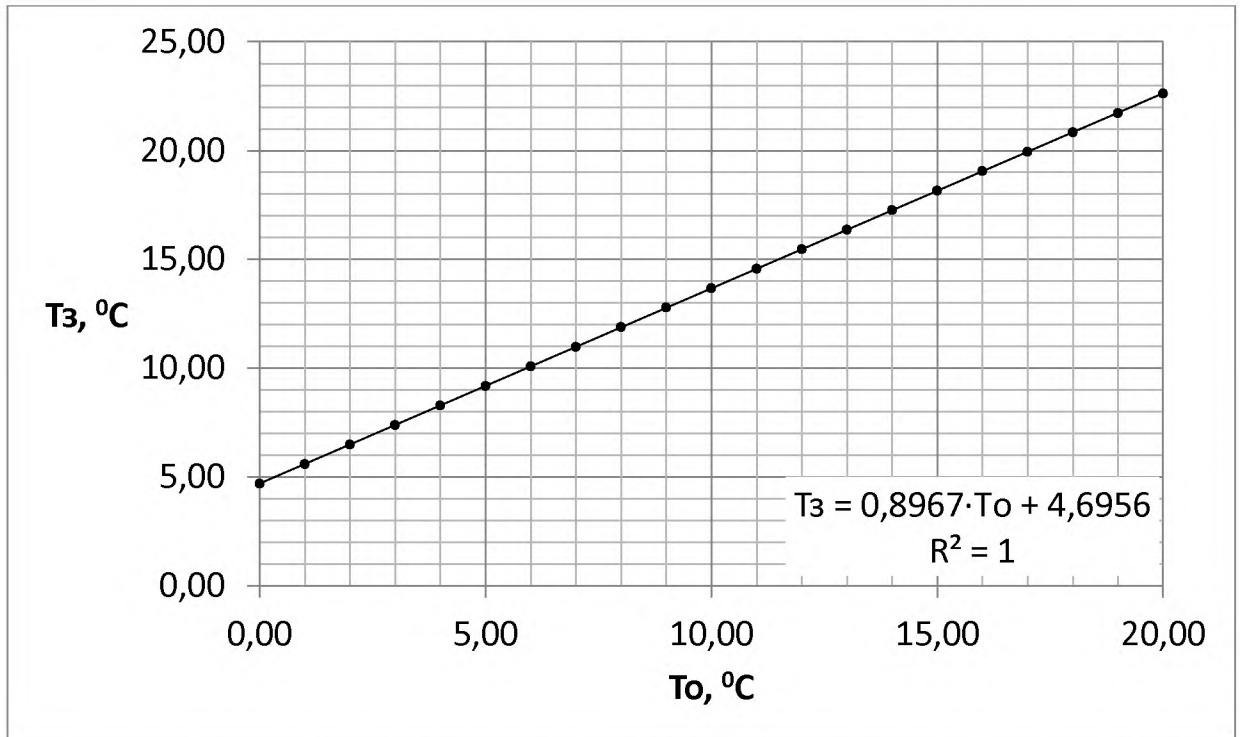


Рисунок 3 – Зависимость температуры зерновки от температуры агента охлаждения

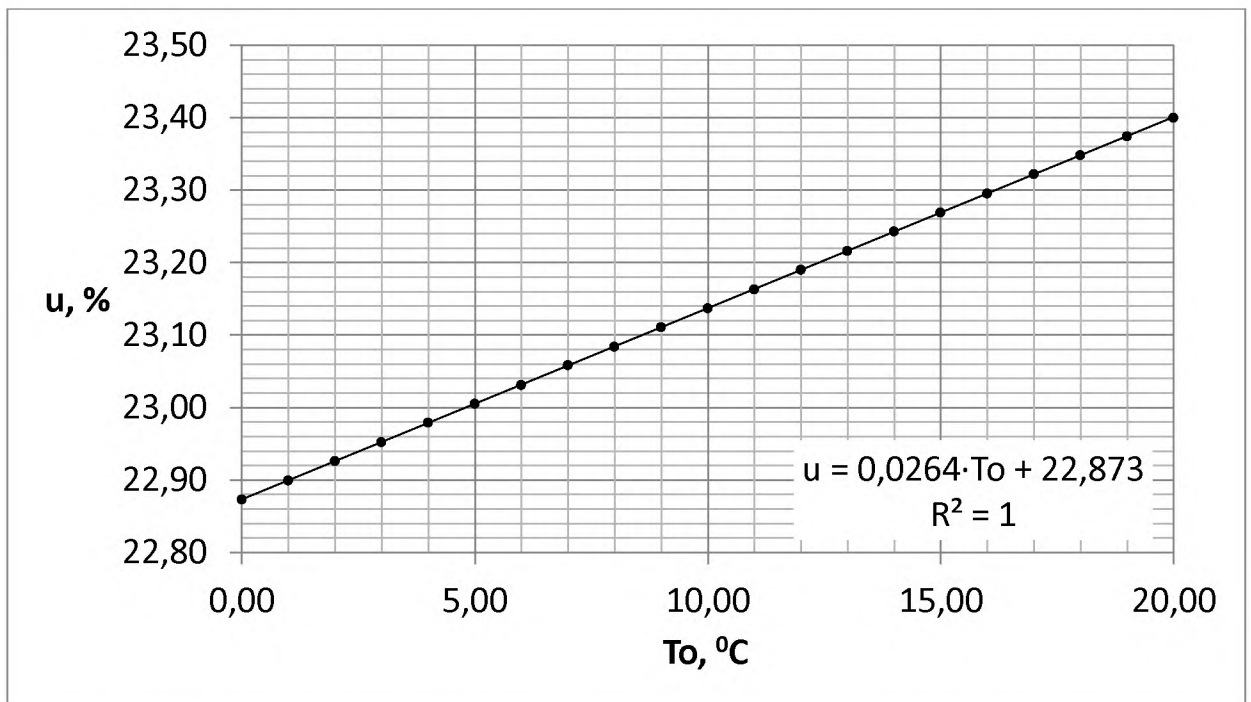


Рисунок 4 – Зависимость влажности зерновки от температуры агента охлаждения

Продолжение приложения М

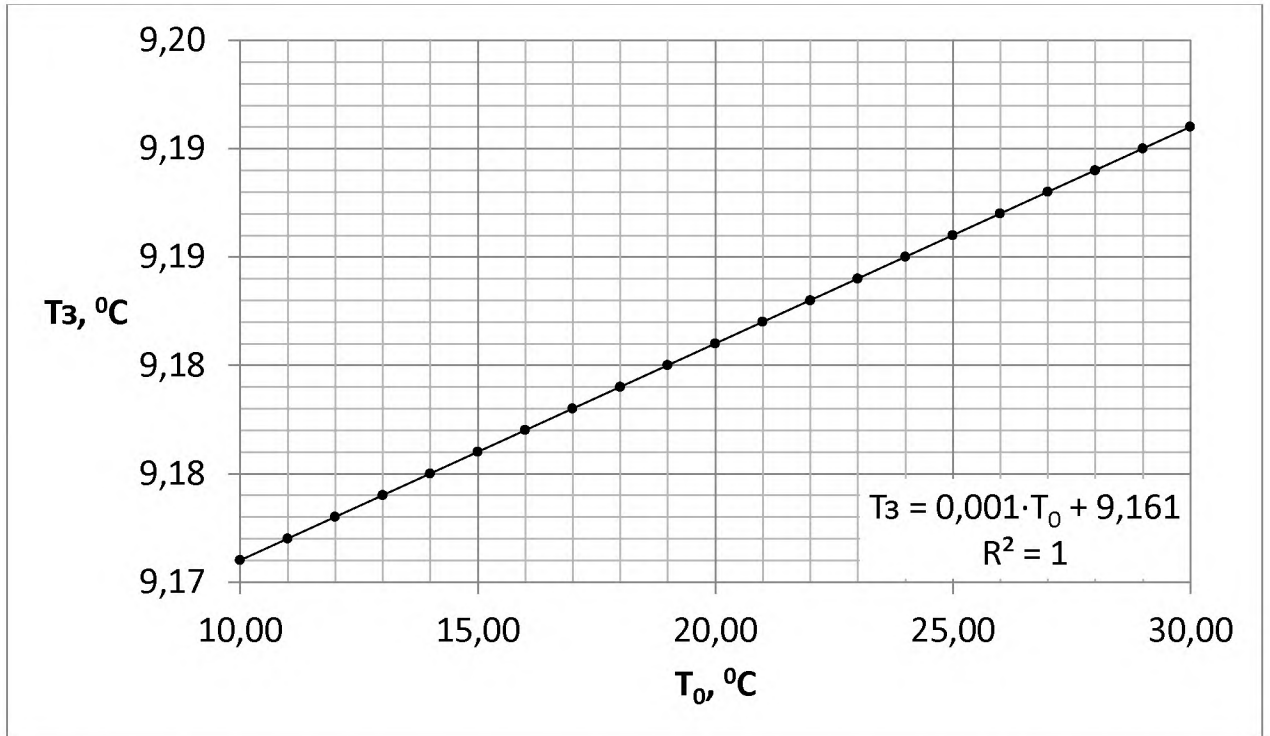


Рисунок 5 – Зависимость температуры зерновки от начальной температуры материала

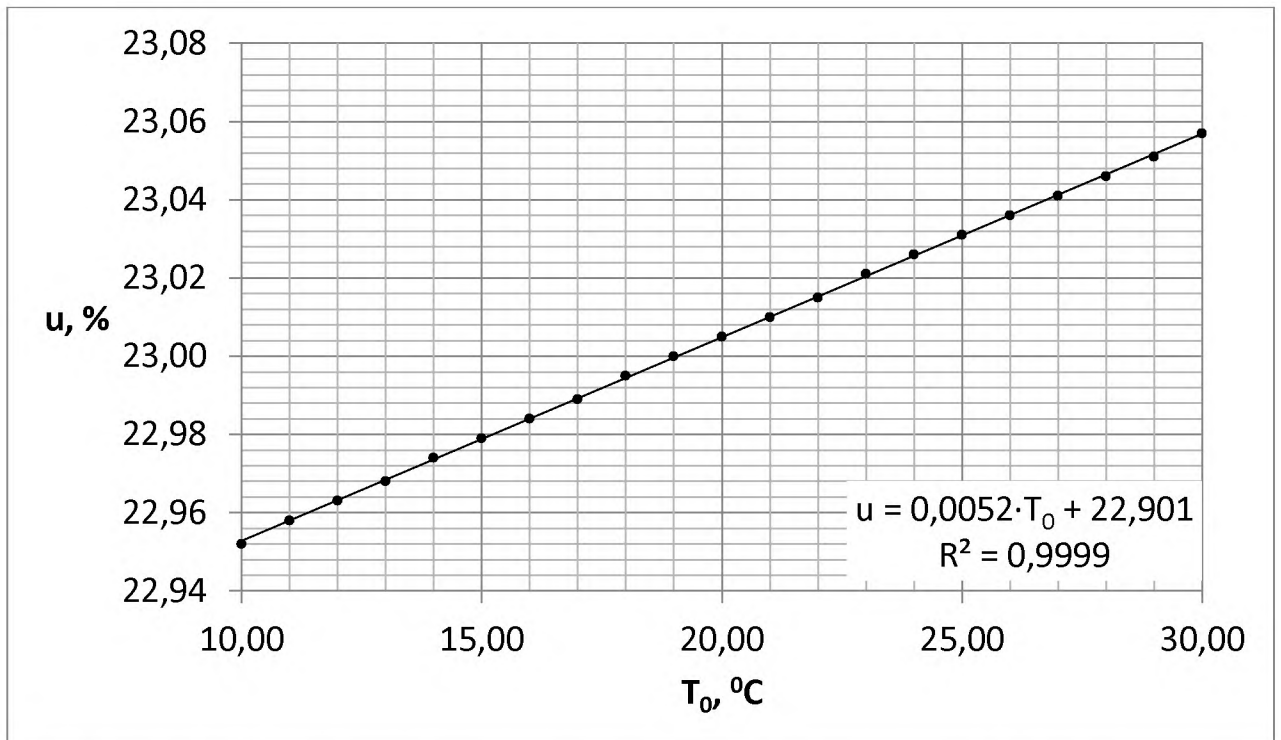


Рисунок 6 – Зависимость влажности зерновки от начальной температуры материала

Продолжение приложения М

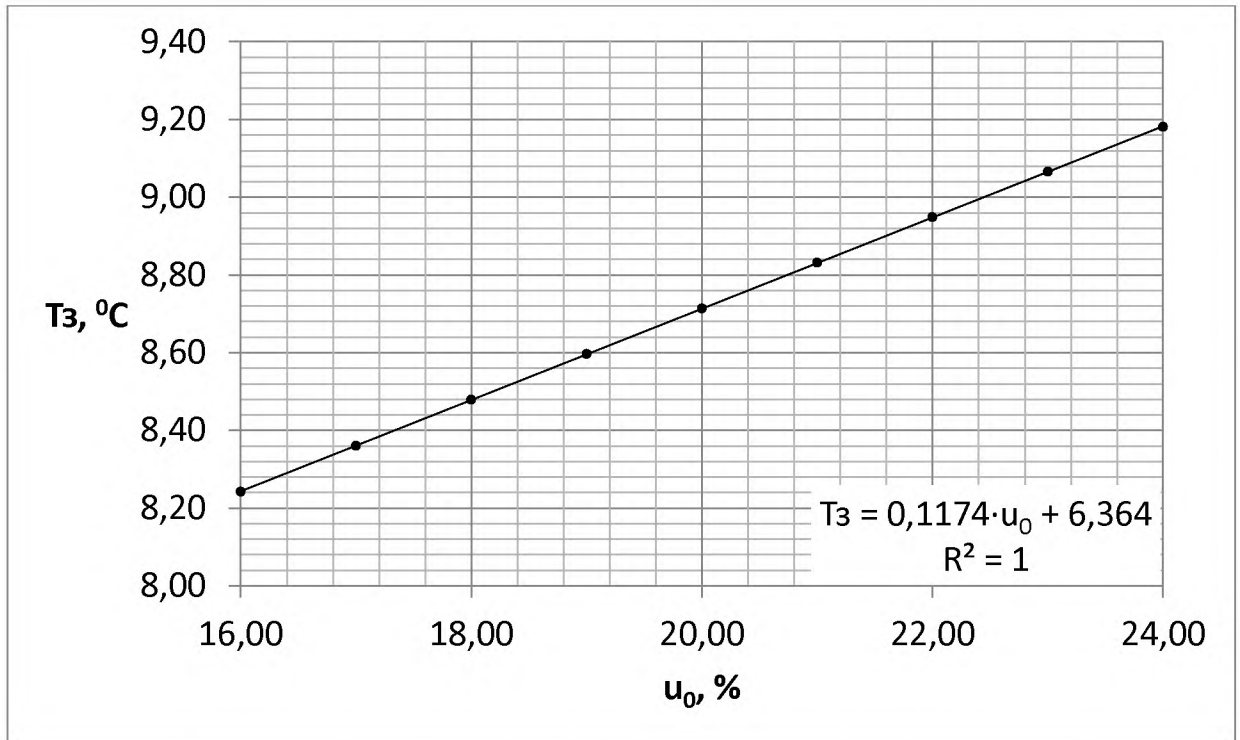


Рисунок 7 – Зависимость температуры зерновки от начальной влажности материала

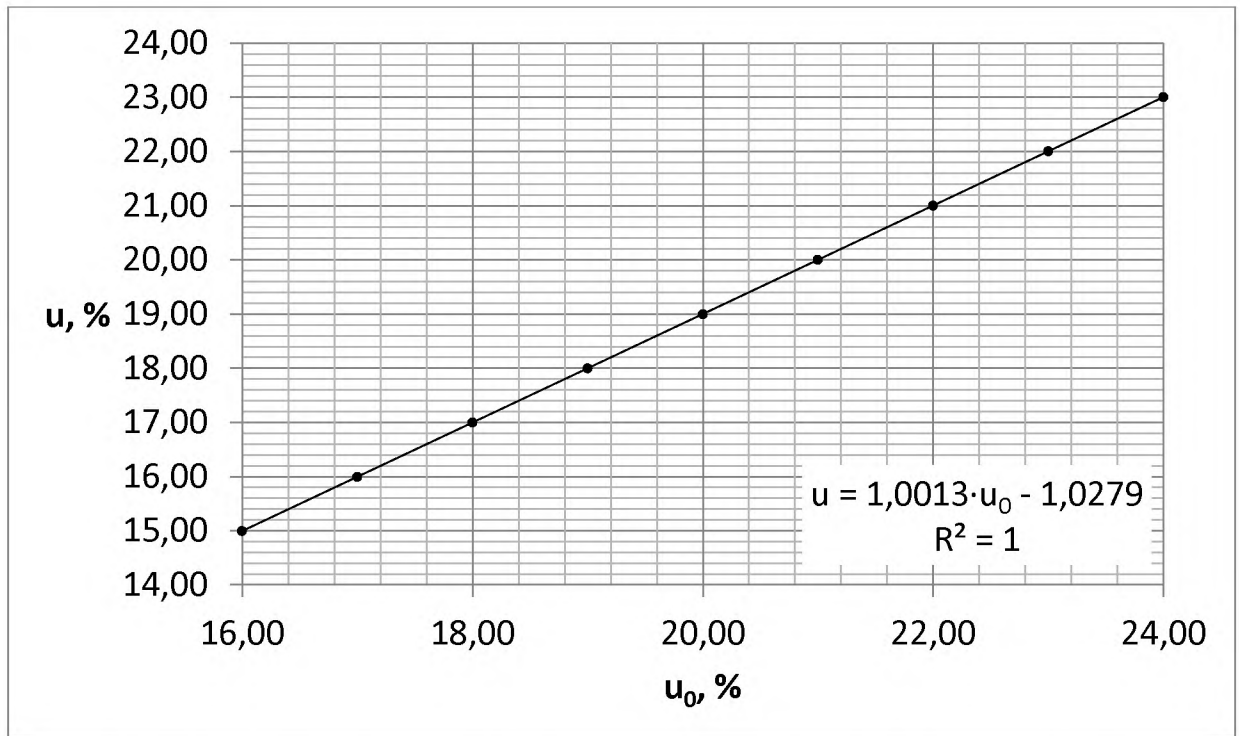


Рисунок 8 – Зависимость влажности зерновки от начальной влажности материала

Продолжение приложения М

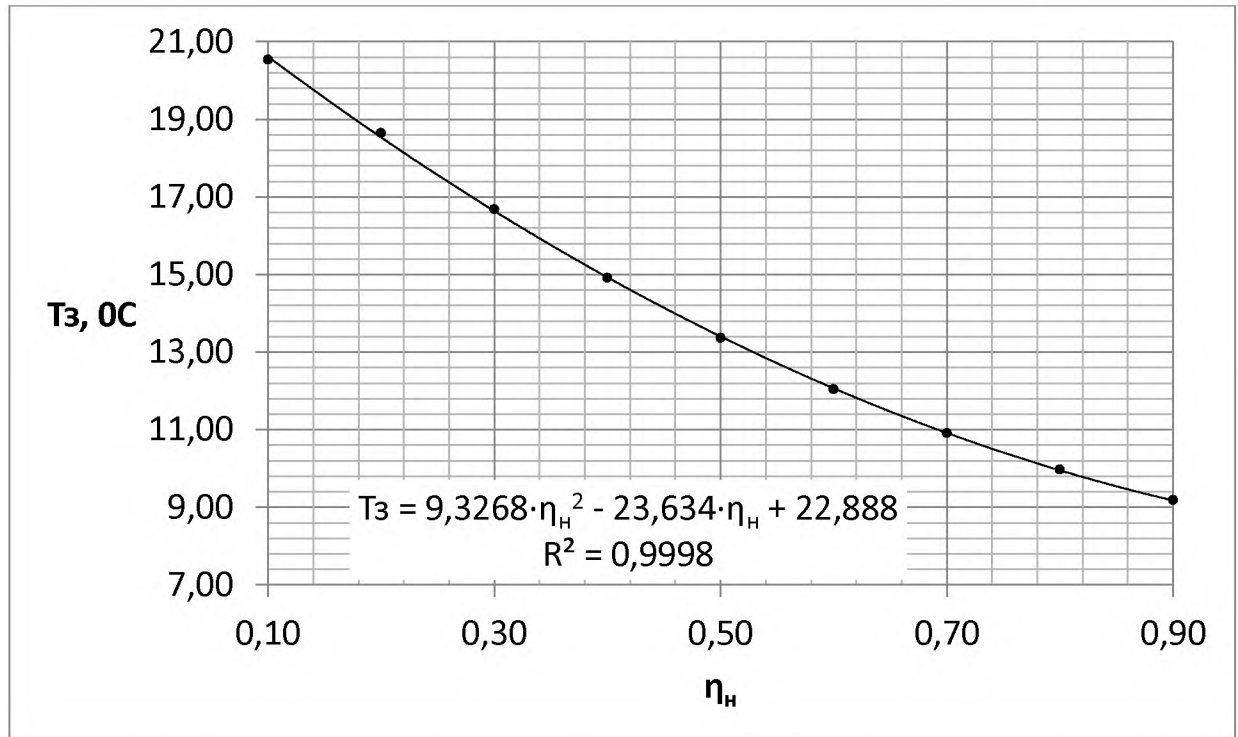


Рисунок 9 – Зависимость температуры зерновки от коэффициента нагрева (КПД нагрева)

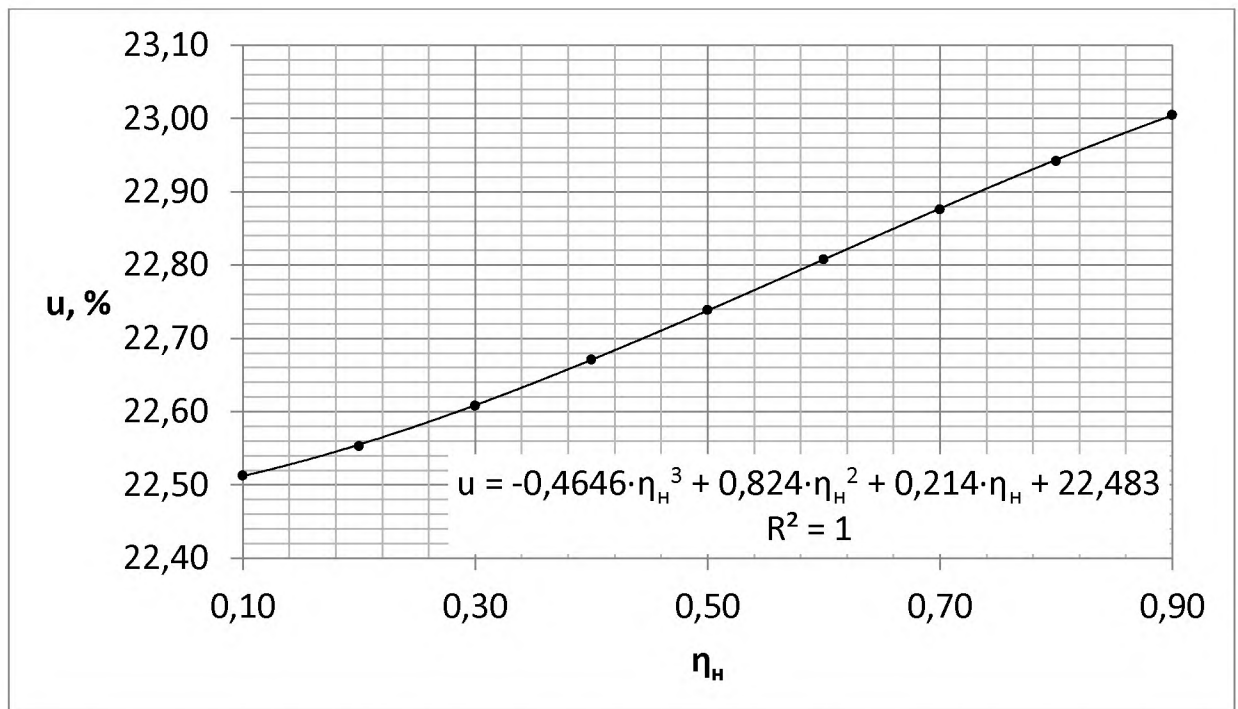


Рисунок 10 – Зависимость влажности зерновки от коэффициента нагрева (КПД нагрева)

Продолжение приложения М

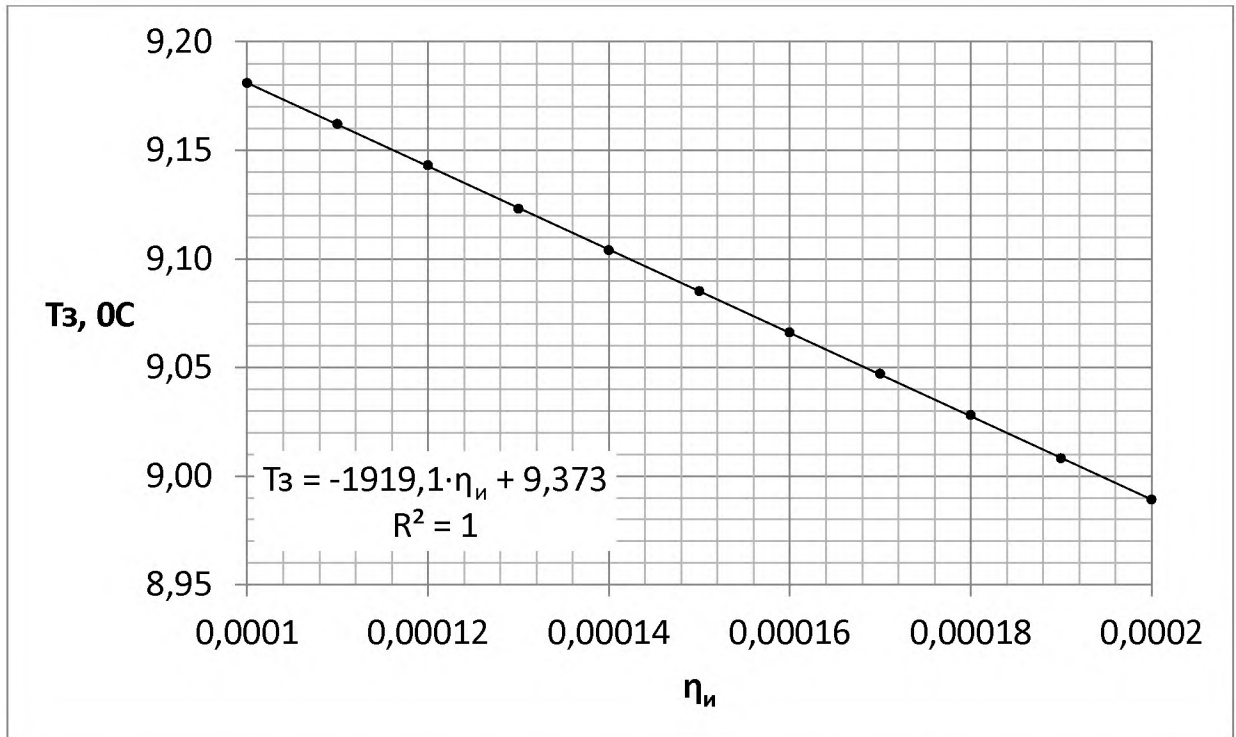


Рисунок 11 – Зависимость температуры зерновки от коэффициента испарения (КПД испарения)

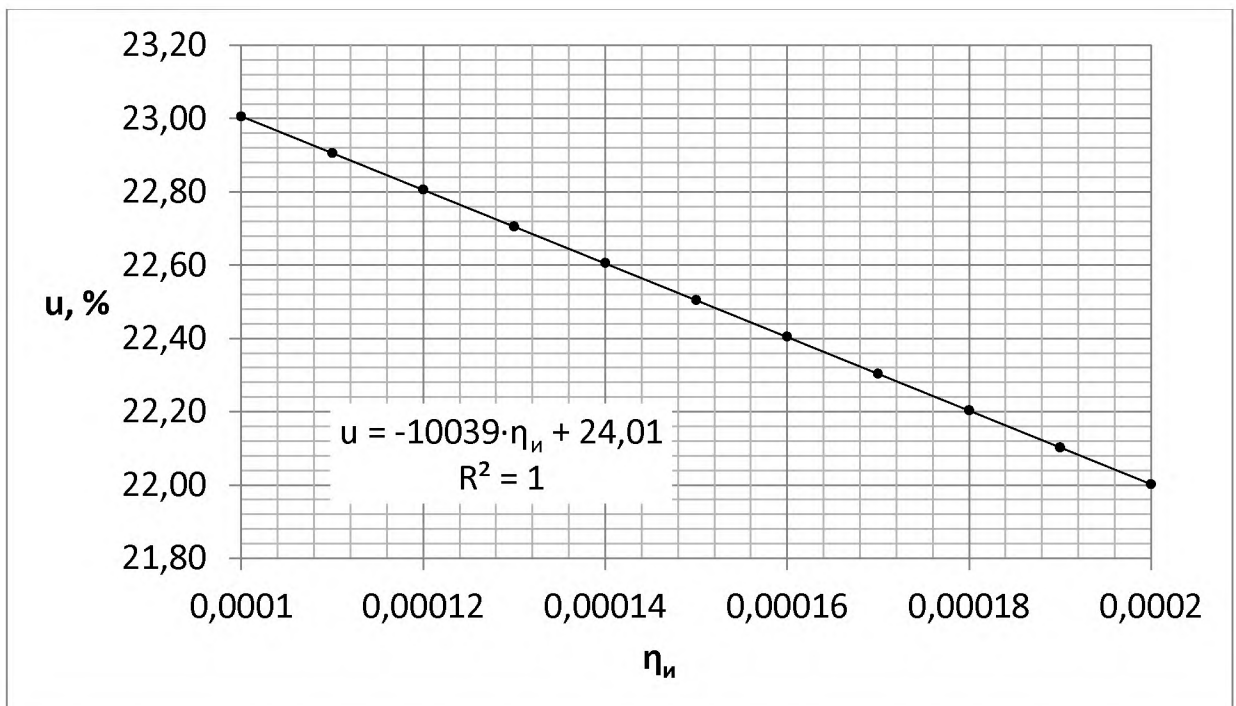


Рисунок 12 – Зависимость влажности зерновки от коэффициента испарения (КПД испарения)

Приложение Н

Результаты определения влажности проб зерна

Проб а	Влажность, %										
	электровлагомер Wile 55					«Звуковой сканер»					по ГОСТ 13586.5-93
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	23,5	23,5	23,7	-	-	23,6	23,5	23,6	-	-	23,58
0	27,5	27,6	27,3	-	-	27,4	27,5	27,5	-	-	27,45
0	19,7	19,5	19,2	-	-	19,5	19,5	19,4	-	-	19,5
1	24,8	25,3	24,8	25,4	25,4	25,1	24,9	25	25	25	24,97
2	14,9	15,5	14,7	15,6	14,6	15,2	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
3	21,1	21,1	20,2	20,6	20,8	20,8	20,6	20,7	20,7	20,7	20,69
4	15,6	15,6	15,2	15,7	15,4	15,3	15,5	15,3	15,5	15,5	15,42
5	17,7	17,3	17,6	17,5	17,7	17,7	17,7	17,6	17,7	17,8	17,74
6	23,2	22,8	23,3	22,5	23,3	22,7	22,9	22,8	22,9	22,8	22,83
7	25,1	25,7	25,3	25	25,5	25,4	25,5	25,4	25,4	25,4	25,45
8	22,7	23,3	23	22,8	23	23,1	23,2	23	23,1	23	23,08
9	17,8	18,1	17,7	17,9	18,5	18,1	18,1	18,2	18	18,2	18,14
10	22,7	23,1	22,6	23,3	23,3	23	23,1	22,9	23	23,1	23
11	23,2	23,8	22,9	22,9	23	23,4	23,3	23,2	23,3	23,3	23,33
12	19,2	18,7	18,9	19,3	18,7	19	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
13	25,9	26,4	25,7	25,8	26,4	25,8	25,9	26	26	26	25,94
14	25,1	25,3	25,1	25,4	25,4	25	25,2	25,2	25,1	25,1	25,11
15	24,7	24,4	24,6	24,8	24,6	24,8	24,6	24,8	24,7	24,6	24,69
16	16,7	16,2	15,9	16,2	16,5	16,4	16,5	16,4	16,4	16,3	16,39
17	13,6	13,4	13,9	13,5	13,1	13,5	13,7	13,7	13,6	13,7	13,61
18	15,2	15,2	15,7	15,8	15,3	15,4	15,4	15,3	15,3	15,4	15,35
19	24,6	25	24,2	24,7	24,7	24,5	24,4	24,5	24,6	24,5	24,51
20	17	17	17,4	16,7	16,4	16,9	17	17	16,8	17	16,92
21	14,4	14,6	15,3	15,1	14,9	14,8	15	14,8	14,8	15	14,86
22	20	19,7	19,7	20	20	19,7	19,6	19,6	19,6	19,7	19,6
23	25,2	26,1	25,9	26,1	25,3	25,7	25,7	25,5	25,6	25,7	25,61
24	24,5	24,7	25,2	24,9	25,3	24,9	24,9	24,9	24,9	24,8	24,89
25	15	15,2	14,7	15,1	14,3	14,6	14,7	14,8	14,7	14,8	14,65
26	13,8	13,6	13	13,8	13,1	13,4	13,5	13,4	13,6	13,4	13,48
27	21,6	21	21,3	22	22	21,5	21,6	21,5	21,6	21,6	21,52
28	14,7	14,8	15	15,2	14,7	15,1	15	15,1	14,9	15	14,96
29	20,7	21,1	21,3	21	21,2	21	20,9	20,9	20,8	20,9	20,88
30	15,9	15,9	15,3	16,1	15,3	15,6	15,6	15,6	15,6	15,7	15,66
31	20,7	19,9	20,4	20,2	19,8	20,1	20,1	20,1	20,3	20,1	20,15
32	12,7	13,5	13,6	13,6	13,4	13	13,2	13	13,2	13,2	13,14
33	13,5	14,3	13,3	14,1	13,3	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,81
34	15,6	15,8	14,9	14,9	15,5	15,4	15,4	15,4	15,3	15,5	15,37
35	13,8	13,8	14,1	13,8	14,3	13,7	13,8	13,8	13,8	13,7	13,75
36	15,9	16	15,8	15,8	16,1	15,7	15,5	15,7	15,6	15,7	15,64
37	18,1	17,2	17,2	18,1	17,7	17,7	17,7	17,6	17,6	17,6	17,6
38	21,4	21,2	21,6	21,8	22,1	21,7	21,7	21,7	21,6	21,6	21,68

Продолжение приложения И

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
39	24,3	24,4	24,2	25	24,5	24,4	24,5	24,6	24,5	24,4	24,46
40	15,4	15,1	15,1	15	15	15,5	15,4	15,3	15,5	15,5	15,41
41	15,7	15,5	15,6	15,7	15	15,4	15,4	15,6	15,5	15,5	15,45
42	24,1	24,2	24,2	24,4	23,9	24,1	24	24	24	24	24,08
43	13,3	13,3	13,5	13,9	13,4	13,4	13,6	13,5	13,5	13,6	13,54
44	17,7	17,6	17,7	17,2	17,1	17,7	17,6	17,6	17,6	17,5	17,57
45	15,7	15,2	15,2	15,7	15,7	15,4	15,3	15,3	15,5	15,4	15,4
46	17,3	16,8	16,8	16,8	16,5	16,7	16,9	16,7	16,9	16,9	16,81
47	15,6	15,3	15,8	16,1	15,8	15,7	15,6	15,8	15,6	15,8	15,74
48	24,4	24,6	23,8	24,8	24,8	24,3	24,2	24,4	24,4	24,4	24,29
49	13,3	13,5	13,4	12,9	13,2	13	13	13	13	13	13
50	20,4	21,3	20,6	21,3	21,3	20,8	20,9	20,9	20,8	20,8	20,81
51	22,6	23	23,1	23,1	22,5	22,6	22,7	22,7	22,6	22,6	22,64
52	18,2	19	18,8	18	18	18,5	18,6	18,4	18,4	18,5	18,45
53	26,6	26,7	26,8	26,3	26,9	26,7	26,8	26,7	26,7	26,8	26,76
54	23,2	23,3	23,5	23,8	24	23,6	23,6	23,5	23,6	23,6	23,51
55	21	20,2	20,2	20,7	21	20,5	20,6	20,4	20,6	20,5	20,45
56	16,5	16,6	16,3	16,4	15,8	16,2	16,2	16,3	16,1	16,1	16,2
57	14,4	14,6	14,3	14,5	14,8	14,7	14,7	14,8	14,8	14,7	14,77
58	17,7	17,3	17,9	17,3	17,3	17,5	17,4	17,4	17,5	17,3	17,44
59	24	24,6	24,9	24,9	24,8	24,4	24,4	24,5	24,4	24,4	24,35
60	20,1	20,4	20,5	20,2	20,3	20,3	20,4	20,4	20,4	20,5	20,35
61	16,3	16,4	16,6	16,8	16,7	16,7	16,5	16,6	16,5	16,7	16,58
62	17,3	17,1	17,8	17,6	16,9	17,2	17,4	17,3	17,2	17,4	17,31
63	26,9	26,1	26,8	27,1	26,2	26,7	26,6	26,5	26,5	26,7	26,6
64	16,3	16,4	16	15,6	15,8	16,1	16,2	16,2	16,1	16,2	16,13
65	17,6	17,4	17,8	17,7	17,6	17,9	18	18	17,8	17,9	17,93
66	21	20	21	20,7	20,1	20,4	20,6	20,5	20,6	20,6	20,54
67	26,4	26,6	26,9	26,3	26,4	26,5	26,7	26,5	26,7	26,6	26,61
68	17,6	18	17,9	17,9	18,5	18,1	18	18	18	18	18,01
69	21,1	21,1	20,1	20,3	21	20,5	20,5	20,6	20,7	20,6	20,63
70	21,1	21	20,8	21,1	21,5	21,2	21,4	21,4	21,2	21,3	21,27
71	26	25,3	25,8	26,3	26,2	25,7	25,7	25,9	25,7	25,7	25,76
72	13,7	13,2	13,2	12,9	13,6	13,2	13,2	13,1	13,3	13,1	13,19
73	26,9	26,6	26,7	26,5	26,4	26,5	26,6	26,6	26,5	26,5	26,56
74	17	17,3	16,5	16,7	16,4	16,9	17	17	17	16,8	16,89
75	18,1	18,6	17,8	17,9	18,6	18,2	18,2	18,3	18,3	18,4	18,27
76	19,8	20	19,8	19,4	20,3	19,8	19,8	19,9	19,7	19,8	19,78
77	20,1	19,9	19,9	20,1	19,7	19,9	20	20,1	19,9	20	20,03
78	21,1	21	21,3	21,3	21,8	21,5	21,3	21,4	21,4	21,4	21,44
79	15,6	15,3	15,2	15,4	16	15,5	15,5	15,6	15,6	15,5	15,55
80	22,5	21,8	22,5	22	22,1	22,1	22	22,1	22,1	22,2	22,1
81	14	14,7	14,2	14,6	13,8	14,3	14,2	14,2	14,2	14,4	14,28
82	26,2	25,6	25,4	26,2	25,4	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,83
83	18,2	18,6	18,5	18,3	18,4	18,6	18,6	18,7	18,7	18,5	18,56
84	23,4	23,4	24,2	24,1	24	23,7	23,6	23,7	23,6	23,6	23,65

Продолжение приложения И

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
85	15,6	15,1	15,3	15,5	14,9	15,2	15,2	15,2	15,3	15,2	15,23
86	15,4	15,3	15,9	15,7	16	15,8	15,8	15,7	15,8	15,7	15,7
87	15,1	15,8	15,9	15,2	15,4	15,6	15,6	15,5	15,6	15,6	15,58
88	23	22,9	22,8	22,9	22,7	23,1	22,9	23,1	23,1	23,1	23,04
89	21,9	21,5	21,4	21,2	22,1	21,5	21,7	21,7	21,5	21,5	21,6
90	18,9	18,7	18,2	18,9	18,8	18,4	18,4	18,4	18,4	18,3	18,42
91	15,3	15,3	14,5	15,2	14,7	15,1	14,9	15	15	14,9	14,95
92	26,2	26,2	25,9	26,7	26,8	26,4	26,4	26,3	26,3	26,4	26,38
93	17,5	17,5	17,7	17,2	17	17,4	17,3	17,4	17,4	17,3	17,31
94	18	18,4	18	18	17,8	18,2	18,1	18,1	18,1	18,1	18,17
95	25,8	26,1	26,4	26,5	26,1	26,2	26,1	26	26,1	26,2	26,05
96	21,3	21,4	21,2	22	21,9	21,5	21,4	21,4	21,5	21,6	21,5
97	16,6	16,5	16,2	16,8	16,6	16,8	16,6	16,7	16,8	16,7	16,71
98	26,1	26,3	26,2	26,6	26,4	26,1	26,1	26	26	26,1	26,05
99	14,4	14	14,5	14,6	13,8	14,2	14,1	14,2	14,1	14,2	14,14
100	22,8	22,7	22,7	21,9	22,5	22,4	22,4	22,3	22,3	22,4	22,36
101	14,8	15,1	14,8	14,8	14,5	14,8	14,8	14,9	14,8	14,8	14,75
102	14,5	14,3	14,5	14,2	14,1	14,1	14,2	14,1	14,2	14,2	14,12
103	14	14,2	13,8	14,4	14,3	14,2	14,2	14,4	14,4	14,3	14,29
104	25,7	25,6	25,8	25,4	25,4	25,6	25,8	25,8	25,7	25,6	25,74
105	24,8	23,9	24,9	24,1	24,8	24,5	24,4	24,4	24,4	24,3	24,38
106	23,7	24	23,7	24	24,2	24,1	24,1	24	24	23,9	23,97
107	16,5	15,6	15,8	16,2	15,6	16	16	16	16	16	16,03
108	16,8	17,1	17,3	16,8	17,4	17,1	17,1	17,1	17,3	17,2	17,19
109	13	13,3	13,4	13,2	13,5	13,4	13,4	13,4	13,3	13,3	13,38
110	15,5	14,7	15,3	15,2	15,2	15,1	15,2	15,2	15,3	15,1	15,17
111	16	15,9	16	16,5	16,5	16,5	16,5	16,3	16,5	16,3	16,41
112	15,7	16,1	15,6	16,3	15,7	15,9	15,9	15,9	15,8	15,9	15,83
113	21,8	22,4	22,6	21,6	22,5	22	22,1	22	22,1	22,2	22,08
114	22,9	23,1	22,9	22,5	22,3	22,7	22,8	22,6	22,7	22,7	22,68
115	25,9	26	26,3	26,8	26,8	26,4	26,4	26,3	26,2	26,4	26,3
116	24,1	23,9	24,3	24	24,6	24,4	24,4	24,2	24,4	24,3	24,34
117	24,1	24,1	24	24,5	24,1	24,3	24,2	24,3	24,3	24,3	24,23
118	25,7	25,1	25,1	25,6	25,7	25,6	25,5	25,4	25,5	25,4	25,51
119	15,4	15,6	15,8	15,5	15	15,3	15,4	15,4	15,4	15,3	15,3
120	17,1	17	16,5	16,7	17,1	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,88
121	24,4	24,9	24,6	24,4	25,4	24,8	25	24,9	24,8	25	24,88
122	18,8	19,4	18,7	18,5	19	18,9	19	19,1	18,9	19	18,99
123	15,4	15,6	15,4	15,3	15,8	15,6	15,7	15,7	15,7	15,7	15,64
124	26,5	26,4	26,5	26,8	26,6	27	26,9	26,9	27	27	26,85
125	17,8	16,9	17,1	17,6	17,4	17,3	17,4	17,2	17,3	17,4	17,32
126	16,4	16,3	16,9	16,3	16,2	16,7	16,6	16,7	16,7	16,7	16,65
127	17,9	17,7	17,2	17,7	17,6	17,4	17,3	17,4	17,4	17,4	17,4
128	17	17	16,5	16,5	16,7	16,5	16,4	16,5	16,5	16,6	16,52
129	24,4	24,5	24,2	24,3	24,8	24,7	24,6	24,7	24,8	24,6	24,67
130	22,7	22,4	22,6	22,4	23	22,4	22,5	22,6	22,6	22,5	22,54

Продолжение приложения Н

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
131	16,8	16,6	17,1	17,2	17,1	16,7	16,8	16,7	16,7	16,8	16,73
132	22,9	23	23,3	23,6	22,9	23,4	23,3	23,3	23,3	23,4	23,38
133	23	22,5	23,3	22,5	23,3	22,9	22,9	23	22,9	22,8	22,92
134	14,3	14,4	14,7	14,7	14,7	14,7	14,9	14,8	14,8	14,7	14,75
135	17,3	17,4	17,7	18,1	18,1	17,5	17,6	17,7	17,5	17,5	17,61
136	23,2	23,2	23,2	23	23,1	22,9	22,7	22,7	22,8	22,7	22,78
137	23,6	22,9	22,7	23,3	23,6	23,2	23,2	23,1	23,1	23,2	23,14
138	17,6	18,2	18,3	17,7	18,3	17,8	18	17,8	17,9	17,9	17,89
139	14	14,4	14,5	14,4	14,4	14,3	14,4	14,4	14,3	14,3	14,3
140	13,3	13,9	13,6	13,9	13,5	13,8	13,9	13,7	13,8	13,8	13,83

Приложение О

Патент РФ на полезную модель № RU 152 192 U1



Продолжение приложения О

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **152 192** (13) **U1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[F26B 9/06 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

<p>(21)(22) Заявка: 2014139456/06, 29.09.2014</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 29.09.2014</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 29.09.2014</p> <p>(45) Опубликовано: 10.05.2015 Бюл. № 13</p> <p>Адрес для переписки: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, ФГБОУ ВПО "Государственный аграрный университет Северного Зауралья"</p>	<p>(72) Автор(ы): Кизуров Анатолий Сергеевич (RU), Лапшин Игорь Петрович (RU), Якушев Иван Викторович (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный аграрный университет Северного Зауралья" (RU)</p>
--	---

(54) ЛАБОРАТОРНАЯ ЗЕРНОСУШИЛКА

(57) Реферат:

Полезная модель может использоваться в агропромышленном комплексе и специализированных лабораторных/исследовательских комплексах и направлена на определение теплофизических и влагопереносных свойств коллоидных и сыпучих тел (зерна сельскохозяйственных культур), апробация различных кинетик сушки и охлаждения. Это достигается тем, что лабораторная зерносушилка позволяет перемещать исследуемый материал из камеры нагрева в камеру охлаждения и наоборот, при этом температуры агентов в камерах регулируются независимо друг от друга благодаря теплонасосной установке. Полезную модель подобного типа можно использовать непосредственно в хозяйствах, занимающихся послеуборочной обработкой зерна, что позволит снизить затраты на сушку и повысить качественные показатели конечной продукции вследствие возможности «тонкой» подстройки параметров зерносушильной техники.

Продолжение приложения О
Патент РФ на полезную модель № RU 151 089 U1



Продолжение приложения О

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 151 089 (13) U1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
B02B 7/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

<p>(21)(22) Заявка: 2014137943/13, 18.09.2014</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 18.09.2014</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 18.09.2014</p> <p>(45) Опубликовано: 20.03.2015 Бюл. № 8</p> <p>Адрес для переписки: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, ФГБОУ ВПО "Государственный аграрный университет Северного Зауралья"</p>	<p>(72) Автор(ы): Бабаев Ильфат Харисович (RU), Кизуров Анатолий Сергеевич (RU), Костелова Светлана Владимировна (RU), Лапшин Игорь Петрович (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный аграрный университет Северного Зауралья" (RU)</p>
---	---

(54) ЗВУКОВОЙ СКАНЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

(57) Реферат:

Полезная модель относится к автоматизации сельскохозяйственного производства и направлена на определение параметров зерновых культур, поступающих на послеуборочную обработку и передача данных для задания параметров обработки. Это достигается тем, что звуковой сканер, состоящий из наклонной поверхности, устройств записи и обработки звука, определяет несколько параметров зерна, поступающего на послеуборочную обработку, и задает параметры его обработки. Применение данного устройства позволяет увеличить коэффициент использования сушилок, уменьшает расход топлива и электроэнергии, а также число обслуживающего персонала. Полезная модель может использоваться в агропромышленном комплексе для автоматизации процесса послеуборочной обработки зерна.

Продолжение приложения О
Свидетельство о регистрации программы ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014614300**«Grain Sound Scan»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» (RU)*

Авторы: *Бабаев Ильфат Харисович (RU), Кизуров Анатолий Сергеевич (RU), Костелова Светлана Владимировна (RU), Лапшин Игорь Петрович (RU), Пиджаков Святослав Игоревич (RU)*

Заявка № 2014612022

Дата поступления 12 марта 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 22 апреля 2014 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

Продолжение приложения О

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2014614300

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации
(свидетельства):
2014614300

Дата регистрации: 22.04.2014

Номер и дата поступления заявки:
2014612022 12.03.2014

Дата публикации: 20.05.2014

Авторы:

Бабаев Ильфат Харисович (RU),
Кизуров Анатолий Сергеевич (RU),
Костелова Светлана Владимировна (RU),
Лапшин Игорь Петрович (RU),
Пиджакон Святослав Игоревич (RU)

Правообладатель:

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Государственный
аграрный университет Северного Зауралья» (RU)

Название программы для ЭВМ:
«Grain Sound Scan»

Реферат:

Программа предназначена для обработки данных, поступающих с микрофона звукового сканера посредством подключения через USB порт. Программа содержит инструменты записи данных, построения и сохранения амплитудно-временной характеристики, анализа сохраненных и текущих записей, построения и сохранения амплитудно-частотных характеристик по результатам амплитудно-временных характеристик, создания эталонов и сравнения текущих амплитудно-частотных характеристик с эталонами по различным признакам. Эталон включает в себя информацию о культуре, влажности и фракции зернового материала. Так же программа способна указать информацию о засоренности основной культуры в процентном соотношении.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК с разъемом USB

Язык программирования: C++

Вид и версия операционной системы: Windows совместимая система

Объем программы для ЭВМ: 422 Кб

Приложение II
Результаты экспериментальных исследований

Таблица 1 – Параметры пассивного многофакторного эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	43,84	18,34	10,62	41,22	23,57	18,83	24,7	23,6	27	23,5	29,6	23,4
2	43,24	16,8	11,86	50,48	22,3	21	27,37	21,3	28,1	20,9	30,27	20,7
3	46,82	20,66	9,6	39,74	27,47	18,97	25,97	25,5	26	25,4		25,2
4	49,92	25,42	9,26	32,48	26,27	17,9	27,23	24,4	31,17	24,2	33,3	24,1
5	44,22	15,96	8,74	41,52	15,4	19,4	24,1	13,7	26,3	13,5	30,4	13,5
6	46,92	19,64	8,88	39,92	29,7	17,6	27,3	26,8	26,5	26,4	29,77	26,2
7	49,57	30,3	7,73	20,67	21,83	20,33	36,67	19,93				
8	37,17	13,67	8,27	35,5	19,47	16,8	20,97	18,53				

Приложение Р

Акты внедрения результатов научных исследований



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
« НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ »
(ФГБНУ « НИИСХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ »)

А К Т

п. Московский

« 13 » сентября 2016 г.

№ 13

Акт лабораторно-полевых испытаний

Настоящий акт составлен по результатам испытаний экспериментального образца лабораторной сушилки на основе теплонасосной установки выполненных на базе ФГБНУ «НИИСХ Северного Зауралья».

Предлагаемый метод дифференцированной сушки семян имеет высокое практическое значение в первую очередь в селекции и на ранних этапах семеноводства, когда партии семян представлены небольшими объемами.

Данный метод позволяет обеспечить сохранение жизнеспособности семян, что является первостепенной задачей при сушке селекционного материала.

По итогам испытаний, считаем целесообразным доведение опытного образца до промышленной установки с последующим широким внедрением в производство.

Директор



Е.П. Ренев

Продолжение приложения Р



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
« НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ »
(ФГБНУ «НИИСХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ»)

А К Т

п. Московский

«13» сентября 2016г.№ 13-а

Акт внедрения

Настоящий акт составлен в том, что опытный образец лабораторной сушилки на основе теплонасосной установки был апробирован для сушки семян яровой пшеницы в лабораторных условиях на базе ФГБНУ «НИИСХ Северного Зауралья»

Директор



Е.П. Ренев