

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия

Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: Исследование инфракрасного способа сушки зерна и разработка сушильной установки

Студент магистратуры _____ Миначев М.З.

Научный руководитель,

к.т.н., доцент _____ Лукманов Р.Р.

Рецензент

к.т.н., доцент _____ Вафин Н.Ф.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите

(протокол № 14 от «17» июня 2019 г.)

И.о. зав. кафедрой, доцент _____ Халиуллин Д.Т.

Казань - 2019 г.

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) Миначева Марата Заведовича на тему: «Исследование инфракрасного способа сушки зерна и разработка сушильной установки».

Диссертация состоит из пояснительной записки на ____ страницах машинописного текста. Записка состоит из введения, пяти разделов, выводов и включает ____ рисунков, ____ таблиц и ____ приложений. Список использованной литературы содержит ____ наименований.

В первой главе проведен анализ существующих способов и машин тепловой обработки зерна. Выполнен анализ работ по исследованию процесса сушки зерна. Обозначены цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены требования, предъявляемые к технологическому процессу термообработки семян зерновых. Описан технологический процесс сушки, и приводится предлагаемая сушильная установка с технологическими расчетами.

В третьей главе разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

В пятой главе проведена технико-экономическая оценка сушильной установки.

Записка завершается общими выводами по работе и списком использованных литературных источников.

ABSTRACT

For final qualification work (master dissertation) Minachevs Marats Zavidovichs on the topic: "Research of infrared drying method of grains and development of the drying unit ".

The thesis consists of an explanatory note on ___ pages of typewritten text. The note consists of an introduction, five sections, conclusions and includes ___ figures, ___ tables and annexes. The list of references contains ___ names.

In the first Chapter, the analysis of existing methods and machines for heat treatment of grain. The analysis of works on research of process of drying of grain is executed. The purpose and objectives of the study are indicated.

The second Chapter presents the requirements for the technological process of heat treatment of grain seeds. The technological process of drying is described, and the offered drying installation with technological calculations is given

The third Chapter developed a program and methodology for experimental studies.

The fourth Chapter presents the results of experimental studies.

In the fifth Chapter, a technical and economic evaluation of the drying plant.

The note concludes with General conclusions on the work and a list of references.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНОПРОДУКТОВ ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ	
1.1 Анализ существующих способов тепловой обработки зерна.....	
1.2 Анализ существующих машин для инфракрасной сушки зерна	
1.3 Теоретические и экспериментальные исследования по сушке зерна	
1.4 Цель работы и задачи исследования.....	
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИК-СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	
2.1. Требования, предъявляемые к технологическому процессу термообработки семян зерновых.....	
2.2. Описание технологического процесса	
2.3. Расчет производительности установки для инфракрасного облучения семян зерновых культур.....	
2.4. Расчет емкости распределительного бункера-дозатора	
2.5. Расчет размеров конвейера	
2.6. Расчет геометрических размеров бункера-дозатора	
2.7. Расчет мощности излучателей и их расположения над лентой конвейера.....	
2.8. Тепловой баланс процесса инфракрасной сушки зерна	
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
3.1. Программа проведения исследований.....	
3.2. Методика определения объемной массы и влажности зерна.....	
3.3. Методика определения угла естественного откоса зерна	
3.4. Методика определения истечения зернового материала.....	
3.5. Методика определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна	
3.6. Методика определения рациональных режимов обработки зерна ИК-лучами.....	
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	

4.1 Результаты исследований объёмной массы зерна.....	11
4.2 Результаты определения угла естественного откоса зерна.....	12
4.3 Результаты исследования истечения зернового материала.....	13
4.4 Результаты определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна.....	14
4.5 Исследование инфракрасного способа сушки зерна.....	15
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	16
5.1. Расчет стоимости конструкторской разработки.....	17
5.2. Определение показателей экономической эффективности.....	18
ВЫВОДЫ.....	19
ЛИТЕРАТУРА.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы сохранения семенных качеств посевного материала, сохранения свежесобранных материалов растительного происхождения требует развития агропромышленного комплекса на основе существующих и создания новых энергоберегающих, экологически чистых технологий.

В связи с развитием в последние годы фермерских хозяйств на постсоветском пространстве актуальной стала задача получения семенного материала, в том числе зернового, в небольших количествах - для целей одного или нескольких хозяйств. Для решения этой задачи могут быть использованы сушилки с инфракрасным энергоподводом.

Зерно, как живой организм и сложная термодинамическая система, при взаимодействии с окружающей средой изменяет свои свойства и структуру. Протекание физико-химических процессов в зерне связано с изменением влажности и температуры, как в самом зерне, так и в окружающей его среде [11, 18].

Основная задача сушки - довести влажность материала до кондиционной, требуемой по технологическому регламенту. В результате своевременной и правильно проведенной сушки зерна ускоряется процесс его послеуборочного созревания, улучшается стойкость при хранении, семенные и технологические свойства.

Задача улучшения качества высушиваемой пшеницы требует дальнейшего совершенствования процесса сушки, как в технологическом, так и в энергетическом плане. В настоящее время сушка пшеницы осуществляется преимущественно зерносушилками с конвективным теплоподводом.

В то же время в литературе отмечается перспективность применения инфракрасной сушки (ИК-сушки) в пищевой промышленности - хлебопекарной, кондитерской, мукомольной, комбикормовой и др [5, 16, 17].

Быстрое повышение температуры материала после критической точки при непрерывной ИК-сушке вызывает ухудшение свойств термолабильных материалов, а значительный температурный градиент, направленный противоположно градиенту влагосодержания, замедляет внутренний массоперенос. Это обуславливает

необходимость использования прерывистого облучения (осциллирующий режим), сочетающего чередование стадий ИК-нагрева и отлежки материала. Однако, недостаточно отработанная технология осциллирующей ИК-сушки приводит к слабому внедрению этого способа проведения процесса, что и предопределило постановку данного исследования.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНОПРОДУКТОВ ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ

1.1 Анализ существующих способов тепловой обработки зерна

Открытие инфракрасных лучей было осуществлено английским астрономом В. Гершелем в 1800 году, когда он исследовал солнечный спектр, образованный призмой [7].

Термин «инфракрасный» происходит от латинского слова *infra*, что соответствует русскому слову «под» или «внизу», т.е. имеется в виду область спектра, примыкающая к красному спектру видимого светового излучения, с длиной электромагнитных волн от 0,76 до 400-500 мкм.

Инфракрасное излучение отличается от других видов электромагнитных колебаний длиной (частотой) волны и скоростью распространения волны.

В настоящее время тепловое воздействие ИК-лучей объясняется двойственностью электромагнитного поля или волновой природой квантов. Энергия переносится с помощью электромагнитного поля (ЭМП), распространяющегося в пространстве от источника (генератора излучения). Объект облучения поглощает поле, передающееся от источника. При поглощении ИК-лучей объектом облучения происходит ускорение теплового движения атомов и молекул, что приводит к его нагреванию [25, 30].

Инфракрасная (радиационная) сушка обладает рядом неоспоримых преимуществ:

а) воздушная среда, окружающая высушиваемый материал, не является теплоносителем, поэтому при радиационном теплообмене нет потерь теплоты с отработавшим теплоносителем, поэтому КПД сушилки больше;

б) отсутствие прямого контакта между излучателем и высушиваемым материалом не является препятствием для эффективной передачи теплоты;

в) основываясь на зависимости оптических характеристик материалов - поглощения, отражения, и пропускания ими инфракрасных лучей - от спектрального состава лучистого потока можно в известных пределах эффективно управлять режимами радиационного нагрева и сушки.

Несмотря на то, что воздух при ИК-сушке не является теплоносителем, он оказывает значительное влияние на эффективность теплообмена излучением. Чем меньше перепад температур между воздухом и облучаемой поверхностью, тем меньше температурный градиент в материале и равномернее его нагрев. Большой температурный градиент внутри высушиваемого тела (семя, зерно) зачастую становится причиной его разрушения - появления трещин, короблений и т.п. Поэтому, как правило, в установках для радиационной сушки перепад температур воздуха и высушиваемого материала должен быть ограничен [31].

В настоящее время разработан ряд методов интенсивной термической (микронизация) и гидротермической обработки (ГТО) зернового сырья. В отличие от процесса сушки, данные виды обработки направлены на изменение биохимических, физических и микробиологических свойств продукта.

Микронизация – это тепловая обработка зерна инфракрасными лучами. ИК-излучение зерна вызывает интенсивный нагрев, повышает внутреннее давление паров воды (внутренняя влага в котором, как бы закипает). При этом крахмал желатинизируется и набухает, его структура разрушается. Питательные вещества такие как углеводы и белки в процессе тепловой обработки зерна в устройстве подвергаются различным структурным изменениям, уничтожает вредоносную микрофлору зерна и снижает общее количество микроорганизмов в 4-6 раз, а также происходит повышение санитарного качества кормов. При микронизации температурный режим для различных культур равен от 140 до 170 °С. При облучении зерна более 40 секунд многие бактерии полностью удаляются, более 65 секунд – плесневые грибы. Процесс микронизации зерна предупреждает заражение амбарными вредителями. Оптимальный эффект при облучении зерна ИК-лучами достигается на протяжении 50-60 секунд. Также установлено, что использование зерна после обработки ИК-излучением для подкормки поросят способствует ускорению роста и повышению их живой массы на 17% за счет усвоения питательных веществ и лучшей переваримости кормов рациона [38].

Термическая обработка зерна методом микронизации заключается в интенсивном нагреве зерна инфракрасными (ИК) лучами в течение 35...60 с до температуры зерна 150...190 °С. Резкое увеличение температуры зерна приводит к «взрыву» зерновки, т.е. зерно вспучивается. Кроме обработки зерна ИК-лучами микронизация включает в себя следующие операции: увлажнение, отволаживание, пропаривание, плющение, охлаждение. Данные операции приводят к изменению физических и биохимических свойств зерна, а также его питательной ценности [40, 42].

ГТО материала основана на конвективных и кондуктивных методах подвода тепла. При такой обработке пропаривание зерна ведут при избыточном давлении $(0,5...4) \cdot 10^5$ Па. Пропаривание при избыточном давлении с последующим его быстрым сбросом приводит к вспучиванию или «взрыву» зерна. В процессе обжаривания растительных материалов температура последних может достигать 180-200 °С [44, 46].

Рассматривая микронизацию и ГТО, следует отметить, что использование данных методов благотворно сказывается на усвоении животными комбикормов с последующим приростом живой массы животных, а также снижении риска падежа животных, поскольку использование ИК-лучей приводит к обеззараживанию зерна [47].

Применение инфракрасных лучей и тепловой обработки для зернопродуктов, а также других продуктов растительного происхождения открывает широкие возможности для получения новых видов высококачественного сырья и продуктов.

1.2 Анализ существующих машин для инфракрасной сушки зерна

Современные комбикормовые предприятия и животноводческие фермы различных направлений и мощностей должны оснащаться набором машин, способных по ходу непрерывного процесса легко перестраивать свои технологические параметры, обеспечивая тем самым производству необходимую гибкость при переработке того или иного вида сырья. Естественно, что эффективнее те производства, которые оснащены универсальными машинами с широким диапазоном технологических факторов воздействия на обрабатываемый материал в автоматическом режиме.

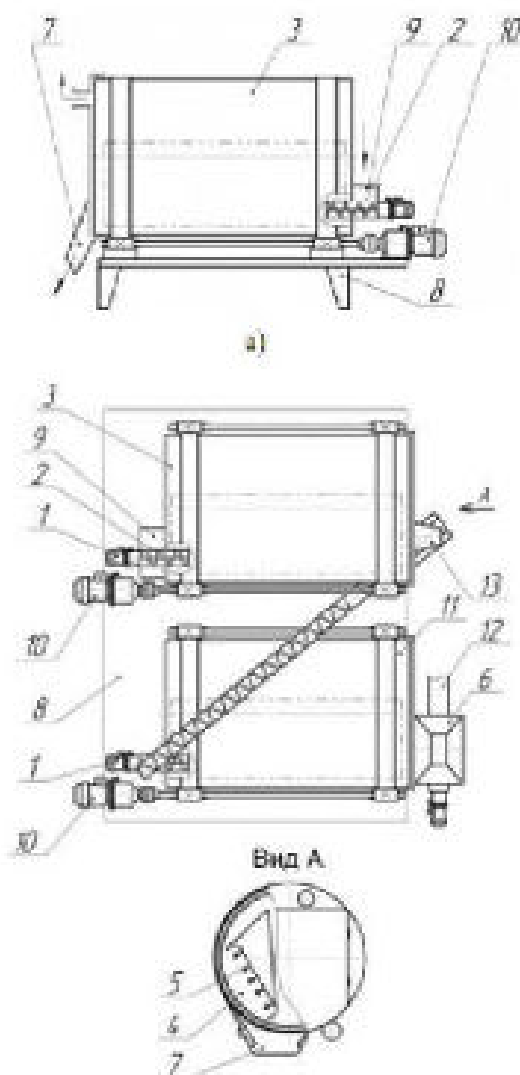
В последнее время в народном хозяйстве при производстве пищевой продукции, кормов и других материалов стали широко применять оптические источники инфракрасного излучения (ИК).

Достоинство оптических методов обработки компонентов кормов состоит в том, что наряду с эффектом, обеспечивающим санитарное качество, улучшается их усвояемость. В процессе микронизации ИК-лучами можно одновременно подсушивать корм, также при определенных дозах ИК- излучение, помимо уничтожающего воздействия на бактерии, вирусы, грибы, в таких продуктах, как комбикорм, образуются одновременно еще антирахиные вещества - провитамины группы Д, повышается ферментативная активность кормов. При достижении одного и того же технологического эффекта оптическое излучение затрачивает энергии на порядок меньше, чем другие виды излучений, менее опасно, значительно сокращает материалоемкость машин [48].

Микронизатор ВТО-5-2М

В научно-производственной фирме "Гран" (Украина) разработан многофункциональный гибкий технологический модуль (ГТМ) по производству комбикормов и добавок (сыпучих, гранулированных, пастообразных, жидких), включая использование вторичного сырья предприятий АПК.

Одним из основных звеньев ГТМ является микронизатор ВТО-5-2м (излучающая сушилка) (рисунок 1.1).



а) вид спереди; б) вид сверху (перевернуто)

1, 2 – барабан; 3 – первый барабан; 4 – камера излучения; 5 – оптические источники излучения; 6 – бункер выгрузки; 7 – лоток выгрузки; 8 – рама; 9 – бункер; 10 – привод барабана; 11 – второй барабан; 12 – пневмотранспортер; 13 – транспортер перегрузки;

Рисунок 1.1 – Схема микронизатора ВТО-5-2М

Он разработан по принципу единичного модуля, позволяющего собирать сушильные агрегаты различной производительности и планировки.

В процессе работы материал из бункера подается питателем в камеру излучения первого барабана. При его вращении материал одновременно интенсивно перемешивается, подвергаясь воздействию излучения, подсушивается, стерилизуется и перемещается к выгрузному лотку. Частоты вращения питателя и барабана согласованы и регулируются, что позволяет выбирать режимы обработки в зависимости от свойств материала. Дозу облучения можно регулировать также и путем отключения источников излучения. Вариант горизонтальной компоновки сушильного агрегата изображен на

рисунке 1.1.

Агрегат имеет раздельные приводы, общий вид представлен на рисунке 1.2, скорость которых регулируется частотными преобразователями, и ряд других унифицированных узлов, что повышает его производительность, контролирует время пребывания материала в камере излучения, обеспечивает последовательно комбинированное воздействие различных типов источников излучения, способных при избирательном действии каждого повысить суммарный эффект [45].



1 – направляющие рейки; 2 – ИК-излучатель; 3 – барабан; 4 – камера ИК-излучения; 5 – привод

Рисунок 1.2 – Общий вид рабочей поверхности микронизатора ВТО-5-2М

Время пребывания материала в зоне обработки задается программным устройством.

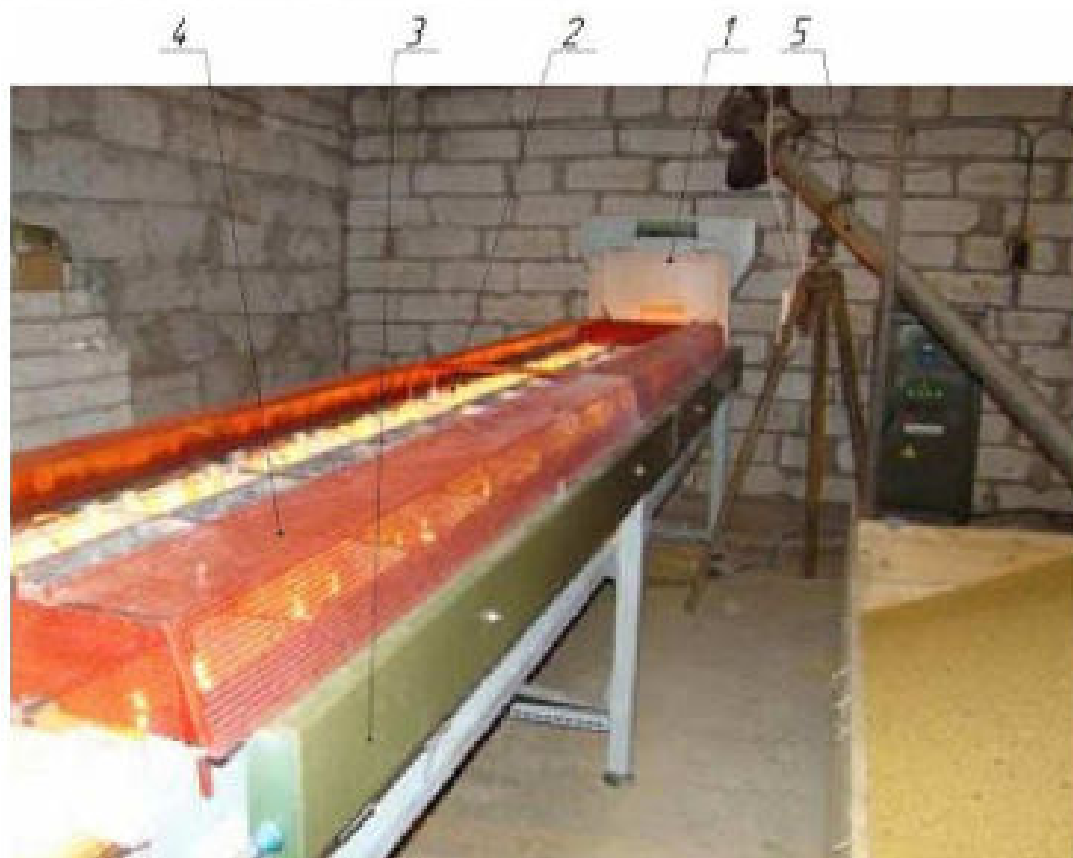
Зерно проходя последовательно зону сушки (камеру излучения) первого барабана, оснащенную ИК-источниками, одновременно с потерей влаги подвергается микронизации, что значительно повышает его биологическую ценность, и далее, по ходу технологического процесса, обрабатывается ультрафиолетовыми лучами в камере излучения второго барабана, что повышает санитарное качество и способствует образованию в зерновых материалах провитаминов группы Д.

Недостатками известного устройства являются «потери тепловой энергии за счет нагрева элементов» данного устройства, «отражателей ИК- излучателей», так же сложность конструкции и большие удельные энергозатраты.

Микронизатор зерна ИПБГ 1.0

Микронизатор ИПБГ 1.0 (рисунк 1.2) предназначен для термической обработки

зерна злаковых, бобовых и масличных культур.



1 - загрузочный бункер, 2 - ИК-излучатели, 3 - короб привода, 4 - защитный кожух ИК-излучателей, 5 - шнек

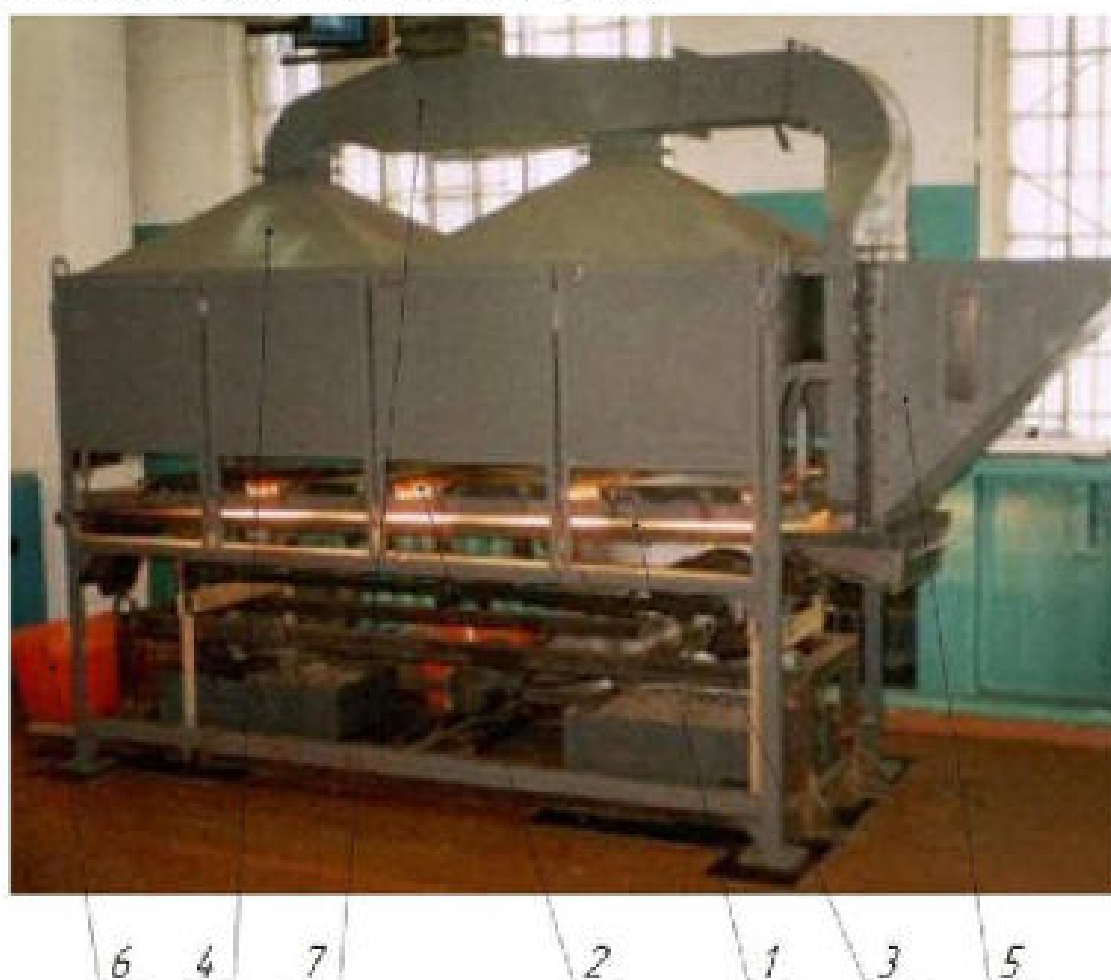
Рисунок 1.3 - Общий вид микроплизатора ИПБГ 1.0

Микроплизатор ИПБГ 1.0 имеет недостатки: «потери тепловой энергии за счет нагрева элементов ленточного конвейера, отражателей ИК-излучателей, конвективные потери через неплотности между камерой облучения и ленточным конвейером, большие габариты», большие энергозатраты на процесс микроплизации, выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала [3].

Микроплизированные зерновые усваиваются в 3 раза лучше, чем не микроплизированные. То есть для получения одной и той же обменной энергии необходимо в 3 раза меньше продукта. Микроплизация семян сои обеспечивает снижение ее влажности до 6%. Антипитательные вещества, особенно ингибитор трипсина, после микроплизации нейтрализуются, активность уреазы стабилизируется [4]. При получении масла из микроплизированного зерна сои и рапса - повышается качество и количество масла, и при замене экструдера на микроплизатор происходит значительное снижение затрат на технологическое обслуживание. Микроплизация улучшает микробиологию продукта, что способствует более длительному хранению.

Микролизатор зерна УМЗ-0.2

Микролизатор модели УМЗ-0.2 показан на рисунке 1.4. В нем предусмотрена нетрадиционная высокоэффективная технология тепловой обработки зерновых продуктов, заключающаяся в комбинированном воздействии на культуру ИК-излучения, а также энергии СВЧ-поля. При этом полностью гибнут как бактерии, так и вредители (также как картофельная палочка); улучшаются свойства клейковины на 15...20 ед. ИДК; повышается питательная ценность и усвояемость зерновых продуктов при одновременном сохранении биологической ценности и вкусовых качеств; повышаются показатели всхожести и энергии прорастания семенного зерна [9].



1 - ленточный транспортер, 2 - ИК-излучатели, 3 - электропривод транспортера, 4 - вытяжка, 5 - загрузочный бункер, 6 - бункер для микролизированного зерна, 7 - воздуховод

Рисунок 1.4 - Общий вид микролизатора УМЗ-0.2

Микролизатор УМЗ-0.2 имеет ряд недостатков, таких как: большие габариты, «потери тепловой энергии за счет нагрева элементов ленточного конвейера, отражателей ИК-излучателей, коллективные потери через неплотности между камерой облучения и ленточным конвейером, большие» энергозатраты на процесс микролизац

нераціонально вибрана конфігурація розположення ІК-излучателів, що знижує КПД установки і якість оброблюваного матеріала [9].

Установка МЗС-1

Установка (микролизатор зернового сырья МЗС-1) представляет собой модернизированный вариант установки ВТМ-02 и предназначена для термообработки сыпучих продуктов. В промышленных предприятиях используется в технологических линиях для изготовления круп, муки, зерновых хлопьев, гречки, комбикормов для молодняка и т.п.

Установка МЗС-1 имеет облегченную конструкцию, которая отличается расположением линейных ИК-излучателей. Они располагаются с переменным шагом поперек ленточного транспортера, а также применением для отражателей спецматериалов, что позволяет повысить, как ресурс ИК-излучателей, так и эффективность термообработки. Установка включает загрузочный бункер, блоки ИК-излучателей, ленточный транспортер, регулируемый привод.

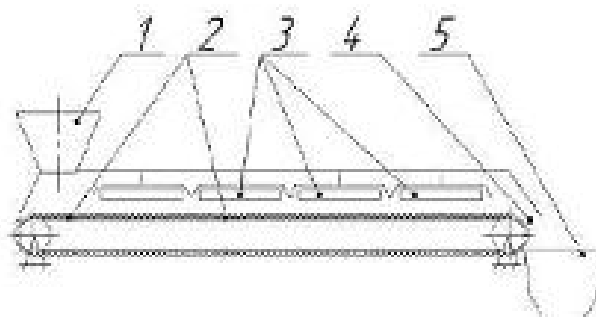
Установка МЗС-1 имеет недостатки: «потери тепловой энергии за счет нагрева элементов ленточного конвейера, отражателей ИК-излучателей» [14], большие габариты, «конвективные потери через неплотности между камерой облучения и ленточным конвейером», выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала.

Устройство для термообработки типа УТЗ-4

Рассмотрим микролизатор типа УТЗ-4 (рис.1.5, рис 1.6). Микролизатор УТЗ-4 состоит из рабочей камеры, загрузочного бункера-дозатора 1, ленточного транспортера 2, источников ИК-излучения 3, окна для выгрузки 4 и бункера 5.

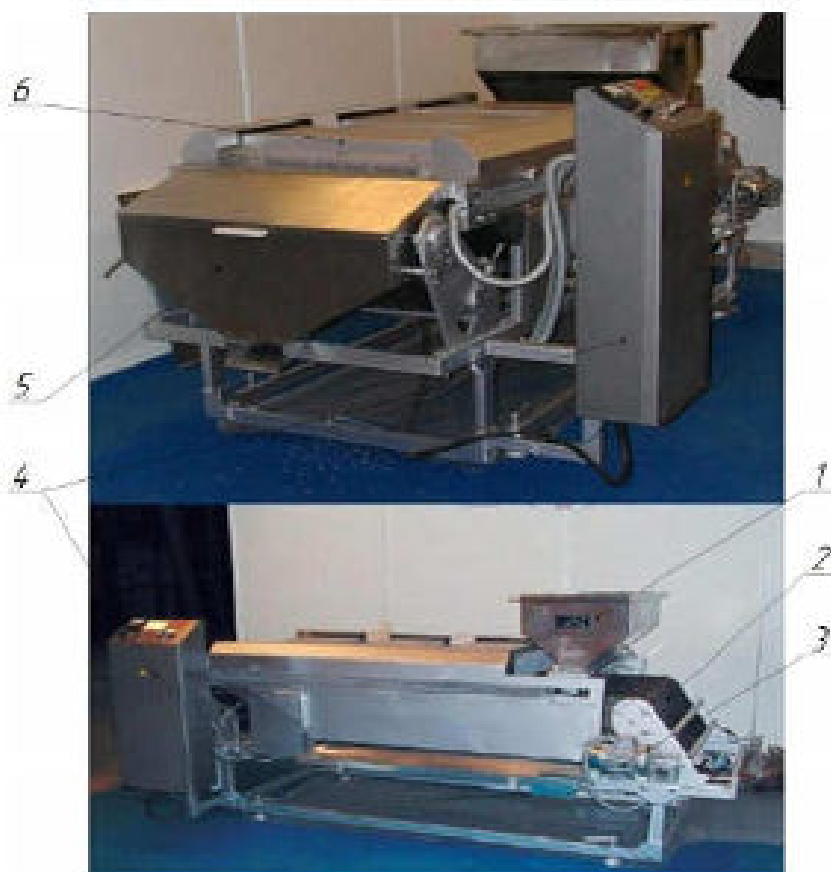
Зерно подается в загрузочный бункер-дозатор и попадает на ленточный транспортер, где подвергается ИК-излучению. Двигаясь по транспортеру, зерно попадает в бункер для микролизированного зерна [8,12].

У данной конструкции имеются недостатки: скорость транспортирования зависит от свойств сыпучего материала, влажности, сцепления, объемной массы, крупности, формы зерна и т.д. При переменных параметрах практически невозможно добиться стабильной малой скорости перемещения тонкого слоя зерна на ленточном транспортере. Большие энергетические затраты на процесс ИК-обработки материала. Конвективные потери энергии через неплотность между ленточным конвейером и камерой облучения, выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала. Большие габариты установки.



1 - бункер-дозатор; 2 - транспортер ленточный; 3 - источник ИК-излучения; 4 - окно для выгрузки в бункер готовой продукции; 5 - бункер для микронизированного зерна.

Рисунок 1.5 - Схема устройства микронизатора типа УТЗ – 4



1 - бункер загрузочный; 2 - ленточный транспортер; 3 - электродвигатель; 4 - блок управления; 5 - бункер для микронизированного зерна; 6 - защитный кожух ИК-излучателей,

Рисунок 1.6 - Общий вид установки для микронизации типа УТЗ-4

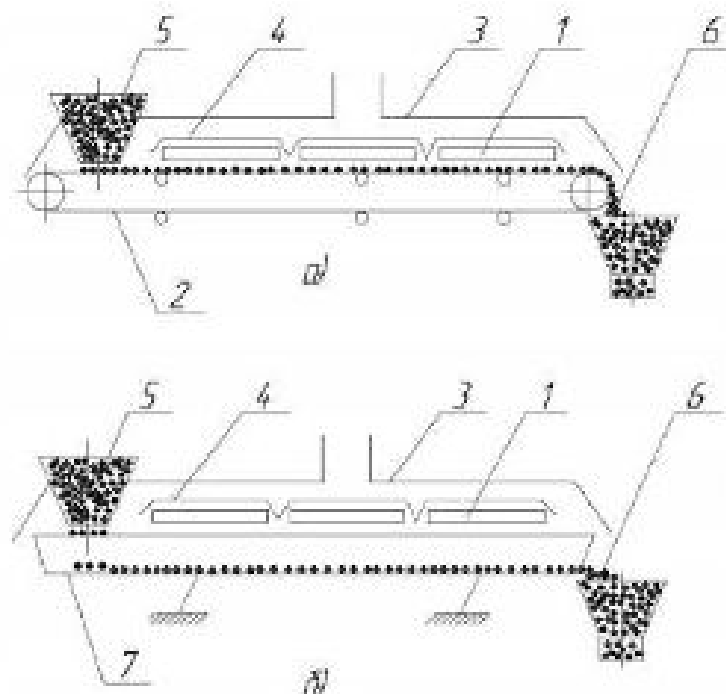
Термоустановка с ИК-энергоподводом для термообработки зерна

Термоустановка с ИК - энергоподводом для термообработки зернового сырья с продольным расположением вдоль конвейерной ленты выбранных генераторов ИК - излучения приведена на рисунке 1.7 а.

Установка источников ИК - излучения вдоль конвейерной ленты с шагом,

уменьшающимся от оси конвейера и его периферии, позволяет выравнивать плотность лучистого потока по ширине конвейера, т.е. повышать равномерность поля облучения зернового сырья.

Конвейер находится внутри теплоизолированной камеры с теплоотражающими экранами, применение которых в условиях высоких температур позволяет повысить эффективность работы генераторов ИК - излучения и снизить потери энергии, достичь большей однородности поля облучения на поверхности обрабатываемого продукта [14, 15].



а) конвейерная лента; б) вибрационный стол;

1 – генераторы ИК-излучения; 2 – конвейер; 3 – теплоизолированная камера; 4 – отражающие экраны; 5 – загрузочный бункер; 6 – приемный бункер; 7 – вибростол

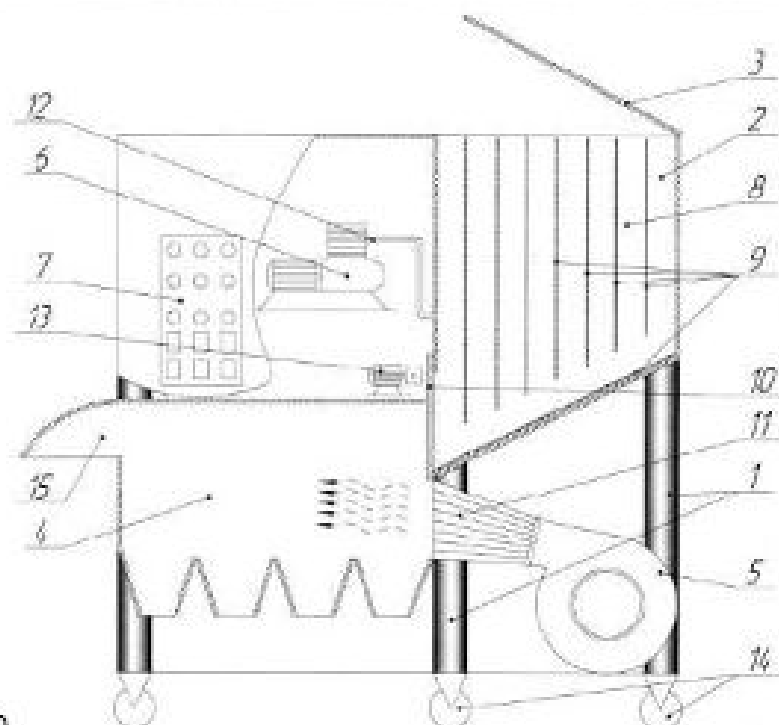
Рисунок 1.7 – Схема термоустановок с ИК-энергоподводом для термообработки зерна

Более эффективным устройством для перемещения зерна внутри термокамеры явилось применение для этой цели вибростола (рисунок 1.7.б). Исключены остановки конвейера, вызванные пробуксовкой транспортной ленты, зерно перемещается по вибростолу сплошным слоем толщиной в одну зерновку. Изменение параметров вибрации и угла наклона стола изменяет скорость перемещения продукта.

Предмет изобретения Известны устройства для сушки зерна и других материалов, например маслосодержащих ядер, содержащие термоизолирующую камеру, загрузочное и разгрузочное приспособления, вибрационный конвейер с перфорированным дном, термоизлучатели и рубашку для подвода сушильного агента. Однако в таких устройствах можно либо сушить, либо обжаривать маслосодержащие ядра, при этом качество

обжарки может быть недостаточно высоко.В предложенном устройстве можно производить одновременно процессы сушки и обжаривания ядер. Режим сушки и обжаривания в устройстве является регулируемым, что повышает качество обработки ядер, Устройство снабжено дополнительным вибрационным конвейером, заключенным в самостоятельную дополнительную камеру, расположенную под первой камерой, Конвейеры связаны друг с другом гибким перепускным шлангом, а между конвейером и термоизлучателями в каждой камере установлен экран, образованный поворотными дроссельными заслонками,На чертеже представлена схема описываемого устройства.Устройство содержит две термоизоляционные камеры 1 и 2, расположенные одна над другой, вибрационный конвейер 3 с перфорированным дном, проходящий через обе камеры, установленные над конвейером термоизлучатели в виде газовых горелок 4 с керамическими насадками, экраны 5 и 6, образованные поворотными дроссельными заслонками 7,загрузочную 8 и разгрузочные 9 воронки,Камера 1 снабжена рубашкой 10 для сушильного агента и приспособлениями 11 и 12 для его подвода и отвода.10 Конвейер 3 в месте перехода из камеры в камеру 2 имеет гибкий перепускной шланг 13.Работает устройство следующим образом.Ядра поступают в камеру 1, где обогриваются при помощи горелок инфракрасного излучения с керамическими насадками. Подана инфракрасных лучей регулируется с помощью заслонок экрана, Одновременно ведется обогрев конвективным потоком газовой воздушной среды, которая подается по рубашке 10. Из камеры 1 подсушенные ядра подаются в камеру 2, где также подвергаются дальнейшему обогреву и обжариванию инфракрасными лучами.25 Устройство для сушки зерна и других материалов, состоящее из снабженной загрузочным и разгрузочным приспособлениями терм233530 оставитель Н. Селиверстова Текред Л. Я. Левина Корректор О. Б. Тюрина термоизоляционной камеры, в которой расположен виброконвейер с перфорированным дном, установленного под ним короба для сушильного агента с приспособлениями для подвода и отвода последнего и укрепленных над виброконвейером термоизлучателей, отличающееся тем, что, с целью возможности осуществления одновременно с сушкой поступающего материала обжаривания высушенного в нем материала и регулирования их режима, оно снабжено дополнительным виброконвейером аналогичной конструкции, заключенным в расположенную под камерой самостоятельную камеру, причем виброконвейеры связаны 5 между собой гибким перепускным шлангом,а между виброконвейером и

термоизлучателями в каждой камере установлен экран, образованный поворотными



дроссельными заслонками.10

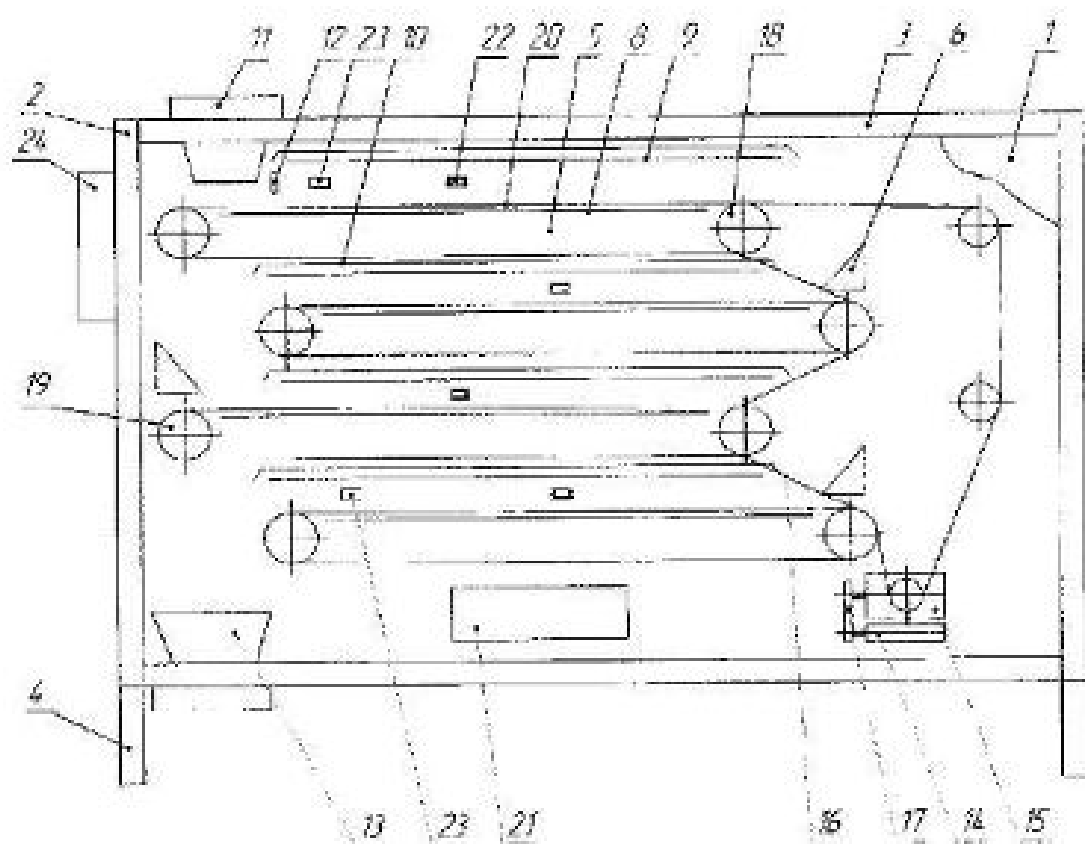
1 – несущая рама; 2 – загрузочный бункер с люком; 3 – камера сортировки; 4 – вентилятор; 5 – вакуумный насос; 6 – блок управления; 7 – блок управления; 8 – сушильная камера; 9 – нагреватели; 10 – шлюзовой дозатор; 11 – воздухо-распределитель; 12 – патрубок; 13 – электропривод; 14 – колеса; 15 – окошко

Рисунок 1.8 – Устройство для сушки и сортировки сыпучих материалов патент RU

2577909

После нагрева до нужной температуры материал через шлюзовой дозатор 10 попадает в камеру сортировки 4. В камере сортировки 4 материал активно вентилируется вентилятором 5 и одновременно сортируется по качеству сыпучего материала. Пыль и семена сорных растений удаляются в окружающую среду через окошко 15. Материал сортируется в разные мешки и при наполнении производят замену мешков.

Заслуживает внимания устройство инфракрасной сушки семян рапса RU 2638690 представленный на рисунке 1.9 [20].



1 – металлический корпус; 2 – вертикальная стойка; 3 – горизонтальная стойка; 4 – опора;
 5 – ленточные конвейеры; 6 – экранирующие щитки;
 8 – направляющие; 9,10 – пленочные электронагреватели; 11 – загрузочный бункер; 12 –
 раскладчик; 13 – разгрузочный бункер; 14 – электродвигатель; 15 – редуктор; 16 – цепная
 передача; 17 – клиноременная передача;
 18 – ведущие барабаны; 19 – ведомые барабаны; 20 – лента; 21 – блок управления; 22 –
 датчик температуры; 23 – датчик влажности; 24 – электрошкаф

Рисунок 1.9 – Конструкция устройство инфракрасной сушки семян рапса RU 2638690

В верхней части бункера-питателя 1 установлен шиберный затвор и вытяжной вентилятор 13, а в нижней его части - тарельчатый дозатор 14. Нижняя часть бункера-питателя выполнена перфорированной. Под бункером-питателем 1 в камере 2 размещены вальцы 7, сетчатый транспортер-клеистеризатор 8, плющилка 9, сетчатый транспортер-сушилка 10 и охладитель 11. Вальцы 7 расположены в начальной ветви ленты клеистеризатора 8, а плющилка 9 под выходной его ветвью. Клеистеризатор 8, сетчатый транспортер-сушилка 10, под 3 и охладитель 11 расположены последовательно один под другим с обеспечением возможности движения в противоположных направлениях одного относительно последующего. Инфракрасные излучатели расположены между подом 3 и

транспортёр-сушилкой 10, Под клейстеризатором 8 и над транспортёр-сушилкой 10 установлены вертикальные перегородки 5.1 ил,Изобретение относится к устройствам для влаготепловой обработки зерна и может быть использовано в сельском хозяйстве при производстве комбикормов и при подготовке зерна к скармливанию в кормоприготовительных цехах животноводческих ферм.Известна установка для термообработки зерна, содержащая термоизолированную камеру с конвейером в виде бесконечной ленты, источниками инфракрасного излучения и блоками отражательных экранов.Однако обработка зерна и известномтехническом решении осуществляется без учета последовательности происходящих в зерне биохимических процессов, Устройством не предусматривается также выдержка зерна в режиме клейстиризации и декстринизации для более полного превращения крахмала в растворимые сахара и декстрины.Известно устройство для тепловой обработки сыпучих материалов, содержащее теплоизолированную камеру с зонами загрузки и выгрузки, подом в виде бесконечной ленты, инфракрасными излучателями, вертикальными перегородками, системой регулирования подачи электроэнергии.Недостатком известного решения является низкая его эффективность, так как обработка осуществляется без разделения прцессов клейстиризации и декстринизации крахмала с созданием в начале обработки режима декстринизации крахмала,при этом происходит ускоренный процесс клейстиризации, а также декстринизациибез необходимой выдержки зерна при соответствующих этим процессам температуре и влажности, что обуславливает не полное проведение биохимических процессов взерне.Цель изобретения - повышение качества обрабатываемого фуражного зерна засчет увеличения степени клейстиризации идекстринизации крахмала.Указанная цель достигается тем, что установка дополнительно" оснащена смонтированными в теплоизолированной камере вальцами, клейстиризатором, плющилкой, сетчатым транспортёр-сушилкой и охладителем, а бункер-питатель - шлюзовым затвором и вентилятором в верхней части и тарельчатым дозатором в нижней, при этом нижняя часть бункера-питателя выполненаперфорированной, клейстиризатор представляет собой бесконечную сетчатую лейту, вальцы установлены под бункером-питателем в начальной ветви клейстиризатора по ходу движения обрабатываемого зерна, а в5 10 40 45 50 15 20 25 30 35 конце последнего и под выходной его ветвью размещена плющилка, причем клейстиризатор, сетчатый транспортёр-сушилка, под и охладитель расположены последовательно один под другим с обеспечением возможности движения в противоположных направлениях

одного относительно последующего для перемещения обрабатываемого зерна от зоны загрузки теплоизолированной камеры до зоны выгрузки последней, при этом инфракрасные излучатели расположены между подом и сетчатым транспортером-сушилкой, а над последним и под клейстеризатором установлены вертикальные перегородки. На чертеже изображено предлагаемое устройство. Установка содержит бункер-питатель 1, установленный перед теплоизолированной камерой 2 с зонами загрузки и выгрузки, смонтированный внутри камеры 2 под 3 в виде бесконечной ленты, инфракрасные излучатели 4, вертикальные перегородки 5 и систему регулирования подачи электроэнергии 6. Теплоизолированная камера 2 снабжена также вальцами 7, клейстеризатором 8, плющилкой 9, сетчатым транспортером-сушилкой 10 и охладителем 11. В верхней части бункера-питателя 1 установлены шлюзовой затвор 12 и вытяжной вентилятор 13, а в нижней части - тарельчатый дозатор 14, при этом нижняя часть бункера-питателя выполнена перфорированной. Вальцы 7 размещены под бункером-питателем 1 в начальной ветви клейстеризатора 8 по ходу движения обрабатываемого зерна, а в конце последнего и под выходной его ветвью размещена плющилка 9. Клейстеризатор 8, сетчатый транспортер-сушилка 10, под 3 и охладитель 11 расположены последовательно один под другим с обеспечением возможности движения в противоположных направлениях одного относительно последующего, при этом инфракрасные излучатели 4 расположены между подом 3 и сетчатым транспортером-сушилкой 10. Под клейстеризатором 8 и над транспортером-сушилкой 10 установлены вертикальные перегородки 5. Установка работает следующим образом. Исходное зерно через шлюзовой затвор 12 подается в бункер-питатель 1. Вытяжной вентилятор 13 создает интенсивный перенос тепла и влаги из камеры 2 через слой зерна в бункере 1, обеспечивая при этом его предварительный нагрев и отволаживание. Из бункера 1 отволаженное зерно поступает на тарельчатый дозатор 14, а затем на вальцы 7, который вальцуют зерно, создавая микротрещины в его оболочке и эндосперме для улучшения поглощения влаги в последующем процессе клейстеризации. После вальцевания зерно подается на сетчатый клейстеризатор 8, где по мере его продвижения происходит дальнейший нагрев зерна до температуры клейстеризации и насыщение влагой за счет тепловой энергии источников

ИК излучения и влаги, выделенной в процессе сушки предшествующего потока зерна. В данном процессе зерно размягчается и увеличивается в размере, вследствие набухания крахмальных зерен и образования вязкого коллоидного раствора, Прошедшее клейстеризацию зерно плющится плющилкой 9 с образованием тонких хлопьев, которые затем подвергаются процессу сушки на сетчатом транспортере-сушилке 10. Высушенные до определенной влажности хлопья поступают на под 3, где осуществляется декстринизация крахмала зерна под воздействием инфракрасных излучателей источников ИК излучения 4. Нагретые в процессе обработки хлопья проходят охлаждение на охладителе 11, а затем подаются на выгрузку. Тепло, выделенное в процессе охлаждения хлопьев, утилизируется в камеру 2. Система управления электроэнергией 6 обеспечивает регулирование режима работы инфракрасных излучателей 4. Применение предлагаемое установки позволяет повысить качество зерна за счет более полного проведения процессов клейстеризации и декстринизации крахмала, при этом процессу клейстеризации подвергаются целые зерна, а процессу декстринизации - их тонкие хлопья. Установка для тепловой обработки зерна, содержащая бункер-питатель, установленный перед теплоизолированной камерой с зонами загрузки и выгрузки, смонтированный внутри камеры под в виде бесконечной ленты, инфракрасные излучатели, вертикальные перегородки и систему 10 регулирования подачи электроэнергии, отличающаяся тем, что, с целью повышения качества обрабатываемого зерна путем увеличения степени клейстеризации и декстринизации крахмала, она дополнительно 15 оснащена смонтированными в теплоизолированной камере вальцами, клейстеризатором, плющилкой, сетчатым транспортером-сушилкой и охладителем, а бункер-питатель - шлюзовым затвором и 20 вентилятором в верхней части и тарельчатым дозатором - в нижней, при этом нижняя часть бункера-питателя выполнена перфорированной. Клейстеризатор представляет собой бесконечную сетчатую ленту, вальцы 25 установлены под бункером-питателем в начальной ветви клейстеризатора по ходу движения обрабатываемого зерна, а в конце последнего и под выходной его ветвью размещена плющилка, причем клейстеризатор, 25 сетчатый транспортер-сушилка, под и охладитель расположены последовательно один под другим с обеспечением возможности движения в противоположных направлениях одного относительно последующего для 30 перемещения обрабатываемого зерна от зоны загрузки теплоизолированной камеры до зоны выгрузки последней, при этом инфракрасные излучатели расположены между подом и сетчатым транспортером-

сушилкой, а 35 над последним и под клейстеризатором установлены вертикальные перегородки.

1.3 Теоретические и экспериментальные исследования по сушке зерна

Современные технология и техника сушки и вентилирования семян базируются на общей теории сушки коллоидных капиллярно-пористых тел и на учете специфических свойств зерна [19].

Непрерывный рост производства зерна, интенсификация процессов сушки, совершенствование методов его хранения требуют все более глубокого и детального изучения механизма переноса тепла и влаги в зерне, роли и значения влаги в процессах его жизнедеятельности.

Наиболее характерной особенностью зерна как объекта сушки и вентилирования является его биологическая сущность. Зерно – живой организм, в котором непрерывно происходят сложные процессы обмена веществ.

Теория сушки нашла отражение в работах выдающихся ученых, таких как М. В. Ломоносов, Г. В. Рихман, Д. Дальтон, Ш. Фурье, У. Томсон и других ученых XVIII-XIX вв.

Основные положения, описывающие кинетику сушки, были впервые нашли отражение в работах русских ученых: П. С. Коссовичем и А. В. Лебедевым применительно к испарению влаги из почвы. Этими учеными было выявлено, что механизм перемещения влаги внутри почвы определяется формой связи влаги с влажными дисперсными материалами, а процесс сушки имеет свою периодичность. В создание современной теории сушки немалый вклад внесли такие ученые, как А.В. Лыков, Г. К. Филоненко, И. М. Федоровым, А.С. Гинзбург, П.Д. Лебедев и др. В 30-е годы прошлого века американские ученые У. К. Льюисом и Т. К. Шервудом применили закон классической теории диффузии для описания механизма перемещения влаги внутри материала в течение сушки. Позже Т. К. Шервудом в 1932 году для определения кинетики сушки были установлены температурные кривые, на основе которых предложены основные закономерности механизма сушки и, в частности, исследована теория углубления зоны испарения.

Особое место среди представленных исследований занимают работы Л.К. Рамзина по термодинамике увлажненного газа и в 1918 г. была предложена I-d диаграмма влажного воздуха. Основные положения, заложенные Л. К. Рамзиным, до нынешнего времени остаются неизменными. Кроме того, П.А. Ребиндер предложил термодинамический принцип для определения связи влаги и материала.

Структура воды, находящейся в зерне, нашла отражение в работах Е.Д. Казакова.

Работы в области биохимии зерна и зерноведения были проведены такими учеными, как В.Л. Кретович, Н.П. Козьмин, Н.И. Соседов, Л.А. Трисвятский, Е.Д. Казанов, Н.И. Ленарский, Л.Н. Любарский.

Значительный вклад в совершенствование технологии сушки зерна внесли научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы ученых А.П. Гержоя, В.Ф. Самочетова, В.А. Резчикова, Л.Д. Комышника, В.С. Уколова, О.Н. Каткова и др.

В последние годы отечественными и зарубежными исследователями накоплен обширный материал об особенностях физико-химического строения воды, изменениях ее структуры и свойств в результате биологических процессов, происходящих в зерне при созревании, хранении и прорастании. Влияние этих факторов на тепло- и влагообмен при вентилировании и на интенсивность тепловыделений при хранении зерна исключительно велико.

Из многочисленных способов тепловой сушки, различаемых по способу подвода тепла к зерну, наиболее распространен конвективный, однако ведутся исследования по внедрению различных способов интенсификации процессов.

Внутренний и внешний перенос влаги – сложный, многокомплексный процесс, который является трудным для экспериментального исследования, и по этим причинам изучен не до конца.

Протекание процесса сушки зерна состоит из двух этапов: подвод влаги к его поверхности и удаление влаги с его поверхности в окружающую среду.

При конвективной сушке агент сушки пронизывает зерновой слой, производя обтекание зерновок. При этом у поверхности зерновок образуется так называемый пограничный слой, через который производится теплопередача от агента сушки к поверхности зерновки и молекулы пара с поверхности материала диффундируют с окружающим воздухом.

Пограничный слой оказывает значительное сопротивление выделению влаги из зерна, и его параметры (толщина, температура) оказывают значительное воздействие на весь процесс сушки. В данном слое градиенты скорости и температуры сушильного агента направлены от поверхности зерновки, а градиент парциального давления пара – в обратную сторону.

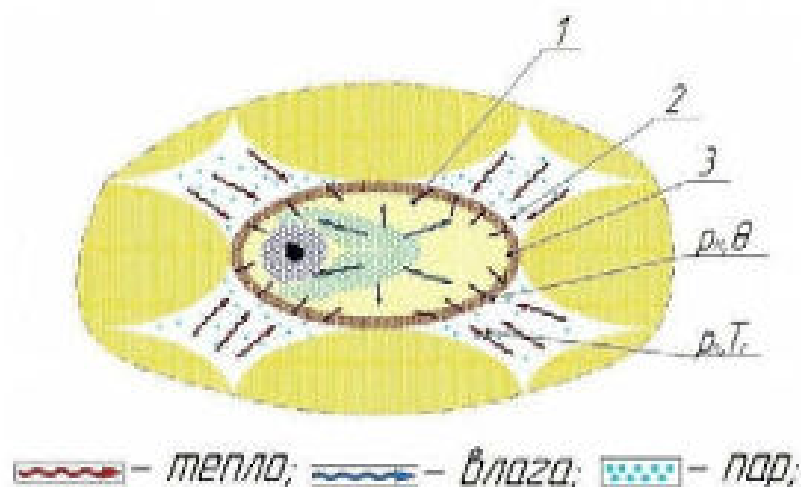
Соответственно, в максимальной близости к поверхности зерновки скорость сушильного агента равна нулю, а температура находится в непосредственной близости к температуре поверхности зерновки Θ (температура сушильного агента всегда выше

температуры зерна). Парциальное давление водяного пара в пограничной зоне равно парциальному давлению насыщенного пара p_m при температуре поверхности зерновки θ . При удалении от поверхности зерновки данные параметры в течении времени изменяются и на наружной границе пограничного слоя выравниваются.

Параметры пограничного слоя зависят в большинстве от состояния и формы обтекаемой поверхности; она прямо пропорциональна вязкости агента сушки и обратно пропорциональна скорости его движения, а также зависит от направления потока сушильного агента. Данное положение объясняется следующим: при изменении направления движения сушильного агента к поверхности без увеличения или снижения его скорости, толщина пограничного слоя становится меньше вследствие его интенсивного перемешивания и, следовательно, увеличивается количество испаренной влаги из зерна.

Принцип удаления влаги из зерна при конвективной сушке схематически может быть представлен в следующем виде (рисунок 1.11).

По поверхности влажной зерновки движется сушильный агент с установленными параметрами. Тепло от сушильного агента передается зерновке посредством конвекции; поверхность зерна нагревается и часть влаги, которая находится у поверхности, испаряется. При протекании данного процесса по толщине зерновки изменяется влагосодержание, температура и давление, под действием которых влага интенсивно выделяется на поверхность, где она испаряется. Молекулы пара диффундируют с сушильным агентом и поглощаются им. Необходимым условием этого процесса является наличие разности между парциальным давлением у ее поверхности p_m и в сушильном агенте p_n .



1 – зерновка; 2 – пограничный слой; 3 – зона испарения; p_n, T_c – парциальное давление и температура сушильного агента; p_m, θ – парциальное давление пара и температура агента сушки у поверхности зерновки.

Рисунок 1.19 – Схема механизма удаления влаги при конвективной сушке зерна

Испарение влаги происходит не с поверхности зерновки, а из некоторой зоны 3, расположенной в периферийной части зерновки. Кроме того, положение данной зоны постепенно перемещается к центру зерновки. Начальную стадию углубления зоны испарения большинство исследователей связывают с началом удаления из зерна механически связанной влаги. При углублении зоны испарения поверхность зерновки остается обезвоженной, что может привести к его перегреву и потере семенных свойств.

Для правильного, научно обоснованного выбора режимов ИК-облучения при сушке и термической обработке зерна необходимо знать его оптические и терморадационные характеристики.

При сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов, к которым относится также зерно пшеницы и большинство пищевых продуктов, важную роль играют поглощательная и пропускательная способности (проницаемость) поверхностных слоев. Между поглощательной и пропускательной способностями существует обратная зависимость: если поверхностный слой материала имеет большую поглощательную способность, то его проницаемость невелика, и наоборот.

Для обеспечения более интенсивного нагрева и сушки материала желательно, чтобы поверхностные слои его имели большую пропускательную способность, т.е. чтобы зона максимальной температуры значительно углублялась внутрь материала.

Для повышения проницаемости влажного материала значительной толщины эффект дает совместное использование световых и инфракрасных лучей, т.е. применение световых генераторов излучения.

Проницаемость материала экспериментально исследована рядом авторов (П.Д. Лебедев, Д.П. Лебедев, Е.Р. Сегал, В. Юбиц, А.С. Гинзбург, О.И. Рослякова, А.А. Михелев, А.Т. Лисовенко, Н.Ф. Доронин, Н.Г. Селюков, В.В. Красников, Г.Н. Грибкова, Ю.М. Плаксин и др.) [35-37, 42-44, 50,182].

В своей работе Г.Н. Грибкова отмечает, что малая толщина оболочек, и практически полное отсутствие поглощения ими излучения, приводят к тому, что оптические свойства зерна в целом определяются оптическими свойствами его эндосперма, что подтверждено экспериментальными данными. Спектры отражения

(пропускания) влажных, так же как и сухих зерновых материалов сходны между собой в качественном отношении. Общими чертами спектров является наличие малого отражения и большого поглощения в области 0,3...0,5 мкм, положение максимума пропускания приходится на длину волны равной $\lambda = 1,1$ мкм. Полученные ее данные для эндосперма пшеницы представлены на рисунок 1.20.

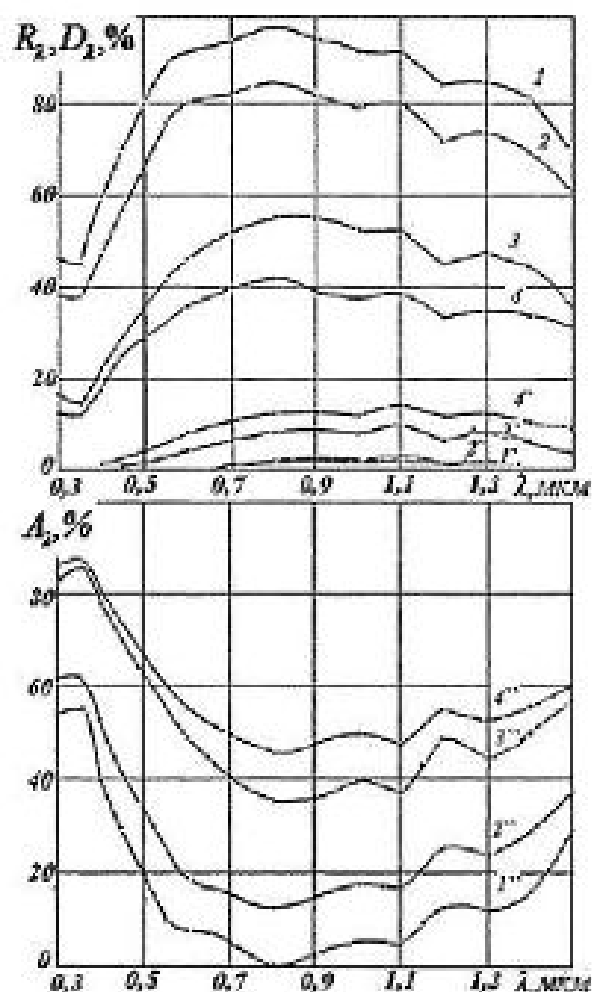


Рисунок 1.5 – Зависимость спектральных (отражательной R_x (1...4), пропускательной D_x (Γ ...4') и поглощательной A_λ (Γ ...4'')) способностей эндосперма пшеницы различной структуры от длины волны при толщине образцов 2,2 мм и влагосодержании 11,8 %: 1, 1', 1'', 3, 3', 3'' - эндосперм мягкой пшеницы «Мироновская 808»; 2, 2', 2'', 4, 4', 4'' - эндосперм твердой пшеницы «Гордеиформе»; 1, 2, 1', 2', 1'', 2'' - мучнистая структура; 3, 4, 3', 4', 3'', 4'' - стекловидная структура

В.А. Гунькин также отмечает, что основными параметрами, определяющими ИК-обработку зерна ржи, являются исходная влажность зерна, плотность падающего потока лучистой энергии и время облучения. При медленном нагреве зерна происходит его постепенная сушка. Влага, содержащаяся в зерне, удаляется из него, не нарушая структуру зерна. Полученные им спектральные терморadiационные характеристики зерна ржи

применены для расчета и создания требований к ИК-установкам, обеспечивающим высокую эффективность его обработки. Для термообработки ржи ИК-излучением он рекомендует использовать светлые ИК-генераторы, с максимумом излучения 0,8... 1,2 мкм.

Как сообщают С.Г. Ильясов и В.В. Красников в характер зависимости коэффициента поглощения k_λ и рассеяния для эндосперма различной консистенции одинаков, но для мучнистого эндосперма эта зависимость выражена более ярко. Критерий рассеяния для мучнистого эндосперма в области спектра 0,4-1,4 мкм достигает величин 0,97-0,99, а удельное поглощение $k_\lambda/s_\lambda = 0,006...0,033$. Следовательно, мучнистый эндосперм относится к сильно рассеивающим и практически не поглощающим материалам.

Д.П. Лебедев и А.А. Пенкин также отмечают, что наиболее эффективной областью использования ИК-излучения для сушки и дезинсекции является полоса с длинами волн 0,76...2,7 мкм, что является определяющим при выборе источника ИК-излучения.

Выполненные основополагающие теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что для описания процессов распространения и ослабления излучения в зерне (как и в других подобных объектах) достаточно располагать сведениями по группе экспериментальных показателей: коэффициенту поглощения k_λ и коэффициенту рассеяния «назад» s_λ . Их сочетание дает критерий Шустера:

$$\Lambda_s = \frac{S_\lambda}{k_\lambda + S_\lambda} \quad (1.1)$$

Для таких материалов как зерно, хлебобулочные изделия, мука и т.п. в рабочей области излучения инфракрасного спектра 0,7...2,5 мкм длины волны величина критерия Шустера $\Lambda_s > 0,9$, а $s_\lambda \gg k_\lambda$. При изменении величины рассеяния назад s_λ даже на 20 % отклонение значения критерия Шустера от первоначальных не превышает 1 %. Поэтому в практических решениях инженерных задач по облучению перечисленных выше объектов используют усредненную величину критерия Шустера.

В существующих конструкциях микрсизаторов осуществляется одностороннее облучение зерна диффузным лучистым потоком. Для этого случая пропускательная способность определяется выражением:

$$D_s = \frac{(1 - R_{\text{от}}^2) \cdot \exp(-L_s \cdot \tau_1)}{1 - R_{\text{от}}^2 \cdot \exp(-2L_s \cdot \tau_1)} \quad (1.2)$$

а отражательная способность описывается уравнением:

$$R_{\lambda} = R_{\infty} \cdot \frac{1 - \exp(-2L_{\lambda} \cdot \tau_1)}{1 - R_{\infty}^2 \cdot \exp(-2L_{\lambda} \cdot \tau_1)} \quad (1.3)$$

На основе этого получаем для S_{λ} и k_{λ} следующие зависимости:

$$S_{\lambda} = \frac{2 \cdot R_{\infty}}{1 - R_{\infty}^2} \cdot L_{\lambda}, \quad (1.4)$$

$$k_{\lambda} = \frac{1 - R_{\infty}}{1 + R_{\infty}} \cdot L_{\lambda}. \quad (1.5)$$

Они позволяют определить спектральные оптические характеристики материала по экспериментально найденным значениям R_{λ} и D_{λ} слоя конечной толщины l , а также R_{∞} оптически бесконечного толстого слоя.

Значение коэффициента поглощения k_{λ} вычисляется после определения L_{λ} . Он находится из следующего соотношения:

$$k_{\lambda} = \frac{1 - R_{\infty}}{1 + R_{\infty}} \cdot L_{\lambda}. \quad (1.6)$$

1.4 Цель работы и задачи исследования

Разработки по созданию машин для ИК сушки зерна с применением ленточного конвейера показывают на недостаток сведений, которые необходимы для создания подходящих решений по повышению производительности, а так же снижению энергоемкости и металлоемкости оборудования, что не отвечает современным технологическим и экономическим требованиям обработки зерна [10]. Работы ученых по исследованию процесса тепловой обработки машинами с ленточным конвейером указывают на ограниченность дальнейшего повышения его увеличения. На ряду этого обосновано, что многие научные коллективы находятся в поиске новейших путей по улучшению технологических процессов приготовления комбикорма с использованием тепловой обработки [19].

Увеличение скорости движения зернового материала по ленточному конвейеру влечет за собой необходимость повышения мощности ламп ИК-излучения, чтобы как можно большее количество зерна за короткое время могло бы быть подвержено ИК-излучению и иметь состояние нужной экспозиции. Путь этот малоэффективен и называть его перспективным нельзя. В машинах классического типа можно добиться этого за счет повышения мощности излучения ИК-ламп и скорости движения ленточного конвейера. В целях устойчивости процесса тепловой обработки зерна и обеспечения ее прочности, что влечет за собой увеличение массы машины, которая ведет к созданию дорогостоящих и громоздких сооружений.

В результате магистерской работы по изучению возможности улучшению эффективности ИК сушки зерна является разработка установки для его осуществления.

В свете данного вопроса необходимо улучшить процесс тепловой обработки зерна ИК-излучением с применением конвейеров ленточного типа на основе особых технических разработок.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса тепловой обработки зерна установкой для его ИК-сушки, обеспечивающей снижение энергозатрат.

Для достижения цели определены следующие задачи исследования:

- проанализировать современные технологии подготовки зерна;
- разработать установку для ИК-сушки зерна, и рассчитать технологические параметры;
- изучить физико-механические и теплофизические свойства зерна, принятого к исследованию;
- теоретически обосновать параметры устройства для ИК-сушки зерна;
- экспериментально уточнить параметры устройства для ИК-сушки зерна.

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИК-СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Требования, предъявляемые к технологическому процессу термообработки семян зерновых

Для того чтобы в процессе инфракрасной обработки не происходило снижение всхожести семян и, вместе с тем, шло полное уничтожение головневых телиоспор, необходимо точно соблюдать режим инфракрасной обработки. Реакция на обработку у различных культур неодинакова. Кроме того, она колеблется в зависимости от сорта и условий уборки, приемов подготовки семян к хранению и т.д. Очень большое значение для подбора температуры обработки семян имеет их влажность. Чем она выше, тем хуже зерно переносит повышенную температуру.

По этим причинам, необходимо подобрать режим инфракрасной обработки для каждой партии семян. Основным показателем правильности выбора режима служит всхожесть семян. В результате проверки следует брать такую длительность и интенсивность обработки, при которой всхожесть снижается не более чем на 5 %.

При термообработке зерна следует соблюдать следующие условия:

- 1) отбирать для обработки семена с высокими посевными качествами;
- 2) не допускать до обработки семена с высокой влажностью (более 14 %).

2.2. Описание технологического процесса

Проектируемая установка включает в себя две основные части – это протравитель семян ПСШ-5 и сушильную часть установки.

Протравитель ПСШ-5 служит для увлажнения семян раствором микроэлементов с прилипателем. Семена зерновых подлежащих обеззараживанию, подаются с помощью шнека в накопительную камеру 1 протравливателя. Далее из накопительной камеры, через отверстие перед заслонкой, которая регулирует производительность, семена транспортируются в камеру обработки [31].

Туда же из бака поступает раствор микроэлементов с дополнительным введением в него клеевых веществ. Микроэлементы (бор, кобальт, молибден, марганец и медь) повышают устойчивость зерновых культур к головневым болезням. Концентрация микроэлементов зависит от типа почвы и содержания в ней солей. Микроэлементы подбирают в зависимости от вида почвы и содержания их в семенах.

В качестве прилипателей используют полимеры из отходов фенольной промышленности, например, сульфитно-спиртовую барду, латекс или 5 % раствор

поливинилового спирта – ПВС, 2 % раствора натриевой соли карбоксиметилцеллюлозу – НаКМЦ.

Увлажнение проводится раствором из расчета на одну тонну семян 25 кг воды с температура 15 °С, 0,5 микроэлементов и 0,2 кг полимера [32].

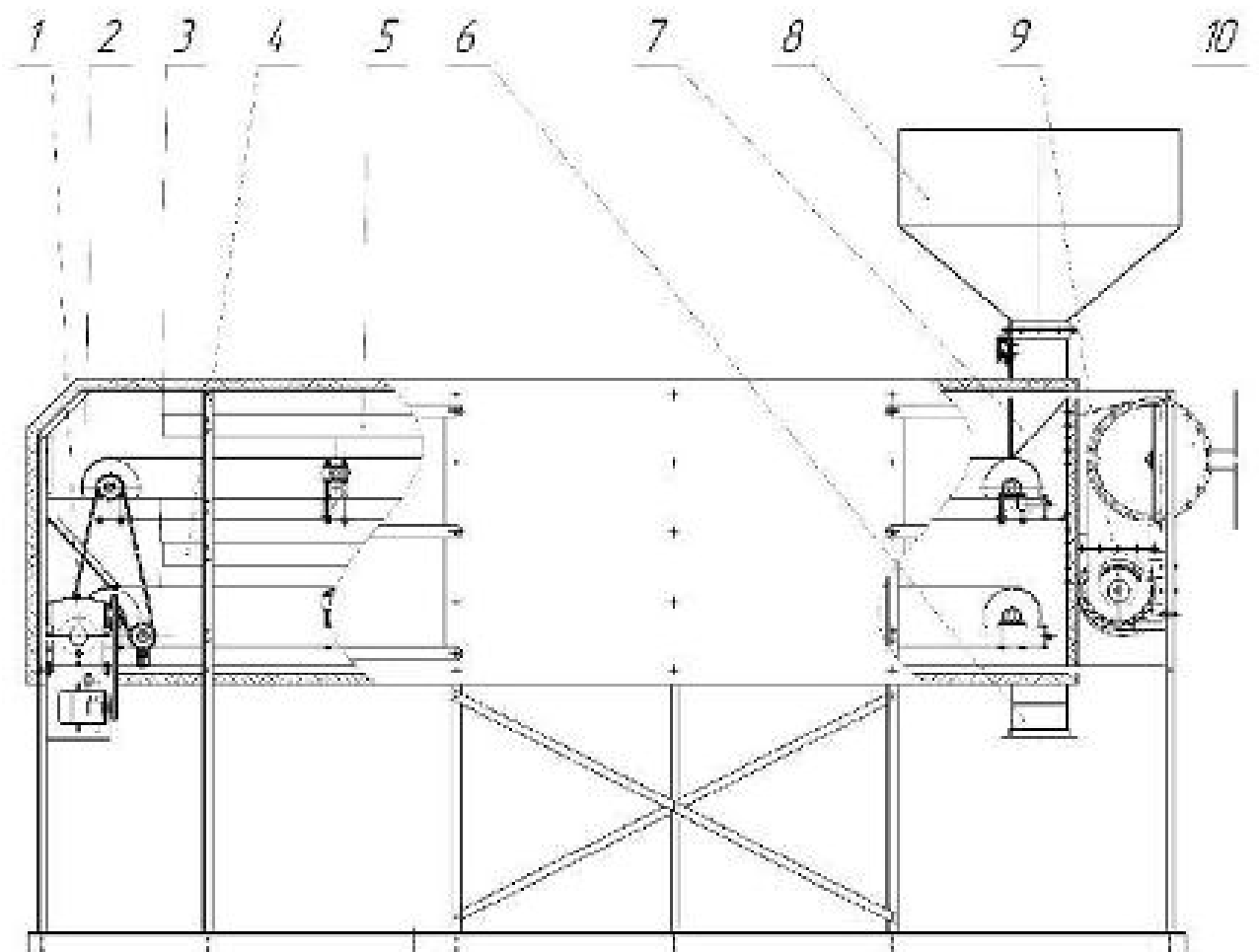
В увлажненном состоянии семена с помощью шнека подаются в распределительный бункер-дозатор, где выдерживаются в течении 8-10 минут. Автоматическое отключение и включение протравливателя происходит с помощью датчиков уровня зерна в бункере. Бункер-дозатор служит одновременно для нескольких целей:

первая задача – согласовать работу ПСШ-5 с производительностью 5 т/ч с работой установки с производительностью 0,5-1 т/ч;

вторая задача – обеспечить равномерное распределение зерна на ленте конвейера для его равномерной и полной сушки. Емкость бункер должна быть подсчитана так, чтобы зерно при работе установки проходило путь от верхнего уровня до нижнего уровня, примерно, за 8-10 минут.

Наличие согласующего бункера-дозатора обеспечивает возможность применения в качестве увлажнителя протравливателя любой производительности.

Далее зерно с помощью конвейера подается в сушильную установку (рисунок 2.1) [29].



1 – червячный редуктор привода транспортера, 2 – верхний транспортер, 3 – нижний транспортер, 4 – нижний инфракрасный облучатель, 5 – верхний инфракрасный облучатель, 6 – выгрузное устройство, 7 – виброток, 8 – бункер дозатор, 9 – центробежный вентилятор, 10 – заслонка воздушная

Рисунок 2.1 – Сушильная установка

Принцип ее работы заключается следующем. Зерно подается в бункер дозатор, с низу которой имеется заслонка для равномерного распределения зерна в один слой. Затем зерно проходя через заслонку, равномерно, в один слой выравнивается на транспортной ленте, где, не доходя до инфракрасных подогревателей начинает подогреваться горячим воздухом, который принял такую температуру от охлаждающегося зерна, которое выходит из сушилки холодным.

Затем подогретое зерно подходит до инфракрасных излучателей. Под действием излучения, зерна начинают нагреваться до еще большей температуры.

Нагревшись, они доходят до края транспортной ленты, где падают и переворачиваются на другую сторону и нагрев продолжается нижним излучателем.

При прохождении дальше по ленте, на зерна перестает действовать облучение. Зерна постепенно охлаждаются за счет воздуха, который уже остыл при прохождении через вихрь поступившие зерна.

Внутри сушилки постоянно циркулирует воздух, который то нагревается в нижней половине сушильной камеры то охлаждается с верху.

Температуру и влажность воздуха можно регулировать при помощи заслонок, которые расположены с правой стороны от сушильной камеры. Заслонки имеют привод от электродвигателя и редуктора, в котором установлены датчики положения заслонок. В сушильной камере установлены измерительные приборы температуры и влажности воздуха, а также зерна. Заслонки, датчики и измерительные приборы контролируют температуру и влажность воздуха в сушильной камере, тем самым обеспечивается равномерная просушка зерна и экономия энергии.

В качестве термонизлучателей используются зеркальные термонизлучатели ИКЗ-250 мощностью 250 Вт и напряжением питания 220 В. Количество ламп и высота подвеса подбираются в зависимости от массы зерна на ленте и требуемой температуры обработки.

Предварительно увлажненные семена облучаются инфракрасным излучением. Основой для расчета мощности облучения является температура зерна, равная 47 °С, при этой температуре зародыши зерна не повреждаются, излучение активизирует ферменты зародыша, что повышает энергию прорастания семян и урожайность зерновых культур. Увлажненные споры возбудителей болезней, насекомые вредители погибают вследствие высокой локальной температуры поверхностных пленок раствора и высокого внутреннего давления в спорах, вызванного испарением влаги. Семена за период увлажнения не успевают поглотить влагу и остаются сухими. Микроэлементы за счет прилипателей в виде защитной пленки остаются на семенах защищают их повторного заражения в период хранения и прорастания.

После обработки семена попадают в накопительный бункер, откуда затариваются в мешкотару или дополнительным транспортом подаются в борт.

2.3. Расчет производительности установки для инфракрасного сушки семян зерновых культур

Определяем часовую производительность установки, $G_{\text{час}}$ [29]

$$G_{\text{час}} = K_{\text{см}} \frac{G}{T}, \text{ кг/час,} \quad (2.1)$$

где $K_{\text{см}}$ – коэффициент использования времени смены, $K_{\text{см}} = 0,94$;

G – количество семенного материала, кг;

T – время, необходимое для обработки семян, $T = 352$ часа;

$$G_{\text{час}} = 0,94 \frac{3 \cdot 10^5}{352} = 800 \text{ кг/час.}$$

Принимаем часовую производительность установки $G_{\text{час}} = 800$ кг/час.

2.4. Расчет емкости распределительного бункера-дозатора

По требованиям технологии необходимо, чтобы зерно выдерживалось после увлажнения время $T_{\text{выд}} \approx 8-10$ минут в бункере-дозаторе, то есть емкость бункера-дозатора нужно подобрать так, чтобы зерно с верхнего уровня до момента начала сушки перемещалось за $T_{\text{выд}} \approx 8-10$ минут. Находим массу зерна $m_{\text{зб}}$, равную производительности установки за данный промежуток времени по формуле [29]

$$m_{\text{зб}} = \frac{G \cdot T_{\text{выд}}}{3,6 \cdot 10^3}, \text{ кг,} \quad (2.2)$$

где $T_{\text{выд}}$ – время, необходимое для выдержки зерна, $T_{\text{выд}} = 480$ сек.

$$m_{\text{зб}} = \frac{800 \cdot 480}{3,6 \cdot 10^3} \text{ кг} = 107 \text{ кг.}$$

Объем $V_{\text{б}}$, занимаемый данной массой зерна равен [29]

$$V_{\text{б}} = \frac{m_{\text{зб}}}{\rho}, \text{ м}^3, \quad (2.3)$$

где $m_{\text{зб}}$ – масса зерна находящегося в бункере, $m_{\text{зб}} = 107$ кг;

ρ – плотность зерновой массы, $\rho \approx 700$ кг/м³;

$$V_6 = \frac{73}{700} \text{ м}^3 = 0,1 \text{ м}^3.$$

Геометрические размеры бункера-дозатора рассчитываем в п. 2.6, исходя из расчетов ширины ленты конвейера.

2.5. Расчет размеров конвейера

Для расчета ширины ленты конвейера конструктивно выбираем высоту транспортирования $H = 0,5 \text{ м}$, угол наклона конвейера $\beta = 10^\circ$, скорость транспортирования $V = 0,25 \text{ м/с}$ исходя из требований технологии.

Определяем длину конвейера L_k по формуле

$$L_k = \frac{H}{\sin \beta}, \text{ м}, \quad (2.4)$$

где H – высота транспортирования, $H=0,5 \text{ м}$,

β – угол наклона конвейера, $\beta=10^\circ$

$$L_k = \frac{0,5}{0,174} = 2,88 \text{ м}$$

Находим длину проекции L на горизонтальную плоскость по формуле

$$L = L_k \cdot \cos \beta, \text{ м}, \quad (2.5)$$

где L_k – длина конвейера, $L_k=2,88 \text{ м}$,

β – угол наклона конвейера, $\beta=10^\circ$

$$L = 2,88 \cdot 0,985 = 2,84 \text{ м}.$$

Определяем секундную производительность G_c , кг/с

$$G_c = \frac{G_{\text{час}}}{3600}, \text{ кг/с}, \quad (2.6)$$

где $G_{\text{час}}$ – часовая производительность, $G_{\text{час}}=800 \text{ кг/час}$;

$$G_c = \frac{800}{3600} = 0,15 \text{ м/с.}$$

Находим ширину ленты В, м [36]

$$B = \sqrt{\frac{G_c}{K_n \cdot K_\rho \cdot \rho \cdot V}} \cdot \text{м}, \quad (2.7)$$

где G_c – секундная производительность, $G_c = 0,15 \text{ м/с}$;

K_n – коэффициент производительности, $K_n = 0,035$;

K_ρ – коэффициент учитывающий осыпание груза, $K_\rho = 0,95$;

ρ – плотность транспортного материала, $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$;

V – скорость транспортирования, $V = 0,025 \text{ м/с}$.

$$B = \sqrt{\frac{0,15}{0,035 \cdot 0,95 \cdot 700 \cdot 0,025}} \cdot \text{м} = 0,505 \text{ м.}$$

Из ряда стандартных значений выбираем $B = 0,5 \text{ м}$.

Выбираем резинотканевую ленту с прокладками из ткани БКНП-65 (с основой и утком из комбинированных нитей), [36] предел прочности ткани $K_p = 65 \text{ Н/мм}$, число прокладок $Z = 3$, толщина прокладки $\delta_0 = 1,15 \text{ мм}$, толщина обрезиненного слоя с рабочей стороны $\delta_1 = 1 \text{ мм}$ (ввиду малой абразивности древесины), с опорной стороны $\delta_2 = 1 \text{ мм}$.

Находим общую толщину ленты δ , мм

$$\delta = \delta_0 \cdot Z + \delta_1 + \delta_2, \text{ мм}, \quad (2.8)$$

где δ_0 – толщина прокладки, $\delta_0 = 1,15 \text{ мм}$;

Z – число прокладок $Z = 3$;

δ_1 – толщина обрезиненного слоя с рабочей стороны $\delta_1 = 1 \text{ мм}$;

δ_2 – толщина обрезиненного слоя с опорной стороны $\delta_2 = 1 \text{ мм}$.

$$\delta = 1,15 \cdot 3 + 1 + 1 = 5,45 \text{ мм.}$$

2.6. Расчет геометрических размеров бункера-дозатора

В ходе патентного поиска была найдена приемлемая конструкция бункера-дозатора.

Исходя из конструктивных соображений принимаем длину нижней части бункера $l_d = 0,2$ м, высоту бункера $H_b = 0,5$ м, длину загрузочной части бункера $l_z = 0,6$ м. Тогда угол установки стенок бункера α равен [36]

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{H_b}{l_d} \right) \quad (2.9)$$

где H_b – высота бункера, $H_b = 0,5$ м;

l_d – длина нижней части бункера, $l_d = 0,2$ м.

$$\alpha = \operatorname{arctg} 2,5 = 68^\circ.$$

Угол α должен удовлетворять условие $\alpha > 45^\circ + \phi/2$, где ϕ – угол естественного откоса, для зерна $\phi = 36^\circ$, тогда $\alpha > 63^\circ$. Выбранный угол наклона стенок бункера удовлетворяет условию свободного истечения зерна из бункера-дозатора.

Равномерное распределение зерна на ленте (слой $h = 0,015$ м) достигается за счет того, что дно бункера образовано лентой транспортера, а на выходе ленты из бункера установлена шиберная заслонка, образующая отверстие прямоугольного профиля высотой $0,015$ м и шириной $0,5$ м.

Находим длину образующей бункера l_o , м [36]

$$l_o = \frac{H_b}{\sin \alpha}, \text{ м} \quad (2.10)$$

где H_b – высота бункера, $H_b = 0,5$ м;

α – угол установки стенок бункера, $\alpha = 68^\circ$.

$$l_o = \frac{0,5}{\sin 68^\circ} \text{ м} = 0,38 \text{ м}.$$

Объем бункера V_b находим из формулы [36]

$$V_b = (l_z + l_o) \cdot H_b \cdot B_b, \text{ м}^3, \quad (2.11)$$

где l_z и l_o – длина загрузочной и нижней части бункера (соответственно $0,6$ и $0,2$ м);

H_b – высота бункера, $H_b = 0,5$ м;

B_{δ} – ширина бункера, $B_{\delta} = 0,5$ м

$$V_{\delta} = (0,6 - 0,2) \cdot 0,5 \cdot 0,5 \text{ м}^3 = 0,1 \text{ м}^3$$

Емкость бункера $V_{\delta} = 0,1 \text{ м}^3$ удовлетворяет требованиям технологии.

2.7. Расчет мощности излучателей и их расположения над лентой конвейера

Расчет мощности теплоизлучателя проведем на основе формулы лучистого теплообмена [34], исходя из количества тепла, необходимого для нагрева данной массы зерна до температуры $t_k = 47^\circ \text{C}$.

Предварительно рассчитаем массу зерна, находящуюся на ленте конвейера под излучателями.

Рабочая длина транспортера L_p определяется по формуле [36]

$$L_p = L_k - l_{\delta}, \text{ м}, \quad (2.12)$$

где L_k – общая длина конвейера, $L_k = 2,8$ м;

l_{δ} – длина нижней части бункера, $l_{\delta} = 0,2$ м.

$$L_p = 2,8 - 0,2 \text{ м} = 2,6 \text{ м}$$

Найдем объем зернового слоя, находящегося на ленте конвейера V_z , м^3 [36]

$$V_z = L_p \cdot B \cdot h, \text{ м}^3 \quad (2.13)$$

где L_p – рабочая длина конвейера, $L_p = 2,6$ м;

B – ширина ленты конвейера, $B = 0,5$ м;

h – высота слоя зерна, $h = 0,015$ м

$$V_z = 2,6 \cdot 0,5 \cdot 0,015 = 0,0195 \text{ м}^3$$

Определим массу зернового слоя m_z по формуле

$$m_z = V_z \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (2.14)$$

где m_z – масса зернового слоя, кг;

V_z – объем зерна, $V = 0,0195 \text{ м}^3$;

ρ – плотность зерна, $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$.

$$m_z = 0,0195 \cdot 700 \text{ кг} = 13,6 \text{ кг}.$$

Проверяем полученные данные массы зернового слоя по другой формуле, в которой учитывается часовая производительность установки и время сушки семян

$$m_{з1} = \frac{G_{\text{час}} \cdot T_{\text{обс}}}{3,6 \cdot 10^3}, \text{ кг}, \quad (2.15)$$

где $T_{\text{обс}}$ – время сушки зерна, $T_{\text{обс}} = 100 \text{ с}$.

$$m_{з1} = \frac{800 \cdot 100}{3,6 \cdot 10^3} \text{ кг} = 14 \text{ кг} \approx m_z$$

Равенство масс зернового слоя, расчет которых выполнен по разным методикам, позволяет сделать вывод о том, что расчет конвейера произведен верно.

Количество теплоты Q_n , расходуемое на нагрев зерна рассчитывается по формуле [35]

$$Q_n = C_z \cdot m_z (t_k - t_n), \text{ кДж}, \quad (2.16)$$

где C_z – теплоемкость зерна при влажности 14 %, $C_z = 1,72 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$;

t_k – конечная температура зерна, $t_k = 47 ^\circ\text{С}$;

t_n – начальная температура зерна, для марта характерна $t_n = 0 ^\circ\text{С}$.

$$Q_n = 1,72 \cdot 13,6 \cdot 47 = 1038 \text{ кДж}.$$

Расчетное количество тепла $Q_{\text{расч}}$, с учетом потерь тепла 20 % определяется по формуле [33]

$$Q_{расч} = 1,2 \cdot Q_n, \text{ кДж} \quad (2.17)$$

где Q_n - количество теплоты, расходуемое на нагрев зерна, $Q_n = 1038$ кДж.

$$Q_{расч} = 1,2 \cdot 1038 = 1245 \text{ кДж.}$$

Рассчитываем необходимую мощность излучателей P [33]

$$P = \frac{Q_{расч}}{T_{обн}}, \text{ кВт} \quad (2.18)$$

где $Q_{расч}$ - расчетное количество теплоты, $Q_{расч} = 1245$ кДж

$$P = \frac{1245}{100} = 12,5 \text{ кВт.}$$

Количество ламп-термоизлучателей N_L определяем, исходя из найденного значения P и величины удельной установленной мощности излучателей $P_{уд}$ [33]

$$N_L = \frac{P}{P_{уд}}, \quad (2.19)$$

где P - мощность излучателей, $P = 12,5$ кВт;

$P_{уд}$ - удельная установленная мощность излучателей, $P = 0,25$ кВт;

$$N_L = \frac{12,5}{0,25} = 50 \text{ шт.}$$

Исходя из того, что лампы размещаются в два ряда, округляем N до 48 штук.

Высоту подвеса ламп находим по номограмме [39] для выбора высоты подвеса облучателей с лампами ИКЗ-250 по температуре нагрева: $H_{подв} = 0,2$ м.

2.8 Тепловой баланс процесса инфракрасной сушки зерна

Для нахождения необходимого количества теплоты, которое требуется на процесс инфракрасной сушки зерна нужно определить тепловой баланс устройства. Тепловой баланс при прохождении процесса – это тождество количества теплоты, которое поступило в устройство для инфракрасной сушки зерна, и количество теплоты, которое уходит из нее.

Количество теплоты, которое поступило в устройство для инфракрасной сушки зерна, $Q_{\text{кхот}}$, складывается из: теплоты $Q_{\text{л}}$, вносимой в установку от ИК – излучения; теплоты $Q_{\text{зерл}}$, поступающей в установку для инфракрасной сушки вместе с фуражным зерном; теплоты $Q_{\text{возл}}$, поступающей с воздухом в установку.

Общее количество теплоты, поступающее в установку для инфракрасной сушки зерна, будет

$$Q_{\text{кхот}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{зерл}} + Q_{\text{возл}} \quad (2.20)$$

где $Q_{\text{л}}$ – теплота, вносимая в установку для инфракрасной сушки зерна от ИК – излучения, кДж;

$Q_{\text{зерл}}$ – теплота, поступившая в установку для инфракрасной сушки вместе с зерном, кДж;

$Q_{\text{возл}}$ – теплота, поступающая в установку для инфракрасной сушки зерна вместе с воздухом, кДж;

Теплота $Q_{\text{возл}}$, вносимая в установку для инфракрасной сушки зерна вместе с воздухом, равна

$$Q_{\text{возл}} = L \cdot I_{\text{возл}} \quad (2.21)$$

где $I_{\text{возл}}$ – удельная энтальпия воздуха на входе в установку для инфракрасной сушки зерна, кДж/кг;

L – масса поступившего воздуха в установку для инфракрасной сушки зерна, кг;

Энтальпию воздуха на входе в полость облучения можно определить по формуле

$$I_{\text{возл}} = i_{\text{в}} + \chi_{\text{возл}} \cdot i_{\text{п}} \quad (2.22)$$

где $i_{\text{в}}$ – на выходе из устройства удельная энтальпия воздуха, кДж/кг;

$i_{\text{п}}$ – удельная энтальпия пара водяного, который содержится в воздухе на входе в установку для инфракрасной сушки зерна, кДж/кг.

Удельная энтальпия воздуха, выходящего из установки для инфракрасной сушки зерна, равна

$$i_{\text{в}} = c_{\text{в}} \cdot t_{\text{возл}} \quad (2.23)$$

где $c_{\text{в}}$ – средняя удельная теплоемкость воздуха, выходящего из установки для инфракрасной сушки зерна, кДж/(кг · °С);

$t_{\text{возл}}$ – температура воздуха на входе в установку для инфракрасной сушки зерна, °С.

Энтальпия водяного пара, содержащегося в воздухе, который входит в установку, берется из табличных значений. Но на практике зачастую используют эмпирическую формулу

$$i_{\text{п}} = 2493 + 1.97 \cdot t_{\text{возл}} \quad (2.24)$$

Выражения (2.22) и (2.23) подставим в уравнение (2.24) и учитывая, то что c_B принимают равным $1 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, тогда получим

$$I_{Вход1} = t_{Вход1} + \chi_{Вход1} \cdot 2493 + 1.97 \cdot t_{Вход1} \quad (2.25)$$

Теплоту $Q_{Зер1}$, поступающую в установку для инфракрасной сушки с зерном, определим по формуле

$$Q_{Зер1} = t_{Зер1} \cdot c_1 \cdot m_{Зер1} \quad (2.26)$$

где $t_{Зер1}$ – температура фуражного зерна, поступающего на инфракрасную сушку, $^\circ\text{C}$;

c_0 – удельная теплоемкость фуражного зерна до инфракрасной сушки, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$m_{Зер1}$ – масса фуражного зерна, поступающего на инфракрасную сушку, кг.

Количество теплоты, уходящее из установки для инфракрасной сушки зерна $Q_{Вход}$, складывается из теплоты Q_{II} , теряемой от стенки кожуха-отражателя установки для инфракрасной сушки; теплоты $Q_{Зер2}$, уходящей с фуражным зерном; теплоты $Q_{Вход2}$, теряемой вместе с выходящим из установки воздухом.

Общее количество теплоты, уходящее из установки для инфракрасной сушки зерна, будет равно

$$Q_{Вход} = Q_{II} + Q_{Зер2} + Q_{Вход2} \quad (2.27)$$

Количество теплоты $Q_{Зер2}$, уходящее с фуражным зерном, находится по формуле

$$Q_{Зер2} = c_2 \cdot t_{Зер2} \cdot m_{Зер2} \quad (2.28)$$

где c_2 – удельная теплоемкость фуражного зерна после инфракрасной сушки, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$t_{Зер2}$ – температура фуражного зерна, выходящего из установки для инфракрасной сушки зерна, $^\circ\text{C}$;

$m_{Зер2}$ – масса фуражного зерна после инфракрасной сушки, кг.

Количество теплоты Q_{II} , теряемое через стенки кожуха-отражателя установки для инфракрасной сушки зерна в окружающую среду, будет равно

$$Q_{II} = \alpha_c \cdot F_n (t_{cm} - t_1) \cdot \tau \quad (2.29)$$

где α_c – коэффициент суммарной теплоотдачи конвекцией, а также излучением сквозь стенки кожуха-отражателя установки для инфракрасной сушки, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

F_n – площадь наружной поверхности стенки кожуха-отражателя установки для инфракрасной сушки зерна, м^2 ;

t_{cm} – средняя температура стенки кожуха-отражателя, $^\circ\text{C}$;

t_1 – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

τ – время инфракрасной сушки зерна, ч.

Теплота $Q_{\text{Возд}2}$, выводимая из установки для инфракрасной сушки зерна вместе с воздухом, равна

$$Q_{\text{Возд}2} = L_2 \cdot I_{\text{Возд}2} \quad (2.30)$$

где $I_{\text{Возд}2}$ – удельная энтальпия воздуха на выходе из установки для инфракрасной сушки зерна, кДж/кг ;

L_2 – масса воздуха на выходе из установки для инфракрасной сушки зерна, кг ;

Энтальпию воздуха на выходе из полости облучения можно определить по формуле

$$I_{\text{Возд}2} = i_{\text{В}2} + \chi_{\text{Возд}2} \cdot i_{\text{П}1} \quad (2.31)$$

где $i_{\text{В}2}$ – на выходе из устройства удельная энтальпия воздуха, кДж/кг ;

$i_{\text{П}1}$ – удельная энтальпия пара водяного, который содержится в воздухе на входе в устройства для инфракрасной сушки зерна, кДж/кг .

Удельная энтальпия воздуха, выходящего из устройства для инфракрасной сушки зерна, равна.

$$i_{\text{В}2} = c_{\text{В}2} \cdot t_{\text{Возд}2} \quad (2.32)$$

где $c_{\text{В}2}$ – средняя удельная теплоемкость воздуха, выходящего из устройства для инфракрасной сушки зерна, $\text{кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$t_{\text{Возд}2}$ – температура воздуха на выходе из установки для инфракрасной сушки зерна, $^\circ\text{C}$.

Энтальпия водяного пара, содержащегося в воздухе, который выходит из установки, берется из табличных значений. Но на практике зачастую используют эмпирическую формулу

$$i_{\text{П}2} = 2493 + 1.97 \cdot t_{\text{Возд}2} \quad (2.33)$$

Выражения (2.31) и подставив, при этом учитывая, что $c_{\text{В}}$ принимаем равным $1 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, получим

$$I_{\text{Возд}2} = t_{\text{Возд}2} + \chi_{\text{Возд}2} \cdot (2493 + 1.97 \cdot t_{\text{Возд}2}) \quad (2.34)$$

В результате установившегося режима работы устройства для инфракрасной сушки зерна составляющие теплоты прихода и расхода тождественны, то получаем, что формула теплового баланса процесса инфракрасной сушки имеет следующий вид

$$Q_{\text{Зер}1} + Q_{\text{П}} + Q_{\text{Возд}1} = Q_{\text{П}} + Q_{\text{Зер}2} + Q_{\text{Возд}2} \quad (2.35)$$

Подставив значения в уравнение, получим

$$L_1 \cdot I_{\text{воз1}} + (c_1 \cdot t_{\text{зер1}} \cdot m_{\text{зер1}}) + Q_{\text{д}} = L_2 \cdot I_{\text{воз2}} + (c_2 \cdot t_{\text{зер2}} \cdot m_{\text{зер2}}) + \alpha_c \cdot F_n \cdot (t_{\text{см}} - t_1) \cdot \tau \quad (2.36)$$

Из равенства можно определить расход теплоты на инфракрасную сушку

$$Q_{\text{д}} = L \cdot (I_{\text{воз2}} - I_{\text{воз1}}) + (c_2 \cdot t_2 \cdot m_{\text{зер2}}) + \alpha_c \cdot F_n \cdot (t_{\text{см}} - t_1) \cdot \tau - (c_1 \cdot t_1 \cdot m_{\text{зер1}}) \quad (2.37)$$

Полученное уравнение (2.37) объясняет, что вырабатываемая теплота ИК-излучателем, расходуется как на нагрев зерна, так и компенсацию теплопотерь и испарение из него влаги. Из уравнения (2.37) можем определить необходимое количество теплоты, на инфракрасную сушку зерна в разработанной установке. Расчеты формулы (2.37) показали, что при данных габаритах установки для инфракрасной сушки зерна подходят лампы ИК-излучения мощностью 0,25 кВт (ИКЗ-250).

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа проведения исследований

Для того, чтобы аргументировать конструктивно-технологические параметры и режимы работы устройства для ИК-сушки зерна различных культур необходимо знать его физико-механические, теплофизические и другие свойства, которые могут влиять на энергетические и качественные показатели процесса ИК-сушки.

В виду поставленной задачи программа исследований предполагает:

- определение объемной массы и влажности зерна;
- определение истечения зерна;
- определение угла естественного откоса зерна;
- определение коэффициента трения зерна по стальной поверхности в зависимости от температуры зерна;
- выявление рациональных режимов обработки зерна ИК-лучами.

Зерновая культура, которая была принята к исследованию, это пшеница, сорт «Симбирит».

Физико-механические характеристики определяли по действующим методикам.

При выполнении исследований использовали следующие приборы: литровая пурка ПХ-1, электронные весы ВК-600, масштабная линейка, пирометр.

3.2. Методика определения объёмной массы и влажности зерна

Определение относительной влажности зерна происходит согласно ГОСТ 13496.5-92. Зерно сушилось на протяжении 60 минут в сушильной установке при температуре t , равной 130°C . Влажность W , %, определялась в процентах по формуле:

$$W = 100 \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (3.1)$$

где m_1 - масса зерна до высушивания, кг;

m_2 - масса зерна после высушивания, кг.

Для достижения необходимой влажности зерна добавлялась в него вода. Необходимое количество воды вычислялось с помощью формулы:

$$\Delta m_w = m \left(\frac{W_k - W_n}{100 - W_n} \right), \quad (3.2)$$

где m - масса зерна до увлажнения, кг;

W_k - конечная влажность (задаваемая), %;

W_n - начальная влажность (исходная), %.

Зерно после увлажнения сутки находилось в эксикаторе. Далее в ходе опытов оно хранилось в герметизированных эксикаторах, что сделало возможным поддерживать необходимую влажность зерна постоянной на протяжении всего хода исследований.

Объёмная масса γ , кг/м³ зерна находилась по ГОСТ 28254 - 89. В опыте использовалась пурка литровая ПХ-1 ГОСТ 7861-74 согласно методике, изложенной в ГОСТ 28254-89», а результат вычислялся по формуле:

$$\gamma = \frac{G_z}{V_n}, \quad (3.3)$$

где γ - объёмная масса зерна, кг/м³;

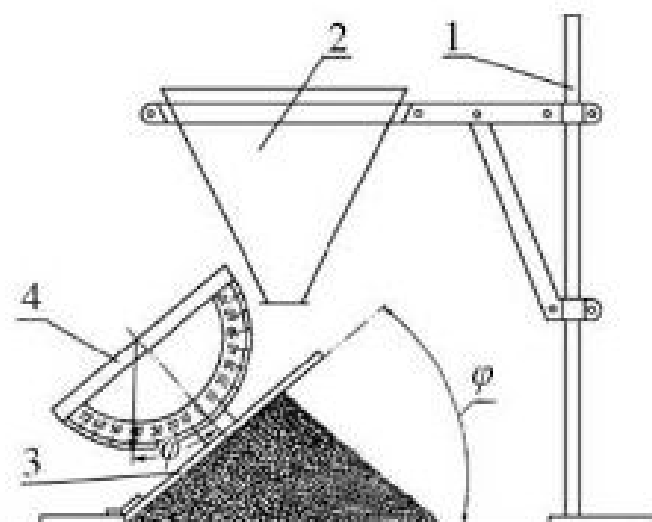
G_z - масса зерна в пурке, кг;

V_n - объём пурки (он равен 0,001 м³).

3.3. Методика определения угла естественного откоса зерна

При проектировании конуса бункера ИК-сушилки необходимо знать коэффициент трения. Методика определения угла естественного откоса зерна производилась согласно ГОСТ 28254 - 89 (рисунок 3.1).

Текучесть - способность зерна перемещаться по наклонной поверхности под действием своей массы. Перемещение зерна в микронизаторе и в других машинах, самотеком возможно лишь благодаря текучести массы зерна. Такой показатель, как текучесть зерна определяется углом трения, углом естественного откоса, динамическим и статическим коэффициентом трения о плоскость того или иного материала и внутренним коэффициентом трения.



1 - штатив установки, 2 - воронка, 3 - пластина, 4 - транспортир со стрелкой; Φ - угол естественного откоса,

Рисунок 3.1 - Схема лабораторной установки для нахождения угла естественного откоса

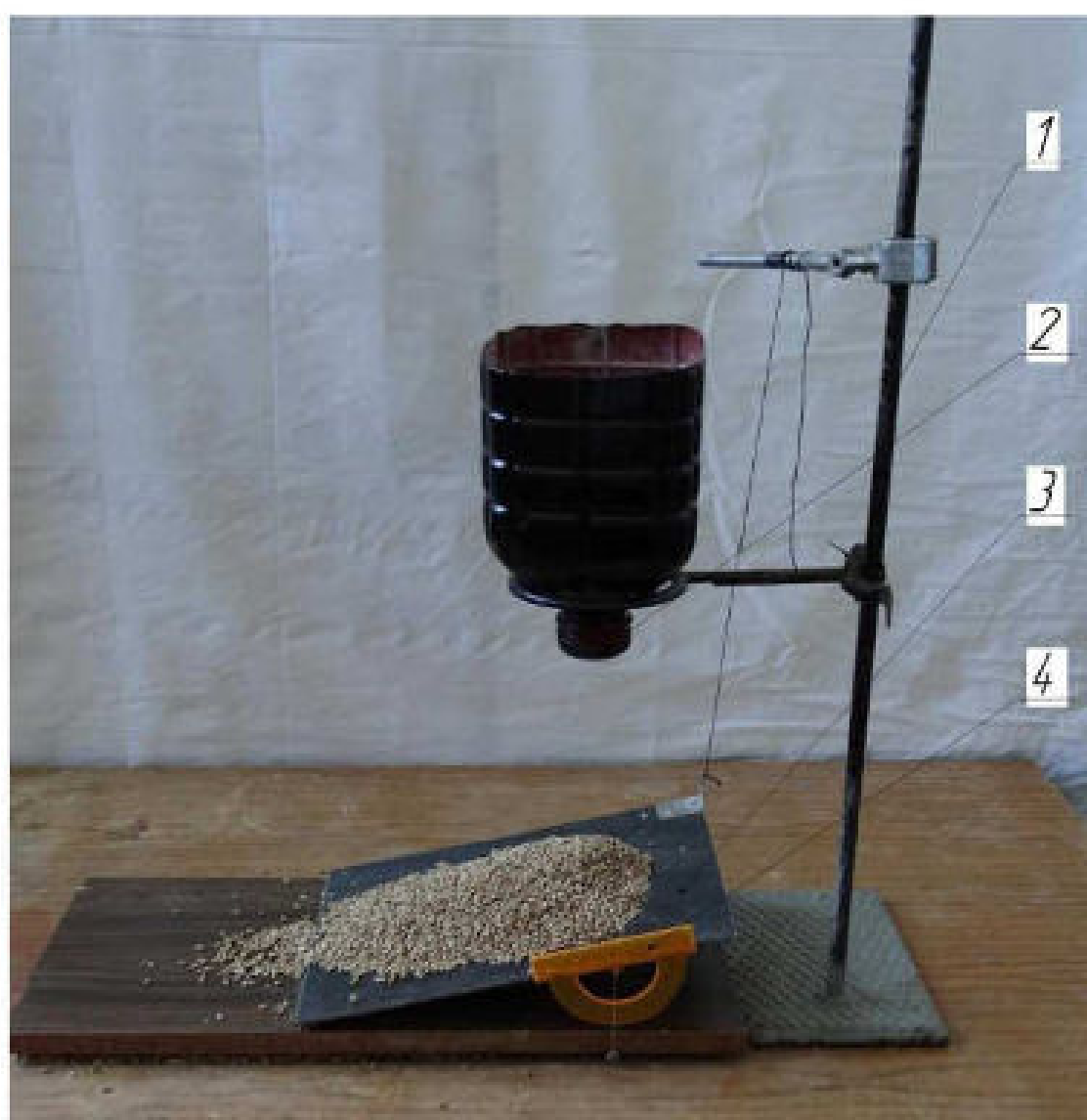
«Угол естественного откоса - это составляющий угол между диаметром

основания и образующей конуса, получающийся при свободном падении зерновой массы на горизонтальную плоскость (рисунок 2.1)».

«Угол трения - это наименьший угол, когда зерно начинает двигаться самотеком по наклонной плоскости».

«Коэффициент статического трения - это тангенс угла трения».

Коэффициент статического трения определяют с помощью установки (рисунок 2.2). Установка состоит из воронки 2, которая закреплена в штативе 1, пластинка 3 на которой закреплен транспортир 4 со стрелкой указательной. В объеме 350мл насыпали из воронки 2 зерно на горизонтальную плоскость. Далее наклоняли пластину 3, и фиксировался угол, при котором зерно начинало сыпаться.



1 - штатив установки; 2 - воронка; 3 - пластинка; 4 - транспортир со стрелкой

Рисунок 3.2 – Общий вид лабораторной установки для нахождения коэффициента статического трения

Опыт для подлинности полученных результатов повторяли трехкратно

3.4 Методика определения истечения зернового материала

Коэффициент трения определяется в результате обмодного перемещения каждого зерна в общей зерновой массе касательно друг друга (т. е. коэффициентом внутреннего трения). Истечение зерна во многом зависит от размера, формы, структуры поверхности зерна, влажности, общего состава примесей в этой массе и от состояния общего поверхности материала, по которому происходит движение зерна.

Наилучшим истечением характерно зерна культур, которые имеют гладкую поверхность и шарообразную форму. В результате этого угол естественного откоса подобного зерна будет значительно меньше. Примеси, которые содержатся в зерновом материале, также снижают сыпучесть. Возрастание влажности зерновой массы в свою очередь снижает истечение, которое ведет к увеличению угла естественного откоса. Соответственно перечисленные факторы характерные для истечения зерна разных видов культур колеблется в широком пределе. В результате на практике появляется необходимость поиска угла уже для конкретного исследуемого вида зерна при определенном значении влажности, которая совпадает с естественным состоянием зерна (при хранении, после уборки и т.д.).

Истечение характеризуется коэффициентом истечения λ который определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{tr}{G}, \quad (3.4)$$

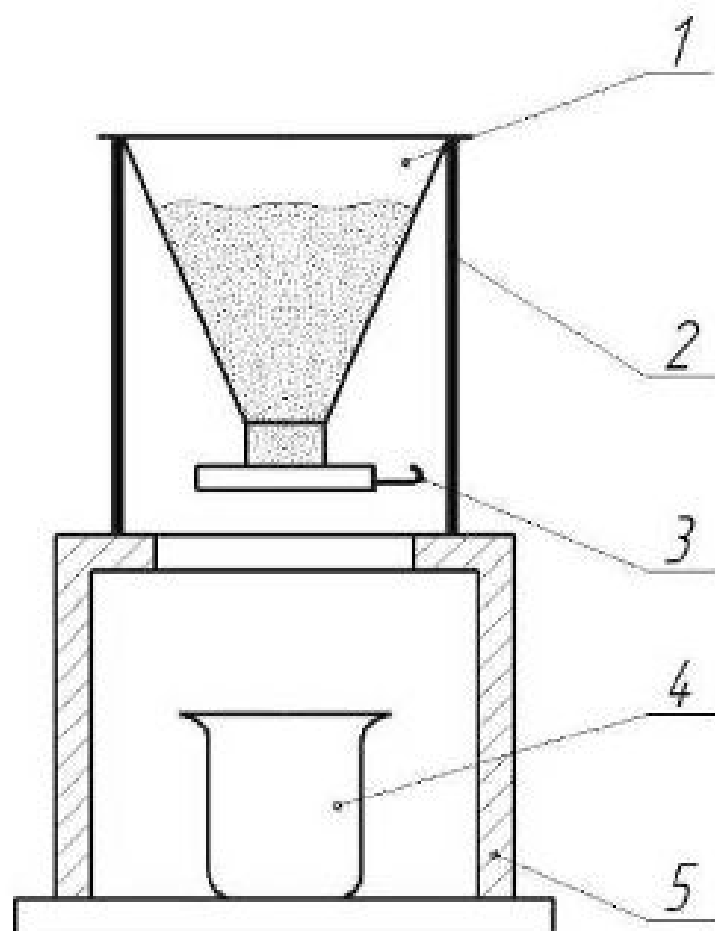
где, t - время истечения зерна из воронки установки, с;

r - радиус сечения отверстия воронки, мм;

G - масса навески зерна, которое истекает из воронки, кг.

На рисунке 3.3 представлена схема установки для определения коэффициента истечения λ , которая включает в себя конусную воронку 1, которая закреплена на стойке 2 и опирается на подставку 5. Где угол конусности воронки равен 60° , а отверстие нижнего диаметра равно 30 мм. Также длина трубки воронки составляет 3 мм, соответственно от основания конуса, которое закрывается заслонкой 3 (рисунок 3.3).

Нахождение истечения зерна проходило следующим способом. В воронку 1, насыпали 0,2 кг исследуемого зерна при условии, что заслонка 3 закрыта. Далее она открывалась, и включался секундомер, при помощи которого определяли время истечения. Для определения времени истечения зерна использовали секундомер типа, у которого цена деления 0,1 с и далее коэффициент истечения определяли по формуле (3.4).



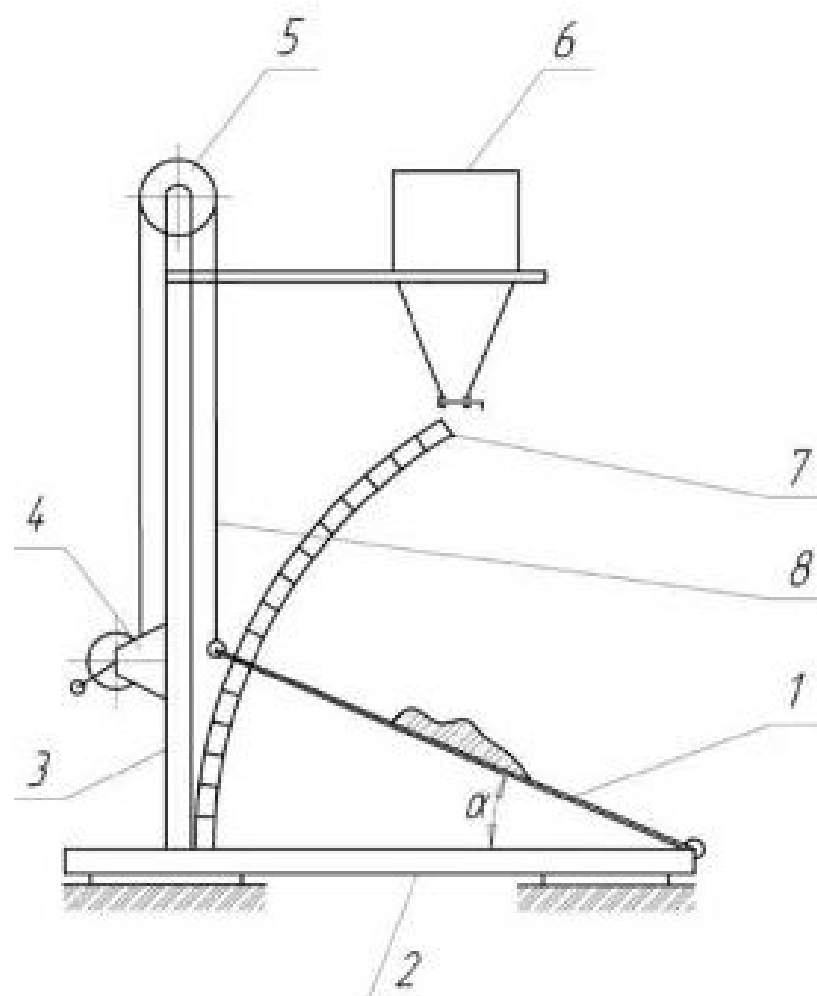
1 - воронка; 2 - стойка установки; 3 - заслонка; 4 - сосуд; 5 - подставка установки.

Рисунок 3.3 - Схема лабораторной установки, на которой определялось истечение зерна

Для достоверности и оценки результатов опытов, проводили их трехкратную повторность.

3.5 Методика определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна

Методика определения коэффициента трения проводилась по ГОСТ 27492-87. Углы трения по металлической поверхности (нержавеющая сталь 12Х189Н10Т ГОСТ 5949-75) при нормальном давлении определяли в состоянии покоя и при движении на установке, схема которой изображена на рисунке 3.4. Из бункера 6 на плоскость металлического листа 1, который находится в горизонтальном положении, насыпали порцию зерна произвольной массы. Далее металлический лист 1 поднимали при помощи лебедки 4 до того момента, пока зерно не начинали свое движение.



1 - металлический лист; 2 - основание установки; 3 - штатив установки; 4 - лебедка; 5 - ролик; 6 - загрузочный бункер; 7 - транспортер; 8 - трос.

Рисунок 3.4 - Схема лабораторной установки по определению коэффициента трения

Статический коэффициент трения $f_{ст}$, вычисляли по формуле:

$$f_{ст} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.5)$$

где α - угол подъема металлического листа.

Коэффициент динамического трения находили с помощью установки, на которой определяли статический угол трения.

Из бункера 6 на наклонный металлический лист 1 равномерно высыпали зерно и одновременно опускали с помощью лебедки 4 металлический лист 1 до того момента, пока поток зерна не прекращал скатываться по плоскости. Далее угол наклона фиксировался.

Динамический коэффициент трения f_d , вычисляли по формуле:

$$f_d = \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.6)$$

где α - угол подъема металлического листа.

В эксперименте нагревали зерно от 20 °С до 180 °С с шагом 10°С.

Для последующей оценки и достоверности результатов динамического и статического угла трения опыт проводили с трехкратной повторностью.

3.6 Методика определения рациональных режимов обработки зерна ИК-лучами

В качестве источника ИК-излучения была использована инфракрасная зеркальная лампа марки ИКЗ- 250. В эксперименте использовалась пшеница сорта «Симбирец».

Для эксперимента предполагается использование зерна, влажность которого приближена к естественной влажности во время уборки и составляет около 13 %. В связи с тем, что в наличии не оказалось пшеницы с такой влажностью, было использовано уже высушенное зерно, влажность которого составляла 13 %. Для доведения пшеницы до естественной влажности была использована методика увлажнения зерна.

Подготовку материала необходимо осуществить следующим образом: за три дня до проведения исследования необходимо увлажнить зерно до заданной влажности, которую определяют с помощью влагомера «Фауна-М» (рисунок 3.5). Для равномерного распределения влажности по всей массе зерна его увлажняют следующим образом. Взвешивают образец сухого зерна G_n и определяют его влажность. Затем рассчитывают количество воды W , которое необходимо добавить к навеске, чтобы получить заданную влажность зерна ω_k^0 по формуле:

$$W = G_n \cdot \frac{(\omega_k^0 - \omega_n^0)}{(100 - \omega_k^0)}, \quad (3.7)$$

где G_n - масса зерна при влажности ω_n^0 , кг;

ω_n^0 , ω_k^0 - влажность зерна соответственно до и после увлажнения, %.



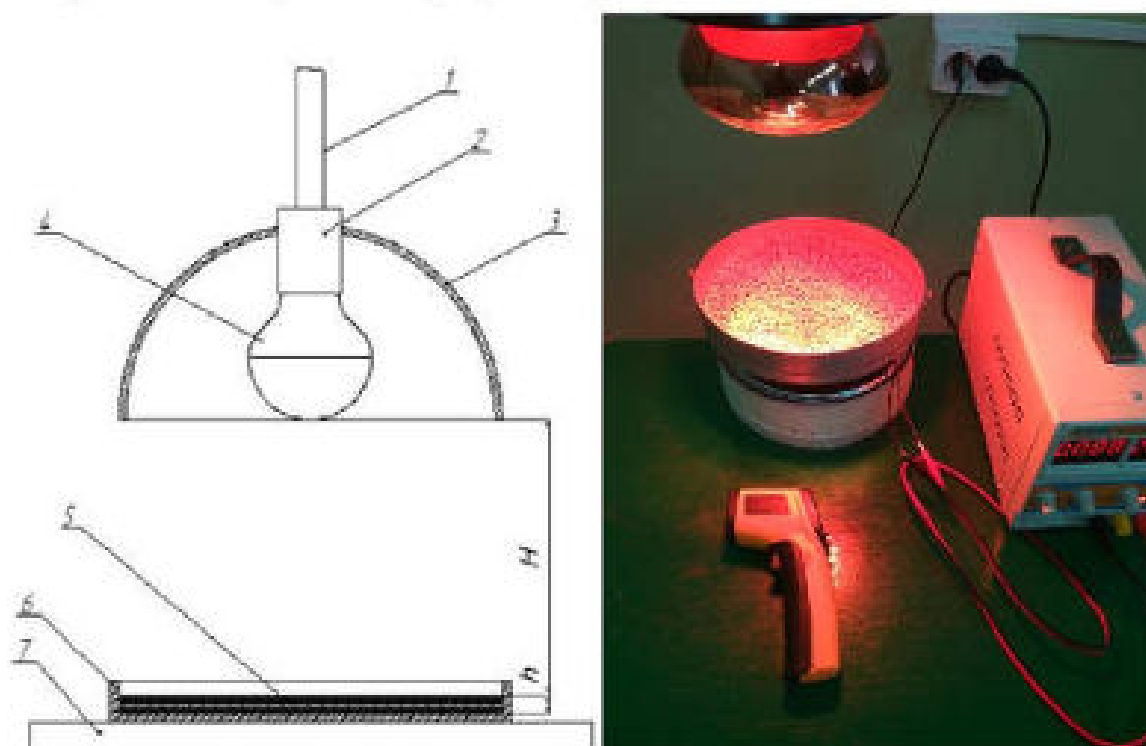
Рисунок 3.5 – Влагомер «Фауна-М»

При тщательном перемешивании в зерновую массу в течение первого дня необходимо добавлять воду небольшими порциями. Увлажненное зерно ставят в холодильник или термостат и хранят при температуре 3..5°C два дня. В течение этого периода зерно тщательно перемешивают два- три раза в день.

Для данного эксперимента было заготовлено 3,5 кг пшеницы, влажность до увлажнения составляла 13 %, необходимая влажность была принята за 23 %. Исходя из этих данных, рассчитаем необходимое количество воды, используя выражение (3.7)

$$W = 3,5 \cdot \frac{(23 - 13)}{(100 - 13)} = 0,402 \text{ кг} = 402 \text{ г}.$$

После получения необходимой влажности сушка пшеницы осуществлялась на экспериментальной установке (рисунок 3.6).



1 - крепление, подвес; 2 - патрон; 3 - отражатель; 4 - лампа ИКЗ-250; 5 - зерно; 6 – вапточка; 7 - рабочая поверхность (стол)

Рисунок 3.6 – Экспериментальная установка для сушки зерна ИК-излучением

Снятие измерений проводилось при высоте подвеса облучателя $H=0,5$ м, начальная толщина слоя пшеницы была $L=0,006$ м; затем толщина слоя пшеницы была увеличена до 0,012 м. Температура регистрировалась пирометром. Зерновой материал при этом нагревался до температуры $T = 38^\circ\text{C}$.

Данные во время эксперимента снимались каждые 15 минут, при этом материал перемешивался. Были получены следующие результаты в приложении Б (табл. 1Б).

Расход электроэнергии определяется, кВт·ч

$$W = P_{\text{л}} \cdot t, \quad (3.8)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность лампы, кВт;

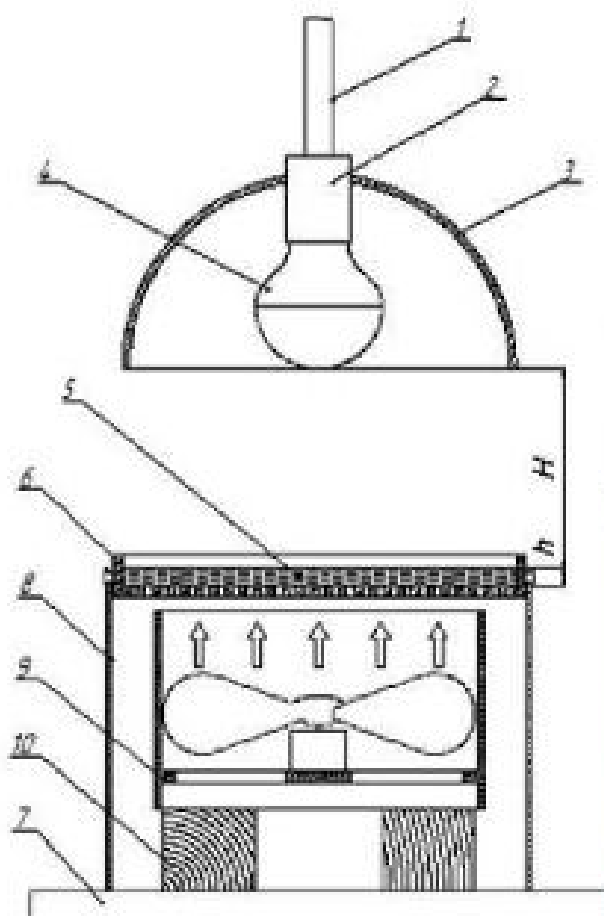
t – время, затраченное на сушку, ч.

$$W_{0,006} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,1875 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$W_{0,012} = 0,25 \cdot 2,25 = 0,5625 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Было решено для устранения противоречия применить искусственную вентиляцию путём внесения изменений в установку и добавления осевого вентилятора (рисунок 3.7) для ускорения процесса испарения влаги с поверхности зёрен.

После внесения изменений были проведены опыты при толщине слоя пшеницы $h=0,012$ м, при этом высота подвеса облучателя $H_1 = 0,5$ м, $H_2 = 0,2$ м. Полученные данные представлены в таблице 2Г.



1 – крепление, подвес; 2 – патрон; 3 – отражатель; 4 – лампа ИКЗ-250;
5 – зерно; 6 – ванночка; 7 – рабочая поверхность (стол); 8 – цилиндрическая опора с перфорацией для установки ванночки; 9 – вентилятор в корпусе;
10 – подставка вентилятора

Рисунок 3.7 – Экспериментальная установка с искусственной вентиляцией

Расход электроэнергии, кВт·ч, при искусственной вентиляции можно рассчитать используя выражение:

$$W = (P_{\lambda} + P_{\nu}) \cdot t, \quad (3.9)$$

где P_{λ} - мощность лампы, кВт;

P_{ν} - мощность вентилятора, кВт;

t - время, затраченное на сушку, ч.

$$W = (0,25 + 0,03) \cdot 1,25 = 0,35 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В процессе проведения опытов было замечено, что постоянная вентиляция сильно снижает температуру нагрева пшеницы, тем самым увеличивая время её сушки. Было принято решение изменить режим вентиляции с постоянного режима на импульсный: вентилятор включается на 1 минуту каждые 4 минуты.

Рассчитаем расход электроэнергии, кВт·ч, при импульсной искусственной вентиляции, используя выражение:

$$W = P_{\lambda} \cdot t + P_{\nu} \cdot t/5, \quad (3.9)$$

где P_{λ} - мощность лампы, кВт;

P_{ν} - мощность вентилятора, кВт;

t - время, затраченное на сушку, ч.

Рассчитаем энергоёмкость ИК-обработки Θ , кВт·ч/т, одной тонны пшеницы по трем вариантам толщины слоя (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Расчет энергетических показателей

Толщина слоя h , м	Расход электроэнергии W , кВт·ч	Энергоёмкость ИК-обработки Θ , кВт·ч/т
<u>0,012</u>	<u>0,256</u>	<u>1436,6</u>
<u>0,015</u>	<u>0,384</u>	<u>1324,14</u>
<u>0,02</u>	<u>0,448</u>	<u>1208,9</u>

Энергоёмкость процесса сушки составляет 1208,9 кВт·ч/т, стоимость обработки одной тонны пшеницы составит 1765 руб. (при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, равной 1,46 руб.).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований объёмной массы зерна

В результате экспериментальных исследований и полученных данных построена зависимость объёмной массы γ зерна в зависимости от влажности представлена на рисунке 4.1.

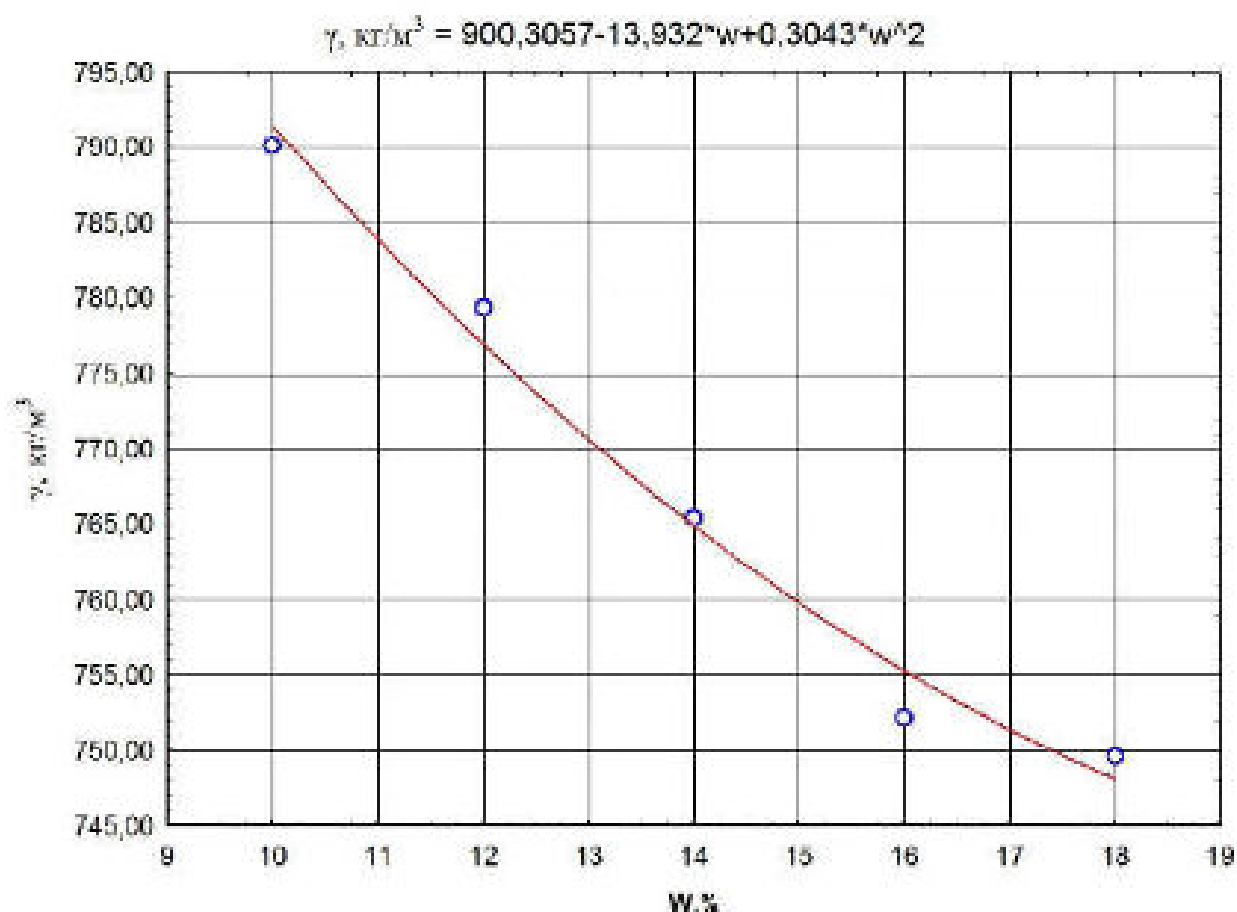


Рисунок 4.1 – Графическая зависимость показателя объёмной массы зерна пшеницы в зависимости от его влажности

Экспериментальные показатели, которые получили в результате опытов, представлены в приложении А (Таблица А1). Сделав анализ полученной зависимости, можно отметить, что с повышением влажности зерна уменьшается объёмная масса с 794,2 до 743,8 кг/м³, влажность которой меняется от 10 до 18%. Понижение показателя объёмной массы зерна связано с тем, что повышение влажности ведет к увеличению его объёма.

4.2 Результаты определения угла естественного откоса зерна

По данным полученных в ходе исследований был построен график зависимости угла естественного откоса $\alpha_{отк}$ от температуры зерна (рисунок 4.2). Экспериментальные показатели, которые получили в результате опытов, представлены в приложении А (Таблица А2).

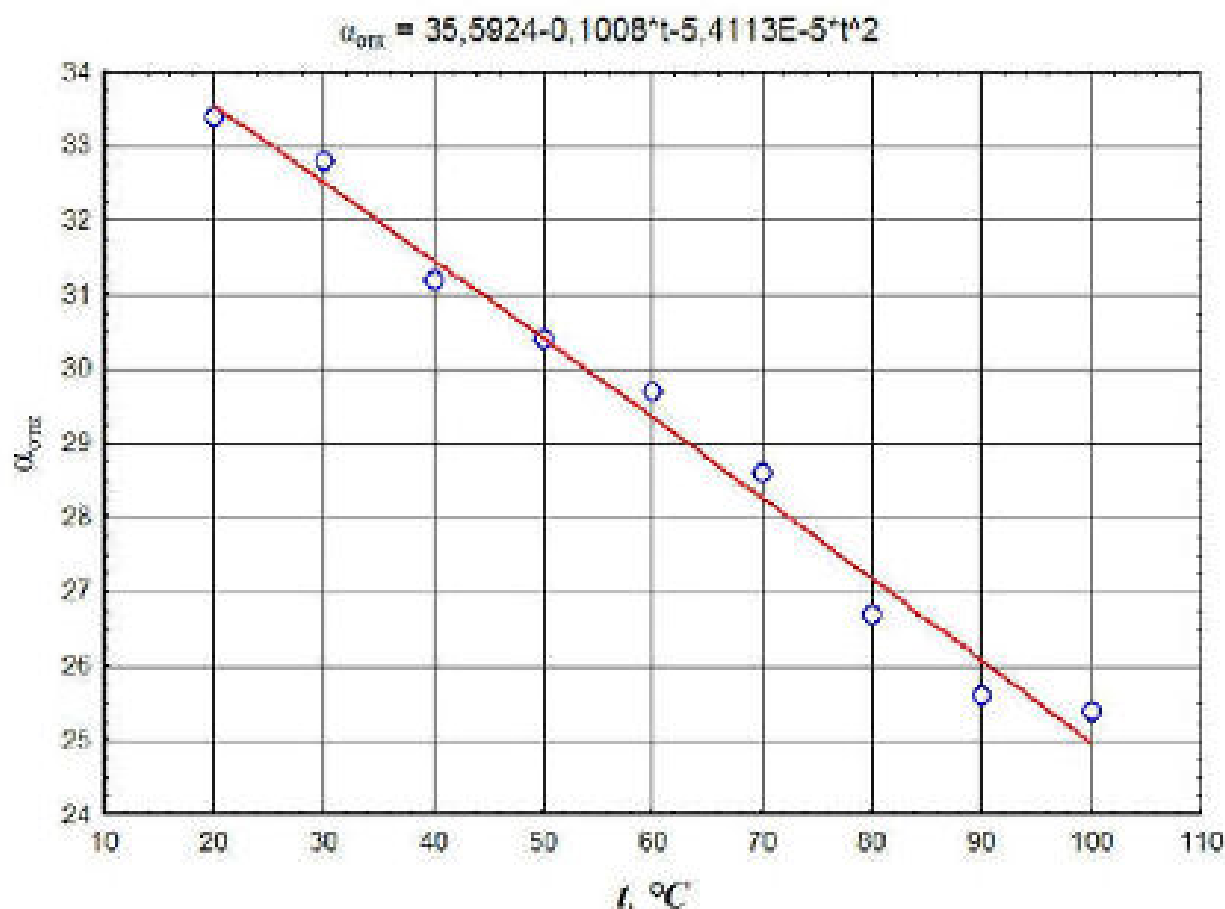


Рисунок 4.2 – График зависимости угла естественного откоса зерна пшеницы от температуры

Анализ данных показывает, что с повышением температуры зерна угол естественного откоса уменьшается. Объясняется это тем, что в результате температурного влияния уменьшается коэффициент внутреннего трения зерна.

Угол естественного откоса с увеличением температуры от 20 до 100 $^{\circ}C$ у пшеницы снижается с 33,4 до 23,7 градусов.

4.3 Результаты исследования истечения зернового материала

В результате проведенного опыта получен график изменения коэффициента истечения λ зерна в зависимости от влажности (рисунок 4.3). Экспериментальные данные, полученные в ходе опыта, представлены в приложении А (Таблица А3).

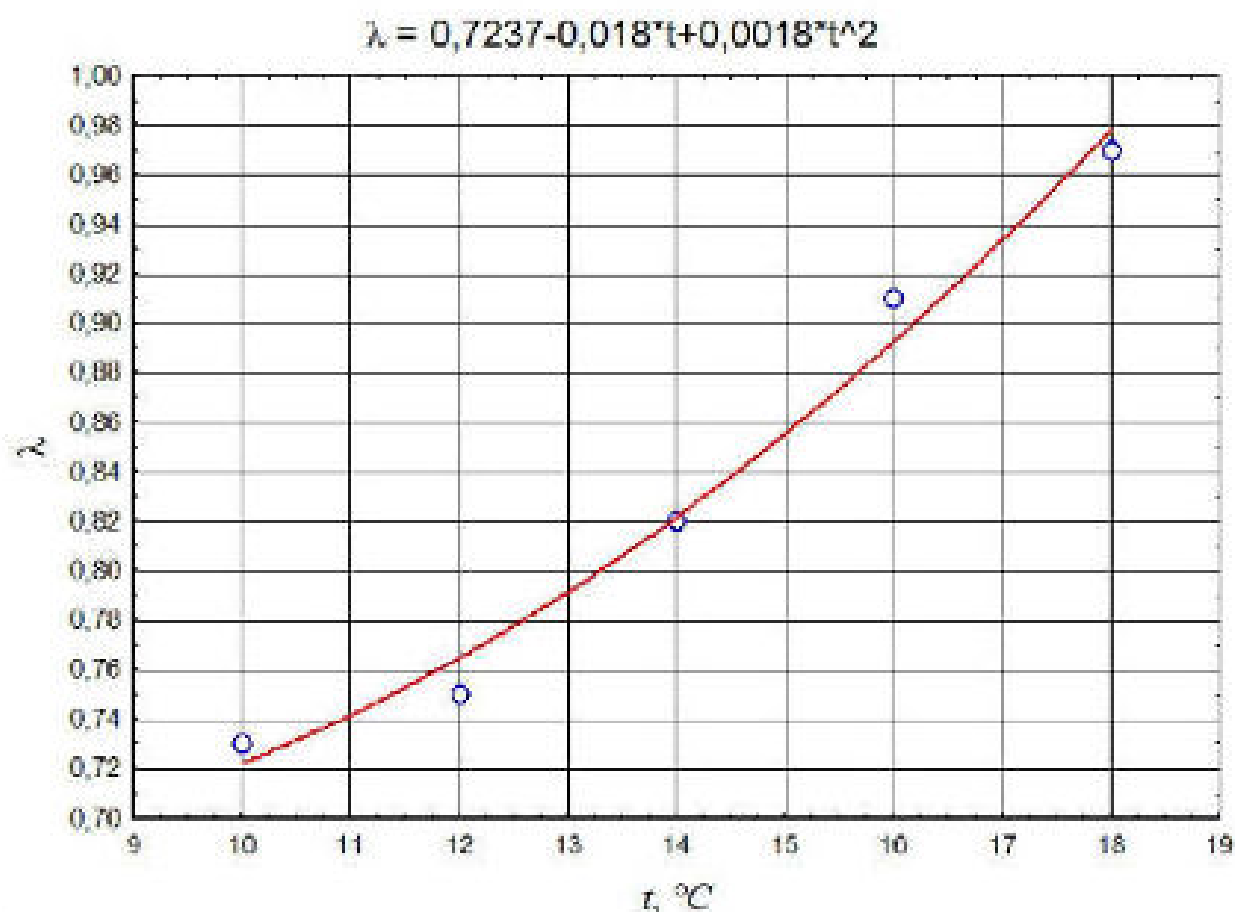


Рисунок 4.3 – График изменения коэффициента истечения зерна в зависимости от влажности

Анализ данных полученных в ходе опыта показал, что при увеличении влажности коэффициента истечения также увеличивается. Это объясняется тем, что при возрастании влажности уменьшается коэффициент внутреннего трения зерна.

Изменение коэффициента истечения при увеличении влажности от 10 до 18% для зерна пшеницы в пределе от 0,73 до 0,97.

4.4 Результаты определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна

По результатам исследования были получены следующие данные, по которым построены графики зависимости коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ зерна по металлической поверхности представленные на рисунке 4.4.

В приложении А (таблица А/1) представлены статистические сведения исследований.

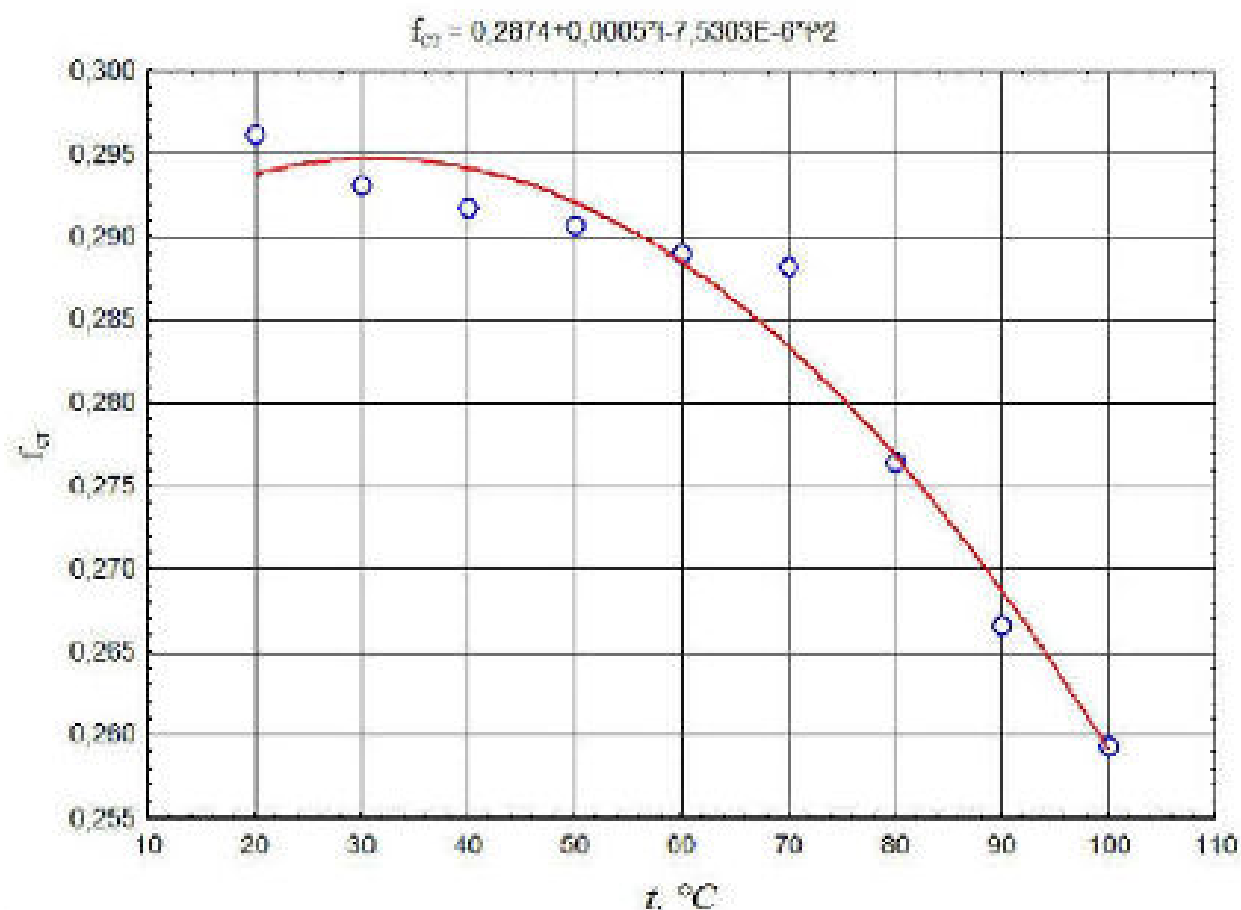
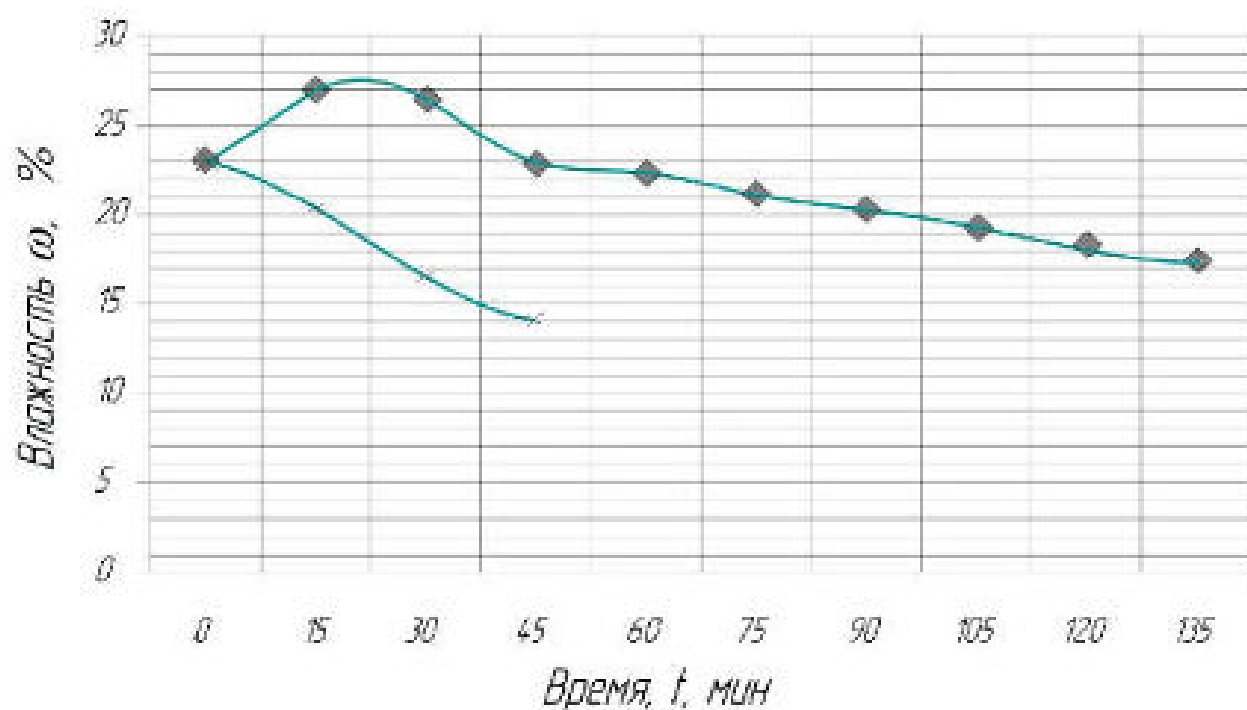


Рисунок 4.4 – График зависимости статического коэффициента трения зерна по металлической поверхности от температуры зерна

Коэффициент трения зерна пшеницы по металлическому листу (нержавеющая сталь 12Х189Н10Т ГОСТ 5949-75) при изменении температуры от 20 до 100^оС уменьшается с 0,296 до 0,246.

4.5 Исследование инфракрасного способа сушки зерна

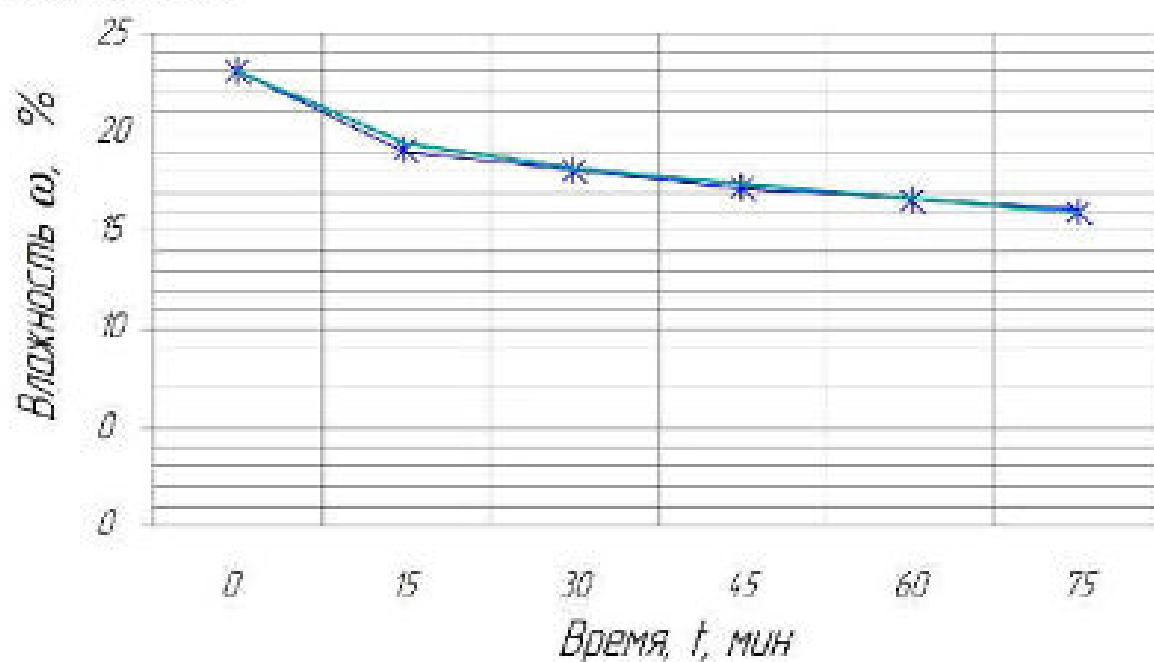
После получения результатов был сделан вывод, что при увеличении толщины слоя пшеницы дальнейшие эксперименты по сушке теряют смысл, так как влага, которая выделяется в результате нагрева, не успевает испаряться путём естественной конвекции и затрудняет снятие показаний, так как их поверхность оказывается смоченной и прибор регистрирует высокую влажность, которая не соответствует влажности самой пшеницы.



—*— Толщина слоя $h=0,006$ м —♦— Толщина слоя $h=0,012$ м

Рисунок 4.5 – График изменения влажности зерна при высоте подвеса облучателя 0,5 м

Результаты проведённых опытов при добавлении осевого вентилятора (рис. 4.6) для ускорения процесса испарения влаги с поверхности зёрен представлены в таблице 2Г и на рисунке 4.7.



—*— Высота подвеса 0,5 м —+— Высота подвеса 0,2 м

Рисунок 4.6 – График изменения влажности с применением постоянной искусственной вентиляции при $h=0,012$ м

В процессе проведения опытов было замечено, что постоянная вентиляция сильно снижает температуру нагрева пшеницы, тем самым увеличивая время её сушки. Было принято решение изменить режим вентиляции с постоянного режима на импульсный: вентилятор включается на 1 минуту каждые 4 минуты. Были проведены опыты при высоте подвеса облучателя 0,1 м. Опыты проводились в 3-кратной повторяемости для точности эксперимента. Результаты опытов представлены в таблице 3 и на рисунке 4.8.

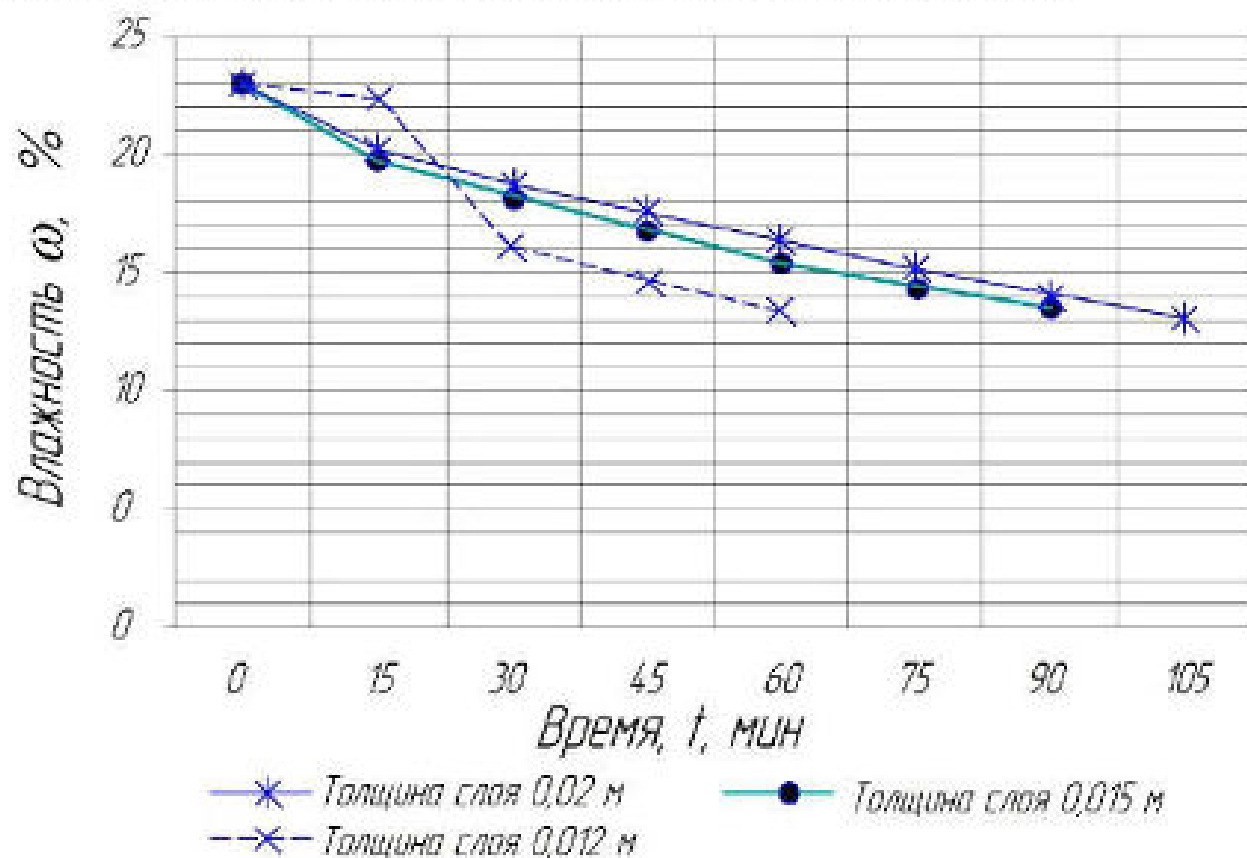


Рисунок 4.7 – График изменения влажности с применением импульсной искусственной вентиляции

Наиболее целесообразный режим сушки зерна пшеницы – высота подвеса облучателя 0,1 м над приемной поверхностью; импульсный режимом включения вентилятора: 4 минуты – пауза, 1 минута – работа, толщина слоя зерновой насыпи – 0,02 м.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Установка для инфракрасного облучения семян зерновых предназначена для инфракрасной сушки семенного материала с помощью инфракрасного излучения.

Установку обслуживают два человека: оператор и помощник, осуществляющие управление и контроль за режимами работы.

5.1. Расчет стоимости конструкторской разработки

Стоимость конструкторской разработки определяем по формуле:

$$C_{к.р.} = Z_m + Z_{г.д.} + Z_{дос.} + Z_{п.р.о.} + Z_{а.о.о.} + Z_{эл.} + Z_{п.к.} + N_p, \text{ руб.}, \quad (5.1)$$

где Z_m – затраты на покупку материала;

$Z_{г.д.}$ – затраты на приобретение готовых деталей и узлов;

$Z_{дос.}$ – затраты на доставку материалов и готовых узлов;

$Z_{п.р.о.}$ – заработная плата с начислениями работников, занятых на изготовлении данной конструкторской разработкой;

$Z_{а.о.о.}$ – затраты на амортизационные отчисления используемого оборудования

$Z_{эл.}$ – затраты на оплату электроэнергии;

$Z_{п.к.}$ – затраты на покраску деталей узлов;

N_p – накладные расходы.

Определяем стоимость материалов (табл. 5.1)

С учетом торговой наценки в размере 35 %, общие затраты на материала составят:

$$Z_{г.м.} = 4846 \cdot 1,35 \text{ руб.} = 6542,1 \text{ руб.}$$

Таблица 5.1 – Стоимость материалов

Наименование материала	Длина, м	Вес, кг	Цена 1 кг, руб.	Сумма, руб.
1	2	3	4	5
Сталь прокатная угловая равнобокая № 5	13,5	70,08	8,1	567,7
№ 2	6,3	34,1	8,1	276,2
Сталь листовая	-	63	15,3	966,4
Провод ПРГН	7	4	120	480

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5
Труба Ø 400	1	15	24	360

Сталь среднесортная	1	20	39	780
Металлопрокат Ø 50	1	8	5,6	44,7
Кабель КРПТ	50	30	39	1170
Металлопрокат Ø 80	1	15	5,6	83,8
Лента БКНП-65	7,5	8,3	60	498
Фторопластовая лента	0,5	0,50	120	60
ИТОГО, руб.				4846

Рассчитываем стоимость готовых деталей (табл. 5.2).

С учетом торговой наценки в размере 35 % затраты составят:

$$З_{г.д.} = 1,35 \cdot 11397 = 15385,95 \text{ руб.}$$

Затраты на доставку ($З_{дос.}$) складывается из затрат на транспортировку ($З_{т.р.}$) и затрат на погрузочно-разгрузочные работы ($З_{п.р.}$):

$$З_{дос.} = З_{т.р.} + З_{п.р.} \quad (5.2)$$

Таблица 5.2 – Стоимость готовых деталей

Наименование	Погребное количество	Цена единицы, руб.	Сумма, руб.
Задвижка СН-46	1	386	386
Электродвигатель 4А71В8УЗ	1	580	580
Редуктор ПЗ2-31,5	1	1300	1300
Ремни приводные			
А-1500Ш	1	100	100
А-1800Ш	1	100	100
Шкивы	4	215	860
Подшипник 1315	2	100	200
Роликовые опоры			
верхние РВ-50	5	345	1725
нижние РВ-50	2	345	690
Лампы зерносушильные К-250 (ИКЗ)	48	150	3900
Магнитный пускатель ПМЕ-132	1	190	190
Автоматический выключатель АЗ114/1	1	400	400
Патрон фарфоровый Е-27	48	25	650

Болты, кг	2	20	40
Гайки, кг	0,5	18,6	9,5
Шайбы, кг	0,35	72	5,6
Электроды, кг	3	20	60
Мембранные датчики зерна	2	100	200
ИТОГО			11397

$$Z_{т.р.} = C_{б.р.} \cdot 2L, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

где $C_{б.р.}$ – фактическая себестоимость 1 ткм, руб. (1...2 руб. на 1 ткм);

L – пробег автомобиля до пункта реализации, км.

$$Z_{т.р.} = 4,5 \cdot 2 \cdot 10 \text{ руб.} = 90 \text{ руб.}$$

Затраты на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые вручную, составляют 35,5 руб.

$$Z_{п.н.о} = Z^1_{п.н.} + Z^2_{п.н.} + Z^3_{п.н.}, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

$$Z_{п.н.} = C_{осн.} \cdot C_{доп.с.} \cdot C_{отп.} \cdot C_{от.с.м.} \cdot C_{п.ф.} \cdot C_{ф.з.} \cdot C_{соц.} \cdot C_{тр.}, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

где $C_{осн.}$ – тарифный фонд заработной платы данной категории;

$C_{доп.м.}$ – доплата работнику за мастерство, 10 %;

$C_{доп.с.}$ – доплата за стаж, 10 %;

$C_{отп.}$ – отчисления на плату отпусков работника, 8,42 %;

$C_{от.с.м.}$ – отчисления на страховую единицу, руб., 9 %;

$C_{п.ф.}$ – отчисления в пенсионный фонд, 28 %;

$C_{ф.з.}$ – отчисления в фонд занятости, 1,5 %;

$C_{соц.}$ – отчисления на социальное страхование работников, 5,4 %;

$C_{тр.}$ – отчисления на транспорт, 1 %.

$$C_{осн.} = U_{нр.} \cdot t, \text{ руб.}$$

$$C_{осн.}^1 = 7,42 \cdot 26 \text{ руб.} = 192,9 \text{ руб.};$$

$$C_{осн.}^2 = 6,88 \cdot 24 \text{ руб.} = 165,12 \text{ руб.};$$

$$C_{осн.}^3 = 7,42 \cdot 16 \text{ руб.} = 118,7 \text{ руб.}$$

С учетом всех отчислений заработная плата работника составит:

$$Z_{п.н.}^1 = 192,9 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,084 \cdot 1,28 \cdot 1,015 \cdot 1,054 \cdot 1,036 \cdot 1,01 \text{ руб.} = 362,5 \text{ руб.};$$

$$З_{н.м.3} = 165,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,084 \cdot 1,28 \cdot 1,015 \cdot 1,054 \cdot 1,036 \cdot 1,01 = 307,6 \text{ руб.};$$

$$З_{н.н.3} = 118,7 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,084 \cdot 1,28 \cdot 1,015 \cdot 1,054 \cdot 1,036 \cdot 1,01 = 223 \text{ руб.}$$

Общую заработную плату определяем по формуле

$$З_{\text{пол.о}} = З_{\text{пол.1}} + З_{\text{пол.2}} + З_{\text{пол.3}} + З_{\text{пол.4}}, \text{ руб.}, \quad (5.6)$$

$$З_{\text{пол.о}} = 362,5 + 307,6 + 223 = 893,1 \text{ руб.}$$

Рассчитываем амортизационные отчисления на текущий ремонт и капитальный ремонт по использованному оборудованию:

$$З_{\text{а.о.о}} = \frac{Б_{\text{с.об.}} \cdot Н}{100 \cdot Г_p} \cdot t_p, \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

где $Б_{\text{с.об}}$ – балансовая стоимость оборудования;

$Н$ – норматив отчислений на капитальный и текущий ремонт;

$Г_p$ – годовой объем оборудования, ч;

t_n – фактическое время работы оборудования, ч.

Балансовую стоимость оборудования определяем по формуле:

$$Б_{\text{с.об.}} = 1,25 Ц_{\text{ст}}, \text{ руб.}, \quad (5.9)$$

где $Ц_{\text{ст}}$ – оптовая цена оборудования, руб.

Определяем балансовую стоимость токарного станка6

$$Б_{\text{с.1}} = 4000 \cdot 1,25 \text{ руб.} = 50000 \text{ руб.}$$

Определяем балансовую стоимость сварочного оборудования:

$$Б_{\text{с.2}} = 6530 \cdot 1,25 \text{ руб.} = 8162,5 \text{ руб.}$$

Таким образом, амортизационные отчисления на текущий ремонт равны:

$$З_{\text{а.о.т.1}}^1 = \frac{50000 \cdot 8 \cdot 6}{100 \cdot 1512} = 15,87 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{а.о.т.2}}^2 = \frac{8162,5 \cdot 8 \cdot 13}{100 \cdot 1521} \text{ руб.} = 5,6 \text{ руб.}$$

Определяем амортизационные отчисления на капитальный ремонт (реновацию):

$$З_{\text{а.о.р.1}}^1 = \frac{50000 \cdot 11,8 \cdot 6}{100 \cdot 1512} = 23,4 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{а.о.р.2}}^2 = \frac{8162,5 \cdot 11,8 \cdot 6}{100 \cdot 1512} = 8,28 \text{ руб.}$$

Определяем сумму амортизационных отчислений по используемому оборудованию:

$$Z_{\text{а.о.}} = Z_{\text{а.о.т.}}^1 + Z_{\text{а.о.р.}}^1 + Z_{\text{а.о.т.}}^2 + Z_{\text{а.о.р.}}^2, \text{ руб.} \quad (5.10)$$

$$Z_{\text{а.о.}} = 15,87 + 5,61 + 23,4 + 8,28 \text{ руб.} = 53,15 \text{ руб.}$$

Определяем затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{эл.}} = P_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}}, \text{ руб.} \quad (5.11)$$

где $P_{\text{эл.}}$ – фактический расход электроэнергии по каждому виду оборудования, кВт ч;
 $C_{\text{эл.}}$ – стоимость одного кВт-час, руб.

$$Z_{\text{эл.}} = 32,5 \cdot 1,4 \text{ руб.} = 45,5 \text{ руб.}$$

Выполняем расчет затрат на покраску конструкторской разработки:

$$Z_{\text{п.к.}} = C_{\text{к.}} + Z_{\text{дос.}} + A_{\text{от.об.}} + Z_{\text{эл.}} + Z_{\text{п.р.к.}}, \text{ руб.} \quad (5.12)$$

где $C_{\text{к.}}$ – стоимость израсходованных красителей, руб;
 $Z_{\text{дос.}}$ – затраты на доставку красителей, руб;
 $A_{\text{от.об.}}$ – амортизационные отчисления по используемому при покраске оборудованию;
 $Z_{\text{эл.}}$ – затраты на оплату электроэнергии, руб.;
 $Z_{\text{п.р.к.}}$ – заработная плата рабочих, занятых на покраске, руб.

$$Z_{\text{п.к.}} = 100 + 35 + 5,5 + 14,5 + 50 = 205 \text{ руб.}$$

Рассчитываем сумму накладных расходов (в размере 25 %):

$$H_{\text{р}} = \frac{Z_{\text{п.п.о.}} + Z_{\text{п.р.к.}}}{100} \cdot 25, \text{ руб.} \quad (5.13)$$

$$H_{\text{р}} = \frac{(893,1 + 45,5)}{100} \cdot 25 \text{ руб.} = 234,7 \text{ руб.}$$

Производим подсчет стоимости конструкторской разработки.

$$C_{\text{кд.}} = 5596,9 + 15385,9 + 125,5 + 893,1 + 53,15 + 45,5 + 234,7 = 22334,8 \text{ руб.}$$

5.2. Определение показателей экономической эффективности

Трудозатраты на единицу продукции ($Z_{тр}$) определяем по формуле:

$$Z_{тр} = \frac{Z_{тр.о.}}{ВП}, \text{ руб.} \quad (5.14)$$

где $Z_{тр.о.}$ – суммарные затраты труда, чел.-ч;

ВП – валовая продукция, кг.

$$Z_{тр.о.} = \frac{T_p \cdot t}{k_{р.д.}}, \text{ руб.} \quad (5.15)$$

где T_p – общее количество обслуживающего персонала, чел.;

t – время, час.;

$k_{р.д.}$ – количество рабочих дней.

$$Z_{тр.о.}^c = \frac{2 \cdot 40}{270} \text{ чел.час} = 0,3 \text{ чел.час.},$$

$$Z_{тр.о.}^n = \frac{2 \cdot 352}{270} \text{ чел.час} = 2,6 \text{ чел.час.}$$

Годовая экономия в затратах труда на выполненный объем работ проектируемой технологии определяется по формуле:

$$\Delta Z_{тр.} = Z_{тр.с.} - Z_{тр.п.}, \text{ чел.-час.}, \quad (5.16)$$

где $Z_{тр.с.}$ и $Z_{тр.п.}$ – суммарные затраты по существующей технологии и проектируемой.

$$\Delta Z_{тр.} = 100 - 704 = - 604 \text{ чел.-час.}$$

Определяем прямые эксплуатационные затраты на единицу продукции:

$$\mathcal{E}_{э.п.} = \frac{\mathcal{E}_0}{ВП}, \quad (5.17)$$

где $\mathcal{E}_0$ – прямые эксплуатационные затраты.

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_{п.} + A_{от} + \mathcal{E}_{эл.} + \mathcal{E}_{пр.}, \text{ чел.-час.} \quad (5.18)$$

где $\mathcal{E}_{п.}$ – заработная плата с начислениями, руб.;

$A_{от}$ – амортизационные отчисления на ремонт оборудования, руб.;

$\mathcal{E}_{эл.}$ – затраты на электроэнергию, руб.;

$\mathcal{E}_{пр.}$ – затраты на химический препарат, руб.

Для определения заработной платы находим тарифный фонд зарплаты:

$$C_{осн.} = U_{нр} \cdot t \cdot k_{р.д.} \cdot T_p, \text{ руб.}, \quad (5.19)$$

$$C_{осн.}^c = 2 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 7,42 \text{ руб.} = 742 \text{ руб.}$$

$$C''_{осн} = 2 \cdot 352 \cdot 7,42 \text{ руб.} = 5223,7 \text{ руб.}$$

Оплата с начислениями составит: для проектируемой технологии – $Зп''_{\text{н}} = 9820,5 \text{ руб.}$; для существующей $Зп^c_{\text{н}} = 1394,9 \text{ руб.}$

$$З_{\text{эл}} = N \cdot k_{\text{п.д.}} \cdot C_{\text{эл}} \quad (5.20)$$

где N – потребляемая мощность привода, кВт.

$$З^c_{\text{эл}} = 5 \cdot 40 \cdot 1,4 \text{ руб.} = 280 \text{ руб.},$$

$$З''_{\text{эл}} = 18,5 \cdot 352 \cdot 1,4 \text{ руб.} = 9116,8 \text{ руб.}$$

Затраты на препараты: $З^c_{\text{преп.}} = 100000 \text{ руб.}$;

$$З''_{\text{преп.}} = 15000 \text{ руб.}$$

$$A^c_{\text{от.}} = \frac{40000 \cdot 14}{100} \text{ руб.} = 5600 \text{ руб.};$$

$$A''_{\text{от.}} = \frac{62334 \cdot 14}{100} \text{ руб.} = 8726 \text{ руб.}$$

$$Э^c_{\text{з.и.н.}} = \frac{1394,9 + 280 + 5600 + 100000}{200000} \text{ руб.} = 0,54 \text{ руб.};$$

$$Э''_{\text{з.и.н.}} = \frac{9820,5 + 9116,8 + 8726 + 15000}{200000} \text{ руб.} = 0,21 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты по существующей ($П^c_{\text{з}}$) и проектируемой ($П''_{\text{з}}$) технологиям определяем по формулам:

$$П^c_{\text{з}} = E \cdot K^c_{\text{с}} + Э^c_{\text{з.и.н.}} \quad (5.21)$$

$$П''_{\text{з}} = E \cdot K''_{\text{с}} + Э''_{\text{з.и.н.}}$$

где $K^c_{\text{с}}$ и $K''_{\text{с}}$ – сумма капиталовложений по проектируемой и существующей технологиям;

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (принимается равным 0,15).

$$П^c_{\text{з}} = 0,15 \cdot 40000 + 107274 \text{ руб.} = 113274 \text{ руб.},$$

$$П''_{\text{з}} = 0,15 \cdot 62334 + 42663 \text{ руб.} = 52013,1 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения проектируемой технологии составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \Pi^{\text{с}}_3 - \Pi^{\text{н}}_3, \quad (5.22)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 113274 - 52013,1 \text{ руб.} = 61260,9 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капиталовложений определяем по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{к.р.}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}, \quad (5.23)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{62334}{61260} = 1,1 \text{ год.}$$

Таблица 5.3 – Показатели экономической эффективности

Показатели	Существующая	Проектируемая
1. Объем обрабатываемого семенного материала, кг	200000	200000
2. Затраты труда на единицу продукции, чел.-час	0,4	0,352
3. Прямые эксплуатационные затраты на единицу продукции, руб.	0,54	0,218
4. Годовая экономия эксплуатационных затрат, руб.	-	66000
5. Капиталовложения, руб.	40000	62334
6. Приведенные затраты, руб	113274	52013
7. Годовой экономический эффект, руб.	-	61260
8. Срок окупаемости, лет	-	1,1

ВЫВОДЫ

1. Применение инфракрасного облучения для сушки улучшает качественные показатели семян и является экологически безопасным.
2. На основании лабораторных исследований установлено:
 - с повышением влажности зерна уменьшается объёмная масса с 794,2 до 743,8 кг/м³, влажность которой меняется от 10 до 18%;
 - при увеличении влажности от 10 до 18% для зерна пшеницы изменяется коэффициент истечения в пределах от 0,73 до 0,97;
 - наиболее целесообразный режим сушки зерна пшеницы приходилось при высоте подвеса облучателя 0,1 м над приемной поверхностью; импульсном режиме включения вентилятора: 4 минуты – пауза, 1 минута – работа и толщине слоя зерновой насыпи – 0,02 м.
3. Применение электрической энергии для сушки семенного материала, позволяет значительно уменьшить прямые эксплуатационные затраты на единицу продукции. Годовая экономия эксплуатационных затрат составит 66000 руб.
4. Годовой экономический эффект от использования данной установки составит 62260 руб. срок окупаемости – 1,1 года.