

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА»

На правах рукописи

Силушин Павел Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО
ЗЕРНА С ОБОСНОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ МИКРОНИЗАТОРА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Некрасевич Владимир Федорович

Рязань – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА	14
1.1. Способы подготовки зерна к скармливанию	14
1.2. Анализ существующих способов тепловой обработки зерна	16
1.2.1. Запаривание зерна	16
1.2.2. Поджаривание кормового зерна	17
1.2.3. Экструзия зерна	17
1.2.4. Микронизация зерна	18
1.3. Анализ существующих средств для микронизации зерна	19
1.3.1. Микронизатор ВТО-5-2М	19
1.3.2. Установка МЗС-1	23
1.3.3. Микронизатор зерна ИПБГ 1.0.	23
1.3.4. Микронизатор зерна УМЗ-0.2	25
1.3.5. Термоустановка с ИК-энергоподводом для термообработки зерна	26
1.3.6. Устройство для термообработки типа УТЗ-4	28
1.3.7. Устройство для микронизации, разработанное в ФГБОУ ВО РГАТУ	30
1.4. Анализ научных исследований, выполненных по тепловой обработке зерна	31
1.5. Цель работы и задачи исследования	33
2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИНЯТЫХ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВИДОВ МИКРОНИЗИРОВАННОГО ФУРАЖНОГО ЗЕРНА	36
2.1. Программа и методика исследований	36
2.1.1. Программа проведения исследований	36
2.1.2. Методика определения объемной массы и влажности зерна	37

2.1.3. Методика определения угла естественного откоса зерна	39
2.1.4. Методика определения истечения зернового материала	41
2.1.5. Методика определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна	43
2.1.6. Методика определения коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна	44
2.1.7. Методика определения теплофизических свойств зерна	45
2.2 Результаты исследований	51
2.2.1. Результаты исследований объемной массы зерна	51
2.2.2. Результаты определения угла естественного откоса зерна	52
2.2.3. Результаты исследований истечения зернового материала	52
2.2.4. Результаты определения коэффициента трения зерна по металлической поверхности в зависимости от температуры зерна	54
2.2.5. Результаты определения коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна	54
2.2.6. Результаты исследований теплофизических свойств микронизированного зерна	55
ВЫВОДЫ	59
3. ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА	61
3.1. Технология подготовки фуражного зерна к скармливанию с использованием устройства для микронизации зерна	61
3.2. Параметрическая модель устройства для микронизации фуражного зерна	64
3.3. Обоснование расширения кольцевой части наружного цилиндра к низу	66
3.4. Истечение зерна из устройства для микронизации фуражного зерна	70
3.5. Расчет необходимой мощности на привод диска-дозатора	81
3.6. Тепловой баланс процесса микронизации фуражного зерна	85
ВЫВОДЫ	90

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ	91
4.1. Программа исследований	91
4.2. Определение критерия достаточности микронизации фуражного зерна	92
4.2.1. Методика определения зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем	95
4.2.2. Методика определения расхода фуражного зерна в зависимости от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем	97
4.2.3. Методика определения критерия достаточности микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла	98
4.2.4. Методика определения критерия достаточности микронизации зерна в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом и изменения мощности светового потока и от толщины кварцевого стекла	100
4.2.5. Методика определения производительности установки для микронизации фуражного зерна	104
4.3 Результаты проведенных опытов	106
4.3.1. Результаты определения критерия достаточности микронизации фуражного зерна	106
4.3.2 Результаты определения зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем	109
4.3.3. Результаты определения расхода фуражного зерна в зависимости от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем	110
4.3.4. Результаты определения критерия достаточности микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла	112
4.3.5. Результаты определения критерия достаточности микронизации в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом,	

изменения мощности светового потока и от толщины кварцевого стекла	115
4.3.6. Результаты определения производительности установки для микронизации фуражного зерна	120
ВЫВОДЫ	123
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ, РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	125
5.1. Программа и методика исследования и результаты процесса микронизации зернофуража	125
5.2. Экономическая эффективность	129
5.3. Основной расчет технико-экономических показателей микронизатора	130
5.3.1. Расчет удельных приведенных затрат на 1 т	130
5.3.2. Расчет удельных прямых эксплуатационных затрат	131
5.3.3. Расчет затрат на оплату труда	131
5.3.4. Расчет затрат на электроэнергию	131
5.3.5. Расчет балансовой стоимости микронизатора	132
5.3.6. Расчет затрат на текущий ремонт и техобслуживание	132
5.3.7. Расчет на амортизацию	133
5.3.8. Расчет удельных капиталовложений	133
5.3.9. Расчет годового экономического эффекта	134
5.3.10. Годовая выработка микронизатора	134
5.3.11. Расчет экономического эффекта	134
ВЫВОДЫ	137
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	138
ЛИТЕРАТУРА	140
ПРИЛОЖЕНИЯ	154

АННОТАЦИЯ

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

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследований, народно-хозяйственное значение выполненной работы. Приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе дан обзор способов тепловой обработки и средств микронизации фуражного зерна, анализ выполненных исследований по проблеме тепловой подготовки зерна к скармливанию сельскохозяйственным животным. Обоснована необходимость в разработке устройства для микронизации, входящего в линию для подготовки фуражного зерна к скармливанию. На основании анализа известных технических решений по тепловой обработке фуражного зерна обосновано перспективное направление разработки устройства для микронизации фуражного зерна.

Во втором разделе изложены программа исследований и приведены оригинальные методики по определению влажности, объемной массы зерна, истечения зерна, угла его естественного откоса, коэффициента трения по стальной поверхности и кварцевому стеклу, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, теплоёмкости фуражного зерна. Представлено описание применяемых в проведении опытов приборов, также измерительной аппаратуры.

В третьем разделе дано описание технологии подготовки фуражного зерна к скармливанию с использованием устройства для микронизации зерна. Представлена параметрическая модель устройства и теоретически обоснованы основные параметры устройства для микронизации фуражного зерна.

В четвертом разделе изложены программа и методики научных исследований, представлено описание лабораторной установки, измерительных приборов и оборудования, приведены результаты исследований. Обработка полученных результатов экспериментов проводилась с помощью программ

«Microsoft Excel 2010», «Mathematica 9» и «Statistica 8.0» с помощью ЭВМ. Определены оптимальные конструктивные параметры и режимы работы микронизатора фуражного зерна.

В разделе пятом описана программа, методика, а так же результаты испытаний в производственных условиях. Приведена методика и расчёт экономической эффективности разработанного микронизатора фуражного зерна.

Сделаны выводы и даны конкретные рекомендации по внедрению в производство установки для микронизации фуражного зерна. Представлены список литературы и приложения.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современная наука находится, в поиске способов подготовки зерна перед скармливанием сельскохозяйственным животным, которые в свою очередь повышают отдачу энергетического потенциала на повышение их продуктивности. Микронизация зернофуража является, одним из таких способов, в процессе которого, зерно под действием ИК-излучения скоротечно нагревается. Тепловое воздействие ИК-излучения вызывает биохимические изменения, которые способствуют повышению переваримости питательных веществ животными [102].

Сельское хозяйство в настоящее время, также и животноводство, находятся в трудном экономическом состоянии. Главными путями увеличения эффективности животноводства являются обеспечение оптимальных условий содержания, рационального кормления и улучшения породистости скота. Для реализации такого кормления следует обеспечить внедрение перспективных технологий в кормопроизводство, существенно увеличить урожайность кормовых культур, пастбищ, продуктивность естественных сенокосов [103].

Большая часть кормового зерна, в хозяйствах чаще используется как в чистом, так и в виде простейших смесей, не сбалансированных по витаминам, протеину, микроэлементам, а также другим биологически активным веществам [103]. Применение такого кормового зерна значительно снижает эффективность его использования [103].

В ближайшее время задача состоит в том, чтобы достигнуть применения, как всего зерна, так и концентрированных кормов, которые выделяются на кормовые цели, только в сбалансированном и подготовленном виде по основным питательным компонентам. В результате чего, кормление животных следует осуществлять полнорационными кормами или многокомпонентными кормовыми смесями.

Особо необходимо обратить внимание на развитие производства комбикормов прямо в хозяйствах. Приготовление их в источниках сырья и местах эксплуатации позволяет существенно сократить расходы на транспорт, а

также уменьшить себестоимость комбикормов и продуктов животноводства. Кроме того, при производстве кормовых смесей в хозяйствах можно обширно использовать как продукты побочного производства, так и различного рода добавки местных ресурсов, что позволяет в определенной степени восполнить нехватку высокобелковых кормовых добавок промышленной выработки.

Чтобы эффективно развивалась такая отрасль, как животноводство, необходимо уменьшать себестоимость производства комбикормов. Для решения этих задач, одним из направлений является разработка и совершенствование современных технологий производства комбикормов и оборудования для их осуществления.

Одним из способов увеличения эффективности технологических процессов используемых в перерабатывающей индустрии является применение теплового процесса микронизации (обработка ИК-лучами). Интенсивное воздействие ИК-излучением на разные виды сельскохозяйственного сырья и продукции его переработки способствуют повышению его качества и питательной ценности, также улучшению санитарного состояния и увеличению выхода готовой продукции.

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования технологий и средств механизации тепловой обработки кормов ИК-лучами занимались: К. И. Андонов, В.И. Анискин, Н.Ю. Афиногенов, Н. В. Брагинец, А.С. Гинзбург, С.В. Зверев, Н.Г. Кипарисов, А.В. Клименюк, С.В. Корнилов, А.И. Купреенко, В.И. Курдюмов, П.Д. Лебедев, В.П. Муругов, В.Ф. Некрашевич, П.А. Новиков, И.А. Рогов, В.И. Сыроватка, Е.П. Тюрев и другие. Несмотря на значительное количество научных исследований по тепловой обработке, вопросы эффективного использования энергетического потенциала зерна остаются актуальными и недостаточно изученными.

Работа выполнена в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011...2015 гг. по теме №6 «Совершенствование энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. Регистрации 01201174434) в рамках раздела 6.2. «Технология и средства

механизации для подготовки зернофуража к скармливанию сельскохозяйственным животным».

Цель исследований. Повышение эффективности процесса тепловой обработки зерна установкой для его микронизации, обеспечивающей снижение энергозатрат.

Для достижения цели определены следующие **задачи** исследования:

- 1 – проанализировать современные технологии подготовки фуражного зерна;
- 2 – изучить физико-механические и теплофизические свойства фуражного зерна, принятого к исследованию;
- 3 – теоретически обосновать параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- 4 – экспериментально уточнить параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- 5 – провести проверку микронизатора фуражного зерна в производственных условиях и дать оценку его экономической эффективности.

Научную новизну работы составляют:

- физико-механические и теплофизические свойства фуражного зерна;
- параметры установки для микронизации фуражного зерна;

Техническая новизна подтверждена патентами на полезные модели РФ №117268, № 132953, №152887 «Устройство для микронизации зерна».

Теоретическая и практическая значимость работы. Применение тепловой обработки с помощью разработанного устройства для микронизации позволяет провести подготовку фуражного зерна к скармливанию в соответствии с зоотехническими требованиями, способствует повышению переваримости питательных веществ, улучшению санитарного состояния и конечном итоге увеличению выхода продукции животноводства.

Предложенная линия для подготовки фуражного зерна к скармливанию с использованием разработанного устройства для микронизации зерна прошли проверки на зерне, представленном ОАО «Шацкий мясокомбинат» Шацкого

района и ООО «Азеевское» Ермишинского района Рязанской области.

Внедрение предложенного устройства для микронизации зерна позволит обеспечить производителей животноводческой продукции качественными кормами.

Важным в научном плане является разработка математических выражений для расчета некоторых конструктивно-режимных параметров микронизатора зерна, обоснованы рациональные конструктивно-режимные параметры микронизатора зерна.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы в животноводческих предприятиях, научно-исследовательских организациях, высших учебных заведениях, а также в сельскохозяйственных организациях и хозяйствах.

Методология и методы исследования. Поставленная цель осуществлялась с помощью теоретических и экспериментальных исследований.

Теоретические исследования проводились с использованием основных главных законов и методов теоретической и прикладной механики, физики, математики и теплотехники.

Лабораторные и производственные испытания проводились с использованием современных электронных и механических устройств, установок и приборов, а также специально разработанных и изготовленных. Обработка экспериментальных данных в исследованиях осуществлялась методом математической статистики с применением ПК и новейшими компьютерными программами: Statistica 10, Mathematica 10, Mathcad 15, Microsoft Excell 13.

Положения выносимые на защиту:

- модель функционирования линии с микронизацией фуражного зерна;
- показатели физико-механических и теплофизических свойств фуражного зерна;

- модель функционирования и теоретическое описание, обосновывающее параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- технологические параметры процесса микронизации фуражного зерна;
- результаты проверки предложенных конструктивных и технологических решений в лабораторных и производственных условиях.

Степень достоверности и апробация результатов. Для реализации лабораторных и производственных исследований использовались современные установки и приборы. Полученные результаты работы подтверждаются высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и положительными результатами производственных испытаний.

Основные положения данной диссертационной работы обсуждены и доложены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева (2010 г); на конференции «Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК» ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева, (2011 г); Всероссийский конкурс Высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ по центральному территориальному округу в номинации «Агроинженерия» II этап, ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева, (2011, 2012, 2013 г); III Этап, ФГБОУ ВПО СГАУ им. Н.И. Вавилова, (2011, 2012, 2013 г); на Всероссийском форуме сельской молодежи с Министром сельского хозяйства РФ, ФГБОУ ВПО СанктПетербургский ГАУ, (2011 г); на научно практической конференции «Инновационные направления и методы реализации научных исследований в агроинженерии» ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева, (2012 г); на научно практической конференции «Проблемы правовой охраны и эффективного использования объектов интеллектуальной собственности в инновационной деятельности», Рязань, обл. Библиотека им. Горького, (2012 г); участие в работе областного совещания ассоциации крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов России под руководством Президента АККОР Плотникова В.Н. ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева, (2012 г); на международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие

технологии и системы», Национальный исследовательский Мордовский ГУ имени Н.П. Огарева, г. Саранск, (2012 г); на конкурсе «Молодой ученый года-2012» имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, (2013 г); на второй итоговой конференции молодых инноваторов по программе "УМНИК" в Рязанской области, (2013 г); на региональная конференция молодых ученых «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области», (2013 г); на Международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и инновации – 2013», Республика Беларусь, г.Горки, (2013 г.).

По основным положениям диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 в издания рекомендованных ВАК РФ, и 3 патента РФ на полезную модель.

1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

1.1. Способы подготовки зерна к скармливанию

Корм для птицы и животных должен быть вкусным, питательным, хорошо перевариваться, легко усваиваться, а также не содержать веществ, примесей, которые вредны для их здоровья и неблагоприятно влияют на качество продукции животноводства [3,19]. Редко зерновые корма скармливают в цельном виде животным, исключение составляют птица и лошади. Целые зерна (особенно с твердой оболочкой) недостаточно полно усваиваются животными. Следовательно, для улучшения поедаемости, вкусовых качеств, усвоения и переваримости питательных веществ, применяют различные способы подготовки зерна к скармливанию.

В продукцию организм сельскохозяйственного животного перерабатывает всего лишь 15...25 % энергии полученного корма. Приблизительно 25...35 % всей энергии тратится уже на физиологические потребности, а оставшаяся часть в неусвоенной форме выделяется кишечным трактом животных [6,28,29].

Задача подготовки зерна к скармливанию состоит в том, чтобы снизить потери энергии полученного корма путём увеличения его питательной ценности, переваримости, поедаемости и усвоения животными. В процессе приготовления обработка кормов предотвращает заболевание животных, сводит к нулю пагубное влияние некоторых кормов на качество производимой продукции.

Также обработка кормов существенно расширяет возможности применения различных кормосмесей с применением отходов сельскохозяйственного производства и компонентов маловажных грубых кормов, пищевой промышленности и предприятий общественного питания и других технических производств. Кормосмеси полнее и охотнее поедаются животными. В результате чего продуктивность животных повышается на 8...10

%, а расход корма на единицу продукции уменьшается на 15...20%. Это дает возможность экономить идущее на комбикорм зерно.

Перед началом скармливания корма необходимо его как следует подготовить. Различают несколько способов подготовки кормов к скармливанию (рис. 1.1) [10,13,14,16,18,47,52,]:

- механические;
- тепловые;
- химические;
- биологические;



Рисунок 1.1 – Классификация способов обработки корма.

Механические способы приготовления кормов, такие как дробление, очистка, просеивание, протряхивание, смешивание, отсеивание, брикетирование, резание, раскалывание, разминание, истирание, плющение, прессование, гранулирование, дозирование и др. Они наиболее широко применяются как в крупных, так и в малых комплексах, также в кормоцехах и на комбикормовых заводах [49,56,61,62,79,80].

К тепловым способам обработки относятся, такие как сушка, запаривание, выпечка, выпаривание, поджаривание, микронизация, пастеризация, экструзия, также используют для приготовления различных видов кормов [18].

Химические способы – обработка щёлочью, аммиаком и каустической содой, кислотами, известкование, гидролиз, консервирование – применяют реже из-за сложностей, связанных с хранением и использованием активных веществ [19].

Биологические способы – заквашивание, силосование, осолаживание, проращивание, дрожжевание – осуществляются воздействием на корм дрожжевых клеток, молочнокислых бактерий и других различных ферментов и микроорганизмов. Они получили обширное распространение, из-за того, что они позволяют повысить поедаемость, питательную ценность и сохранность кормов [19].

1.2. Анализ существующих способов тепловой обработки зерна

1.2.1. Запаривание кормов

Запаривание – это способ подготовки глубокой обработки грубых кормов к скармливанию [4]. Цель запаривания кормов - улучшить вкус и физические свойства грубых кормов, вследствие чего уменьшается затрата энергии животными на пережевывание их. Запаривание кормов уничтожает всхожесть сорных семян и вредные свойства кормов, зараженных плесенью. Концентрированные корма, корне- и клубнеплоды подвергать запариванию без особой нужды не следует, так как они несколько теряют в своей питательности. Однако некоторое уменьшение питательной ценности, вызываемое иногда запариванием кормов, не должно служить препятствием для применения горячей воды или пара, если дело идет о заплесневелом корме, зернах, зараженных головней или сорными семенами. Запаривание кормов применяется к кормам, богатым крахмалом, например к картофелю, который в запаренном виде лучше переваривается, особенно свиньями, не вызывая раздражения пищеварительных органов. Для запаривания кормов пользуются обычно специальными кормозапарниками, состоящими из парообразователя, к которому присоединены один или несколько открытых или закрытых баков для запарки. Для запаривания картофеля применяют запарники с картофелемялкой

в виде деревянного с решетчатым дном ящика, имеющего внутри вал с винтовым рядом пальцев. Запаривание кормов и варка не применяются при кормлении лошадей и овец.

1.2.2. Поджаривание кормового зерна

Поджаривание зерна в основном применяют в свиноводстве [4]. Поджаренное зерно имеет ароматный запах и приятный вкус, а также возрастает усвояемость крахмала, при этом высокий температурный режим уничтожает различные патогенные грибки. Поджаривают обычно пшеницу, ячмень, горох, бобы как отдельно, так и в смеси. Зерно вначале смачивают водой (до набухания), потом тонким слоем насыпают на железную пластину (чугунную плиту) и нагревают постоянно помешивая до коричневого или светло-коричневого цвета. Скармливают поджаренное зерно поросёнкам с дня 5...7-го жизни и до отъёма, давая в сутки от 30—50 до 120—150 г на поросёнка (в зависимости от возраста). Иногда поджаренное зерно дают телятам для улучшения пищеварения.

1.2.3. Экструзия зерна

Обработка зерна высоким давлением и температуры называется экструзией [10]. Зерно предварительно очищенное подается в экструдер, давление в котором равно 28 и более атм. при температуре равной 120-150°C. Экструзия зерна ведет к увеличению сахара в его составе, гемицеллюлозы декстринов, а также снижает содержание крахмала и целлюлозы (истинной клетчатки). В процессе экструзии существенное влияние оказывается на белковый комплекс, что повышает биологическую ценность зерна.

В процессе экструзии, перерабатываемое зерно нагревается за счет механической энергии, которая превращается в тепло, оно выделяется в результате преодоления внутреннего трения и пластической деформации продукта или также за счет внешнего нагрева (политронный режим работы).

В результате экструзии возможны изменения давления, температуры, интенсивности и продолжительности воздействия на сырье. Существует три основных метода экструзии — это формовка и так называемая «горячая» экструзия, тепловая обработка и холодная формовка.

Широкое распространение в последнее время получил метод «горячей» экструзии, который происходит при высоком давлении и скоростях, при переходе механической энергии в тепловую.

1.2.4. Микронизация зерна

Микронизация – это тепловая обработка зерна инфракрасными лучами [13,16,34,50]. 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 [35,36].

1.3. Анализ существующих средств для микронизации 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 антирахитные 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 [3,5].

1.3.1. 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

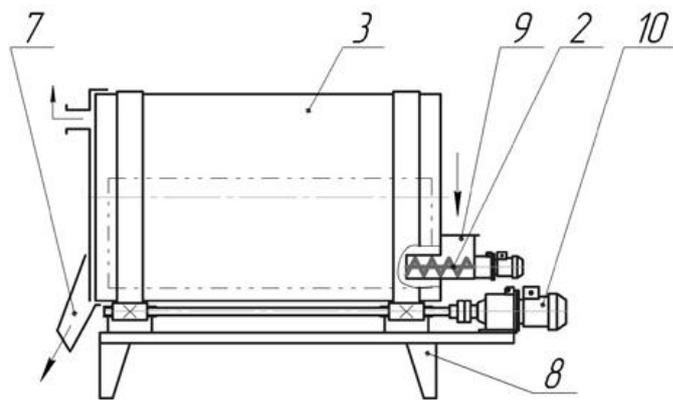
предприятий АПК.

Одним из основных звеньев ГТМ является микронизатор ВТО-5-2м (излучающая сушилка) (рис. 1.2).

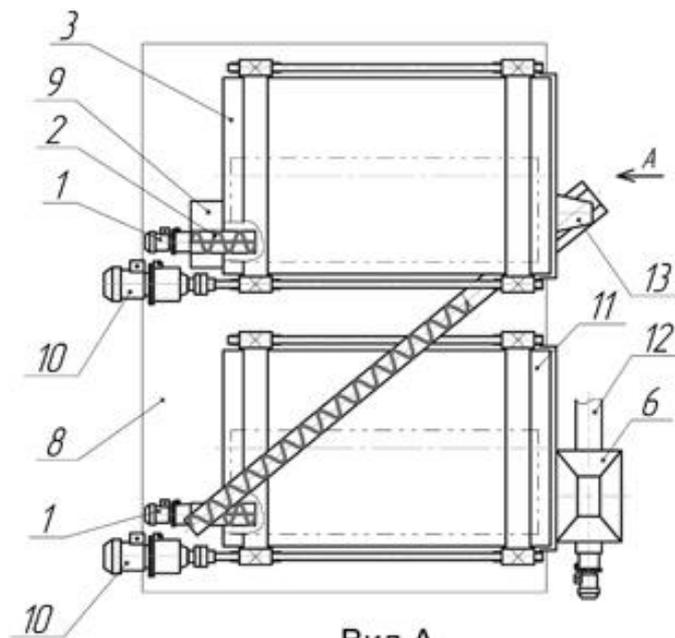
Он разработан по принципу единичного модуля, позволяющего собирать сушильные агрегаты различной производительности и планировки.

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 1.2.

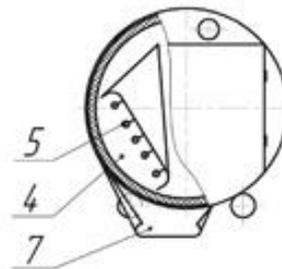
Агрегат имеет отдельные приводы, общий вид представлен на рисунке 1.3, скорость которых регулируется частотными преобразователями, и ряд других унифицированных узлов, что повышает его производительность, контролирует время пребывания материала в камере излучения, обеспечивает последовательно комбинированное воздействие различных типов источников излучения, способных при избирательном действии каждого повысить суммарный эффект [5,16,18]. Время пребывания материала в зоне обработки задается программным устройством.



а)



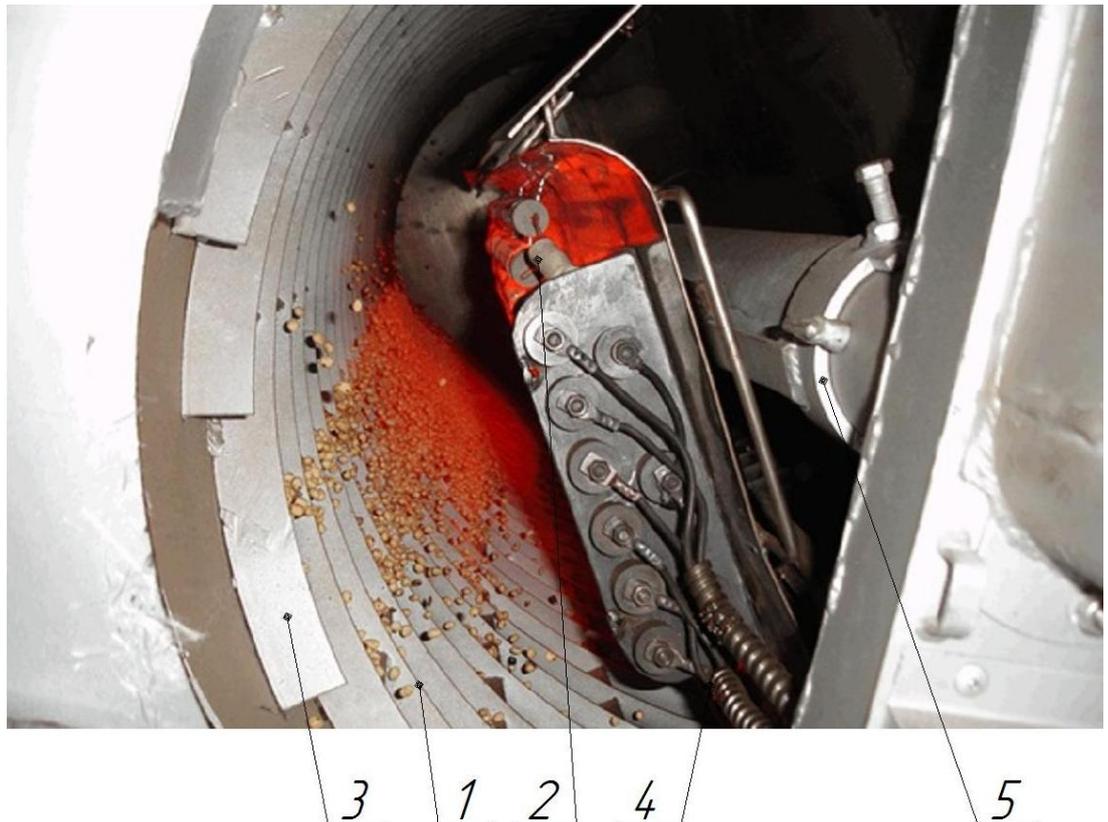
Вид А



б)

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 1.2 – Схема микронизатора ВТО-5-2М



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

Рисунок 1.3 – Общий вид рабочей поверхности микронизатора ВТО-5-2М

Материал (например, 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» [102], так же сложность конструкции и большие удельные энергозатраты.

1.3.2. Установка МЗС-1

Установка (микронизатор 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. [34,35,36,38].

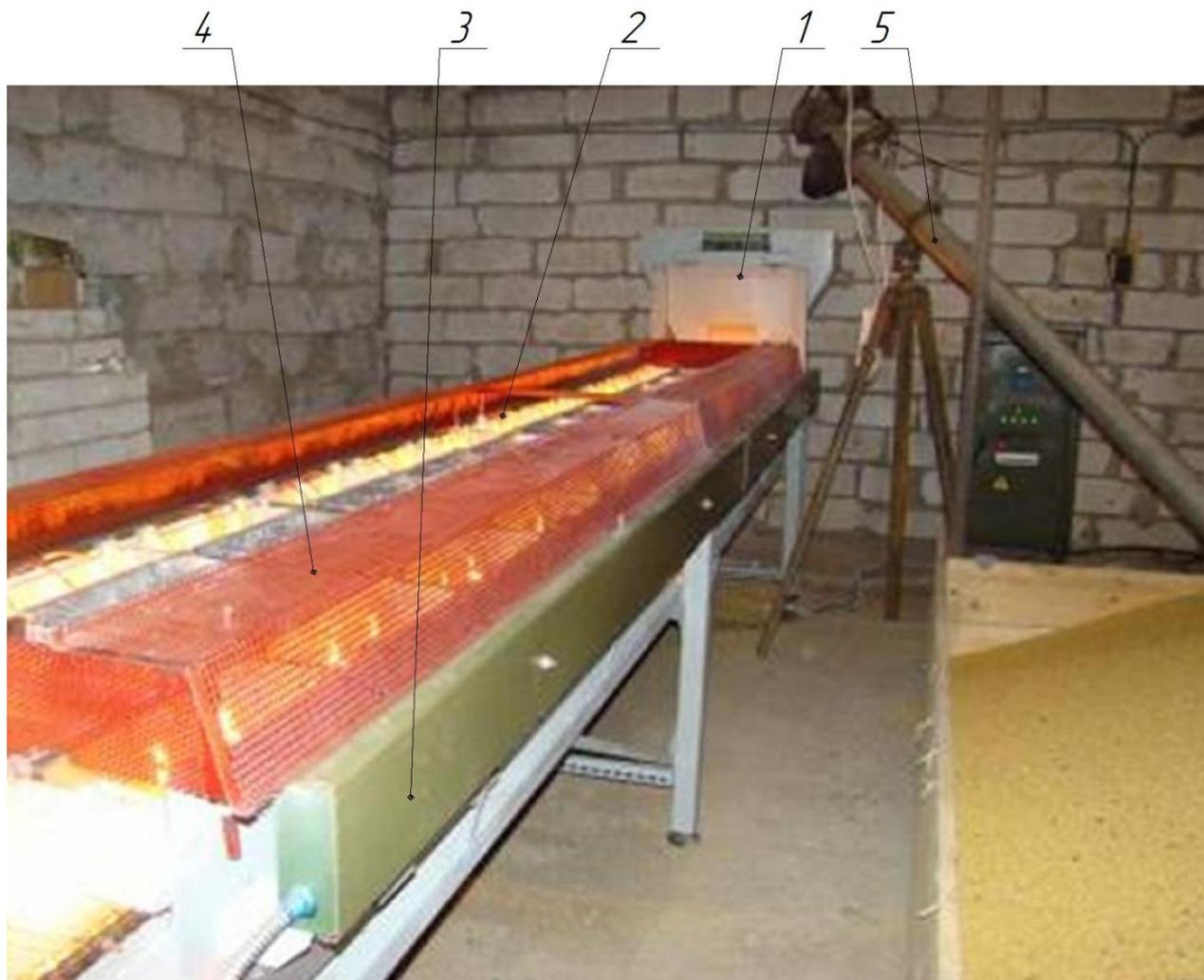
Установка МЗС-1 имеет облегченную конструкцию, которая отличается расположением линейных ИК-излучателей. Они располагаются с переменным шагом поперек ленточного транспортера, а также применением для отражателей спецматериалов, что позволяет повысить, как ресурс ИК-излучателей, так и эффективность термообработки. 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» [102], большие габариты, «конвективные потери через неплотности между камерой облучения и ленточным конвейером» [102], выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала [39,102].

1.3.3. Микронизатор зерна ИПБГ 1.0

Микронизатор ИПБГ 1.0 (рис. 1.4) предназначен для термической обработки зерна злаковых, бобовых и масличных культур. Микронизированные зерновые усваиваются в 3 раза лучше, чем не микронизированные. То есть для получения одной и той же обменной энергии необходимо в 3 раза меньше продукта. Микронизация семян сои обеспечивает снижение ее влажности до 6%. Антипитательные вещества, особенно ингибитор трипсина, после микронизации нейтрализуются, активность уреазы стабилизируется [7,43]. При получении масла из микронизованного зерна сои и рапса - повышается

качество и количество масла, и при замене экструдера на микронизатор происходит значительное снижение затрат на техническое обслуживание. Микронизация улучшает микробиологию продукта, что способствует более длительному хранению.



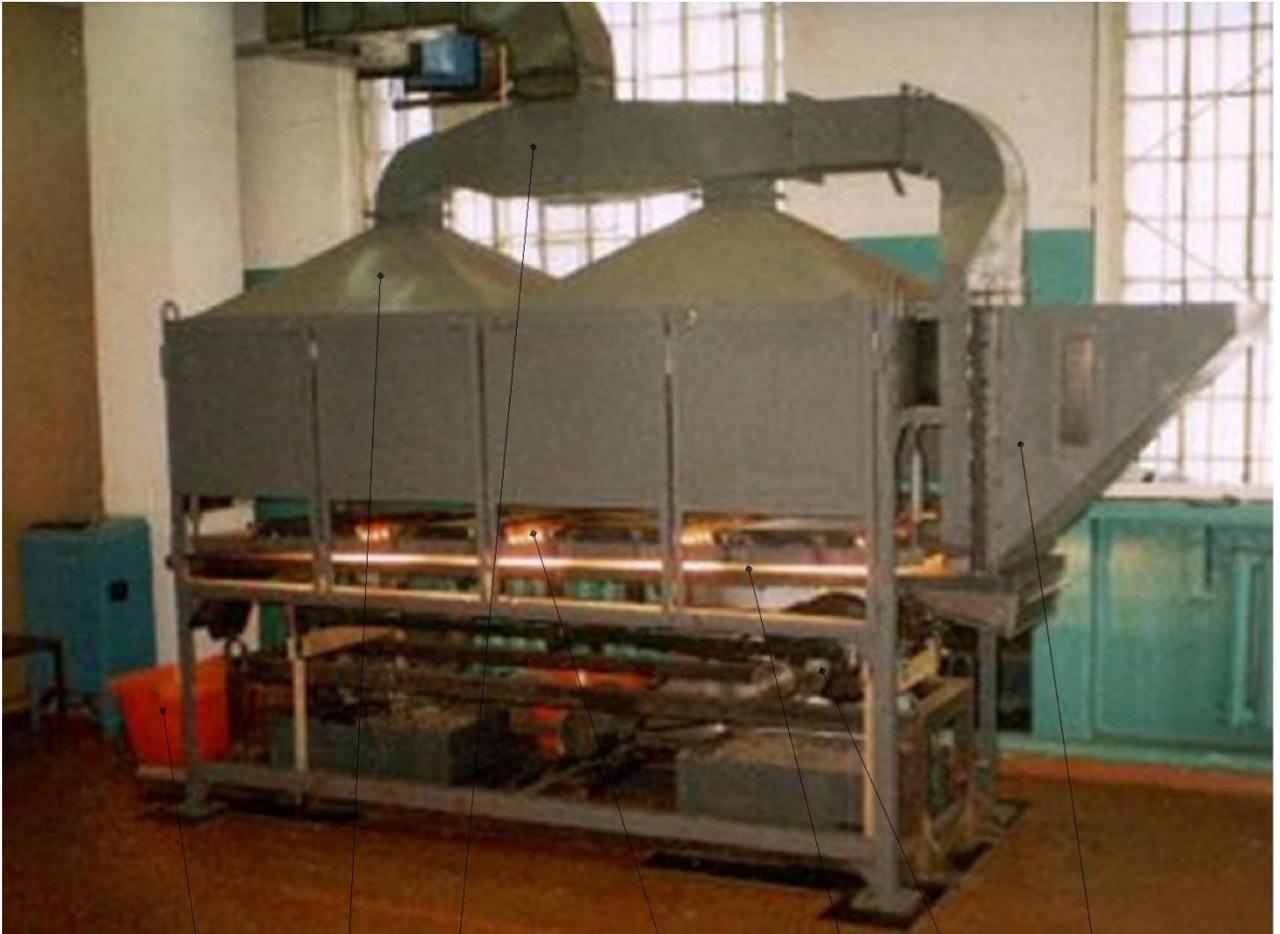
1 – загрузочный бункер; 2 – ИК-излучатели; 3 – короб привода; 4 – защитный кожух ИК-излучателей; 5 – шнек;

Рисунок 1.4 – Общий вид микронизатора ИПБГ 1.0

Микронизатор 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» [102], большие энергозатраты на процесс микронизации, выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала [102].

1.3.4. Микронизатор зерна УМЗ-0.2

Микронизатор модели УМЗ-0.2 показан на рисунке 1.5. В нем предусмотрена нетрадиционная высокоэффективная технология тепловой обработки зерновых продуктов, заключающаяся в комбинированном



6 4 7 2 1 3 5

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

Рисунок 1.5 – Общий вид микронизатора УМЗ-0.2

воздействие на культуру ИК-излучения, а также энергии СВЧ-поля. При этом полностью гибнут как бактерии, так и вредители (такие 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 [88].

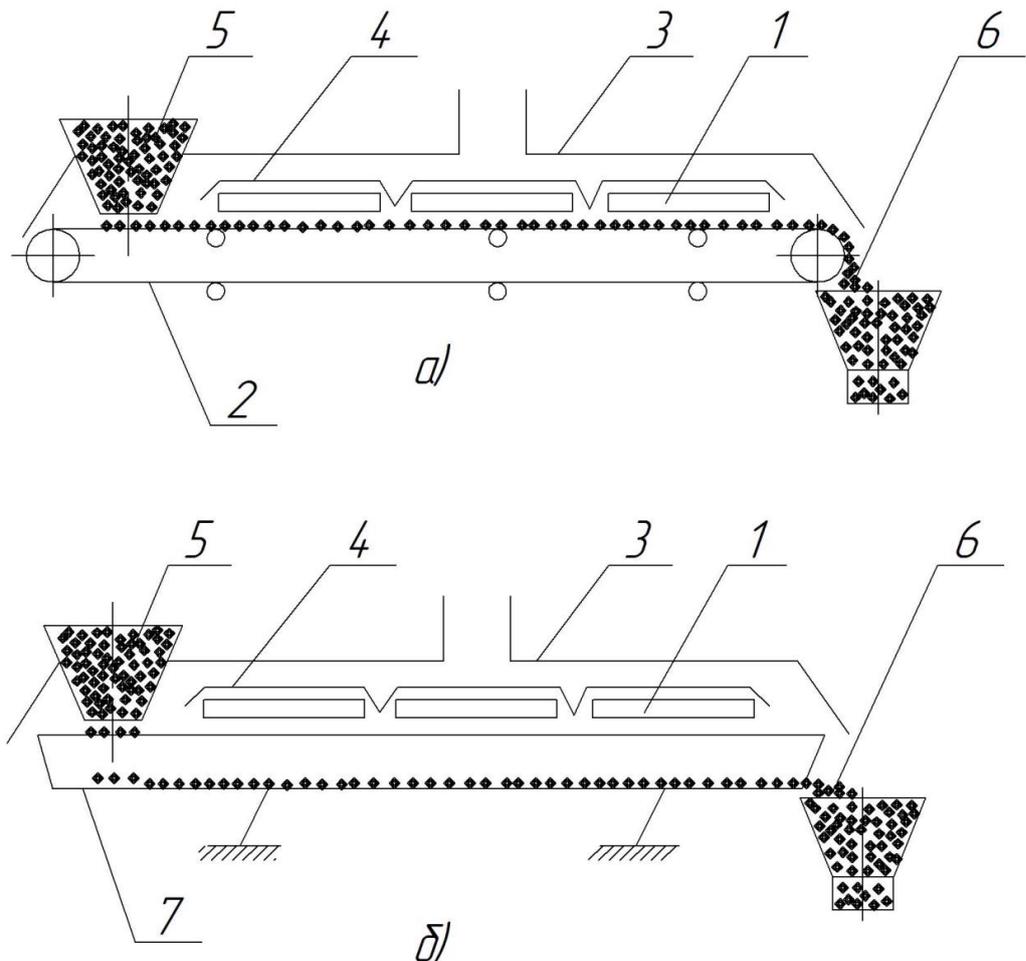
Микронизатор УМЗ-0.2 имеет ряд недостатков, таких как: большие габариты, «потери тепловой энергии за счет нагрева элементов ленточного конвейера, отражателей ИК-излучателей, конвективные потери через неплотности между камерой облучения и ленточным конвейером, большие» [102] энергозатраты на процесс микронизации, нерационально выбранная конфигурация расположения ИК-излучателей, что снижает КПД установки и качество обрабатываемого материала [102].

1.3.5. Термоустановка с ИК-энергоподводом для термообработки зерна

Рассмотрим термоустановку с ИК – энергоподводом для термообработки зернового сырья с продольным расположением вдоль конвейерной ленты выбранных генераторов ИК – излучения (рисунок 1.6.а). Установка источников ИК – излучения вдоль конвейерной ленты с шагом, уменьшающимся от оси конвейера и его периферии, позволяет выравнять 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 [40,52].

Более эффективным устройством для перемещения зерна внутри термокамеры явилось применение для этой цели вибростола (рис.1.6.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.



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.

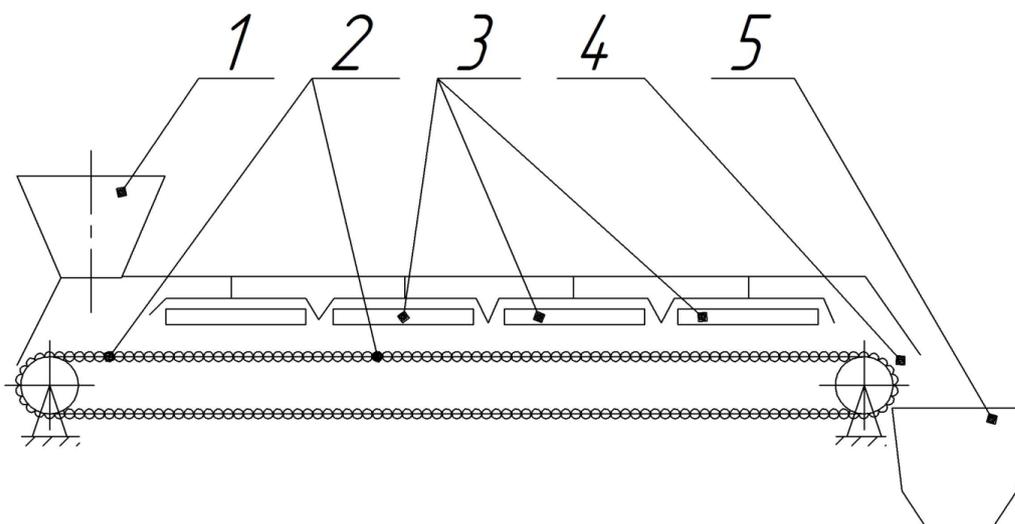
Рисунок 1.6 – Схема термоустановок с ИК-энергоподводом для термообработки зерна

У данной конструкции установки для микронизации зерна имеется ряд недостатков: 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 вибрирующей поверхности. Небольшим по размеру микронизаторам соответствуют малые скорости перемещения, а следовательно, минимально возможные амплитуды колебаний рабочего органа. В то же время для активного процесса

микронизации в слое зерна необходима большая подвижка отдельных зерен относительно друг друга, а для этого необходимо большое ускорение подбрасывания зерна.

1.3.6. Устройство для термообработки типа УТЗ-4

Рассмотрим микронизатор типа УТЗ-4 (рис.1.7, рис 1.8). Микронизатор УТЗ-4 состоит из рабочей камеры, загрузочного бункера-дозатора 1, ленточного транспортера 2, источников ИК-излучения 3, окна для выгрузки 4 и бункера 5.



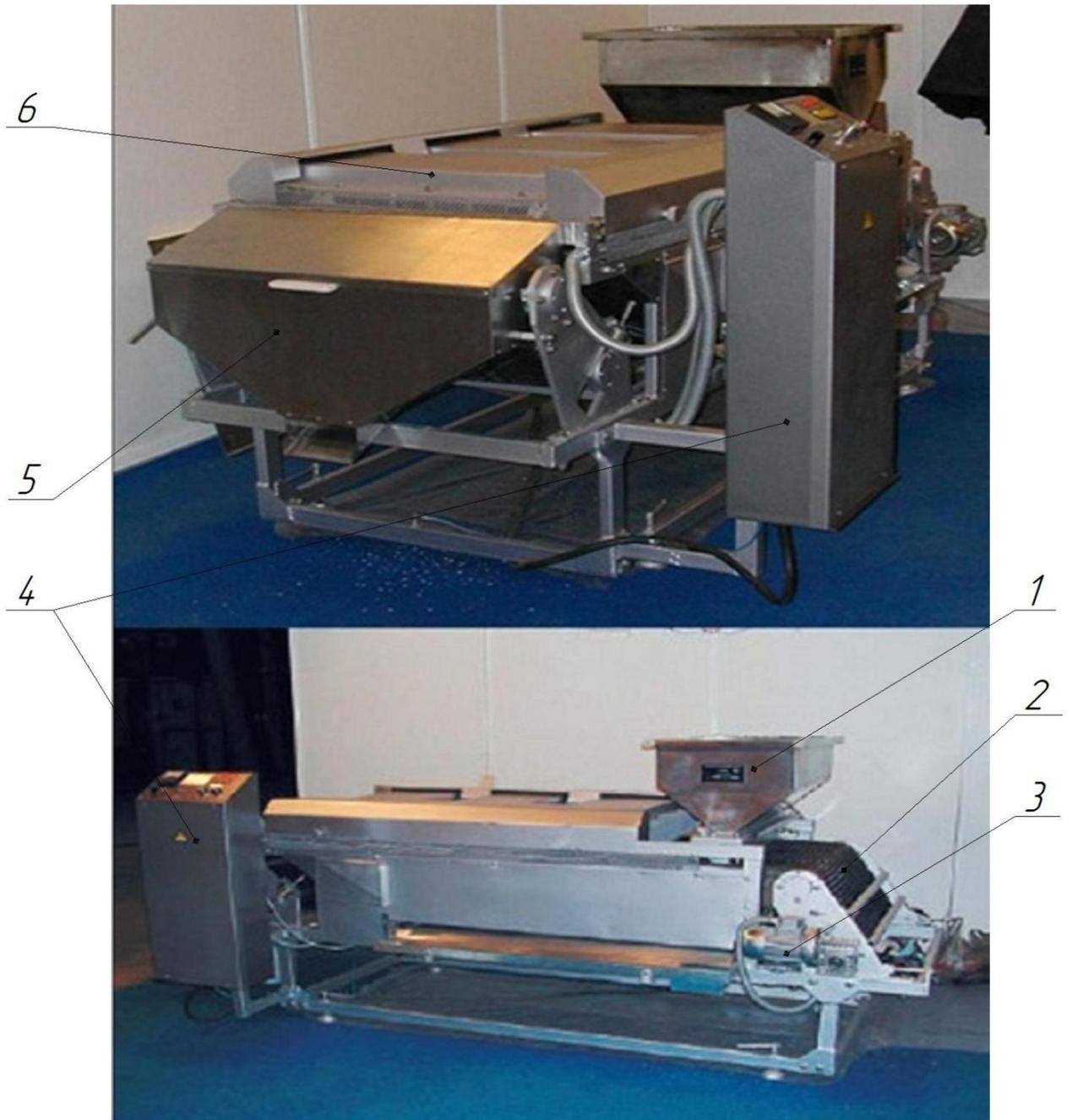
1 – бункер-дозатор; 2 – транспортер ленточный; 3 – источник ИК-излучения; 4 – окно для выгрузки в бункер готовой продукции; 5 – бункер для микронизированного зерна.

Рисунок 1.7 – Схема устройства микронизатора типа УТЗ – 4

Зерно подается в загрузочный бункер-дозатор и попадает на ленточный транспортер, где подвергается ИК-излучению. Двигаясь по транспортеру, зерно попадает в бункер для микронизированного 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 загрузочный; 2 – ленточный транспортер; 3 – электродвигатель;
4 – блок управления; 5 – бункер для микронизированного зерна; 6 – защитный кожух ИК-излучателей;

Рисунок 1.8 – Общий вид установки для микронизации типа УТЗ-4

1.3.7. Устройство для микронизации разработанное, в ФГБОУ ВО РГАТУ

Рассмотрим установку для микронизации, разработанную в ФГБОУ ВО РГАТУ Афиногеновым Н.Ю. и Кипарисовым Н.Г. под руководством профессора Некрашевича В.Ф. [83].

Это новая конструктивно-технологическая схема установки для микронизации зерна. Сущность процесса заключается в пропускании зерна в зазоре между двумя концентрически расположенными цилиндрами, из которых внутренний выполнен из кварцевого стекла, и в нем расположены ИК-излучатели.

Установка для микронизации зерна работает следующим образом. В приемный бункер засыпают предварительно очищенное от пыли и примесей зерно, которое под собственным весом ссыпается в полость между внутренним и внешним цилиндрами, до верхнего выгрузного диска, выгрузные отверстия которого закрыты. После заполнения полости включают блок ИК-излучателей и при достижении требуемой экспозиции, в зависимости от вида обрабатываемого зерна, включают электропривод выгрузных дисков, предварительно открыв выгрузные отверстия на величину необходимой производительности. Обработанное зерно через выгрузные отверстия ссыпается в приемный бункер. После опустошения бункера и полости между цилиндрами отключаются электропривод и ИК-излучатели.

Однако опытов по микронизации на этой установке не проводилось. Кроме того она имеет ряд существенных недостатков: расположение двух цилиндров концентрично, что приводит к зависанию зерна в зазоре, так как при нагревании зерно расширяется по объему под действием ИК-излучения, и в дальнейшем приводит к нарушению технологического процесса и неравномерности микронизации зерна.

1.4. Анализ научных исследований, выполненных по тепловой обработке зерна

На сегодняшний день тепловая обработка зерна ИК-излучением при подготовке его к скармливанию сельскохозяйственным животным часто используется для технологического процесса производства приготовления комбикорма. Большой вклад в изучение процесса тепловой обработки ИК-излучением зерна, внесли такие ученые как К.И. Андонов [4], В.И. Анискин [5], Н.Ю. Афиногенов [83], Н. Брагинец [13], А.С. Гинзбург [16,17,18], С.В. Зверев [35,36,37,38,39,40], Н.Г. Кипарисов [83], А.В. Клименюк [50], А.И. Купреенко [57,58,59], В.И. Курдюмов [60,61], П.Д. Лебедев [62,63], В.П. Муругов [77], В.Ф. Некрашевич [53,75,83,84,85,86,90,100,101,102,121,122], П.А. Новиков [79], И.А. Рогов [93], В.И. Сыроватка [106,107,108,109,110], Е.П. Тюрев [123,124,125] и др .

Термообработка зерна ИК-излучением получила наиболее полное развитие в работах Е.П. Тюрева [123,124,125], С.В. Зверева [35,36,37,38,39,40], О.В. Цыгулева. Авторами было предложено рациональное решение проблемы использования ИК-излучения в технологических процессах пищевой промышленности, которое было достигнуто на основе комплексных экспериментальных и аналитических исследований.

В ФГБОУ ВО РГАТУ вопросом тепловой обработки кормов занимались под руководством профессора В.Ф. Некрашевича такие ученые как Н.Ю. Афиногенов [83], Н.Г. Кипарисов [83]. В работах этих ученых рассмотрены вопросы обоснования рациональных режимов ИК-излучения в технологических процессах подготовки фуражного зерна к скармливанию.

Значительный вклад в развитие теории и технологии сушки инфракрасными лучами внесли исследования и работы следующих авторов: Н. Брагинец [13], Р. Борхерта [12], А.С. Гинзбурга [16,17,18,], П.Д. Лебедева [62,63], А.В. Лыкова [64,65,66,67,68]. Авторами было выявлено, что термическая обработка зерна может производиться при помощи газа,

термоизлучения, горячего воздуха [10].

В работах А.С. Гинзбурга довольно подробно рассмотрен вопрос сушки пищевых продуктов [16,17,18], где изложены вопросы теории, техники, технологии, а так же приведены теплофизические характеристики и оптимизированные режимы сушки. Автор отмечает в своих работах, что при аргументированном выборе режима процесса сушки зерна, требуется отталкиваться от технологических свойств обрабатываемого материала, которые меняются в результате сушки, т.е. требуется выбирать такие параметры (как температура, скорость воздуха, влажность и др.), при воздействии которых делало возможным получать оптимальные технологические свойства [18].

Аппараты, рассмотренные в трудах В.И. Сыроватка [106,107,108,109,110], работают под избыточным давлением, из-за своего внешнего вида и звукового эффекта при работе получили название "пушки". В отечественной практике распространены термические аппараты с внешним газовым обогревом, изготавливаемые Смелянским машиностроительным заводом. Зерно злаковых культур, за исключением лопающейся кукурузы, взрываясь в этих аппаратах, сохраняет целостность эндосперма, не растрескивается, а как бы вспучивается, приобретая в зависимости от вида продукта шарообразную (кукуруза, соя, горох) или удлиненно-овальную форму (рис, пшеница, овес, ячмень). Так, в процессе взрывания зерна кукурузы количество декстринов увеличивается с 1,19 до 13,38%, а при взрывании кукурузной крупы – с 1,70 до 14,75%; в зерне содержание водорастворимых веществ увеличивается с 5,96 до 18,16%, а в крупе – с 4,57 до 27,14%. При взрывании зерна пшеницы количество декстринов увеличивается с 4,35 до 15,97%, а при взрывании пшеничной крупы – с 0,49 до 24,84%, в зерне пшеницы содержание водорастворимых веществ увеличивается с 9,64 до 32,29%, а в пшеничной крупе – с 6,25 до 35,34%. Все это указывает на то, что при термической обработке круп происходят более глубокие изменения химических веществ, входящих в их состав.

Исследованием тепловой обработки фуражного зерна ИК-излучением

при подготовке к скармливанию занимались такие ученые как Н.В. Брагинец [13], А.И. Орлов [81], Г.А. Егоров [28,29,30], П.А. Новиков [79]. Авторами было предложено термическую обработку фуражного зерна поджариванием производить кондуктивным методом на обжарочных агрегатах периодического действия. Температура греющей поверхности данных агрегатов равна 200 – 230⁰С, продолжительность нагрева 90 – 100 минут. В результате обжаривания фуражного зерна происходит гидролиз крахмала и переход его в декстрин. Но при этом питательная ценность комбикорма, включающего поджаренное зерно, увеличивается незначительно.

В настоящий момент основу агрегатов для микронизации составляют машины с применением ленточного конвейера. Это объясняется, прежде всего, простой компоновкой таких машин, протекающего процесса микронизации на ленточном конвейере, сложностью конструкции. Эти машины совершают работу при значительных затратах энергии.

1.5. Цель работы и задачи исследования

Разработки по созданию машин для микронизации 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 [118]. Работы ученых по исследованию процесса тепловой обработки машинами с ленточным конвейером указывают на ограниченность дальнейшего повышения его увеличения [59,61,62,65]. На ряду этого обосновано, что многие научные коллективы находятся в поиске новейших путей по улучшению технологических процессов приготовления комбикорма с использованием тепловой обработки [49,90].

Увеличение скорости движения зернового материала по ленточному конвейеру влечет за собой необходимость повышения мощности ламп ИК-

излучения, чтобы как можно большее количество фуражного 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 фуражного зерна и обеспечения ее прочности, что влечет за собой увеличение массы машины, которая ведет к созданию дорогостоящих и громоздких сооружений [136].

В результате научной работы по изучению возможности улучшению эффективности работы установки для микронизации фуражного зерна [40] является разработка его рационализированной и усовершенствованной схемы. Полученная математическая модель [53] показывает, что целесообразно наружный цилиндр сделать в виде усеченного конуса. Были обоснованы параметры наружного цилиндра, который служит кожухом-отражателем.

В свете данной проблемы, возможно, выделить два главных направления поиска технических решений: улучшение процесса тепловой обработки фуражного зерна ИК-излучением с применением конвейеров ленточного типа на основе особых технических разработок; интенсификация процесса тепловой обработки фуражного зерна ИК-излучением с помощью создания новых рабочих органов и новых принципов микронизации фуражного зерна.

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

Для достижения цели определены следующие задачи исследования:

- проанализировать современные технологии подготовки фуражного зерна;
- обосновать конструктивно – технологическую схему устройство для микронизации фуражного зерна;
- изучить физико-механические и теплофизические свойства фуражного зерна, принятого к исследованию;
- теоретически обосновать параметры устройства для микронизации

фуражного зерна;

- экспериментально уточнить параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- провести проверку микронизатора фуражного зерна в производственных условиях и дать оценку его экономической эффективности.

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИНЯТЫХ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВИДОВ МИКРОНИЗИРОВАННОГО ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

2.1. Программа и методика исследований

2.1.1. Программа проведения исследований

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

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;
- определение коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна;
- определение теплофизических свойств зерна;

Зерновые культуры, которые были приняты к исследованию, это фуражная пшеница, сорт «Московская – 39»; фуражный ячмень, сорт «Данута»; фуражный овес, сорт «Скакун».

Физико-механические характеристики зернофуража определяли по действующим методикам [1,2,48].

При выполнении исследований использовали следующие приборы: литровая пурка ПХ-1, электронные весы серии «556», электронный штангенциркуль ШЦЦ-1 0-125 0,01, масштабная линейка, термометр ТЛ-2 лабораторный.

2.1.2. Методика определения объёмной массы и влажности зерна

Определение относительной влажности зерна происходило согласно ГОСТ 13496.5-92 [21]. Зерно сушилось на протяжении 60 минут в сушильной установке при температуре t , равной 130°C. Влажность W , %, определялась в процентах по формуле:

$$W = 100 \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (2.1)$$

где m_1 – масса зернофуража до высушивания, кг;

m_2 – масса зернофуража после высушивания, кг.

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

$$\Delta m_{\text{в}} = m \left(\frac{W_{\text{к}} - W_{\text{н}}}{100 - W_{\text{к}}} \right), \quad (2.2)$$

где m – масса зернофуража до увлажнения, кг;

$W_{\text{к}}$ – конечная влажность (задаваемая), %;

$W_{\text{н}}$ – 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 зернофуража постоянной на протяжении всего хода исследований.



Рисунок 2.1 – Общий вид литровой пурки ПХ-1

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» [22] (рис. 2.1), а результат вычислялся по формуле:

$$\gamma = \frac{G_3}{V_{II}}, \quad (2.3)$$

где γ – объёмная масса зернофуража, кг/м³;

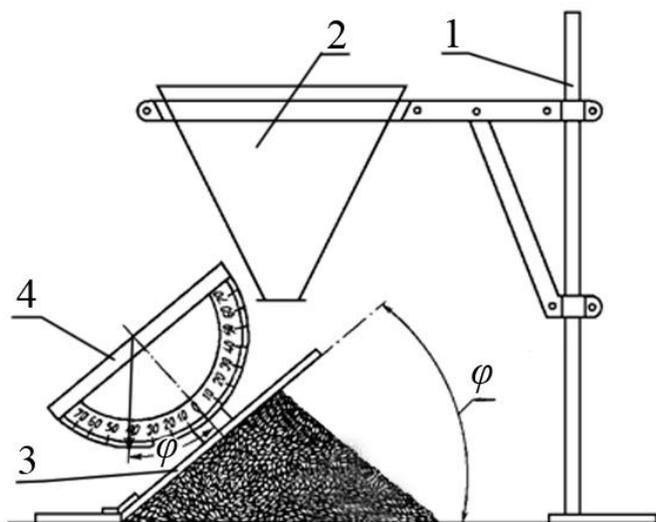
G_3 – масса зернофуража в пурке, кг ;

V_{II} – объём пурки (он равен 0,001 м³).

2.1.3. Методика определения угла естественного откоса зерна

При проектировании конуса распределителя зерна в микронизаторе, бункеров, а также при выборе угла наклона диска-дозатора необходимо знать коэффициент трения. Методика определения угла естественного откоса зерна производилась согласно ГОСТ 28254 – 89 [22] (рис. 2.2).

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 – пластинка; 4 – транспортир со стрелкой; φ – угол естественного откоса;

Рисунок 2.2 – Схема лабораторной установки для нахождения угла естественного откоса

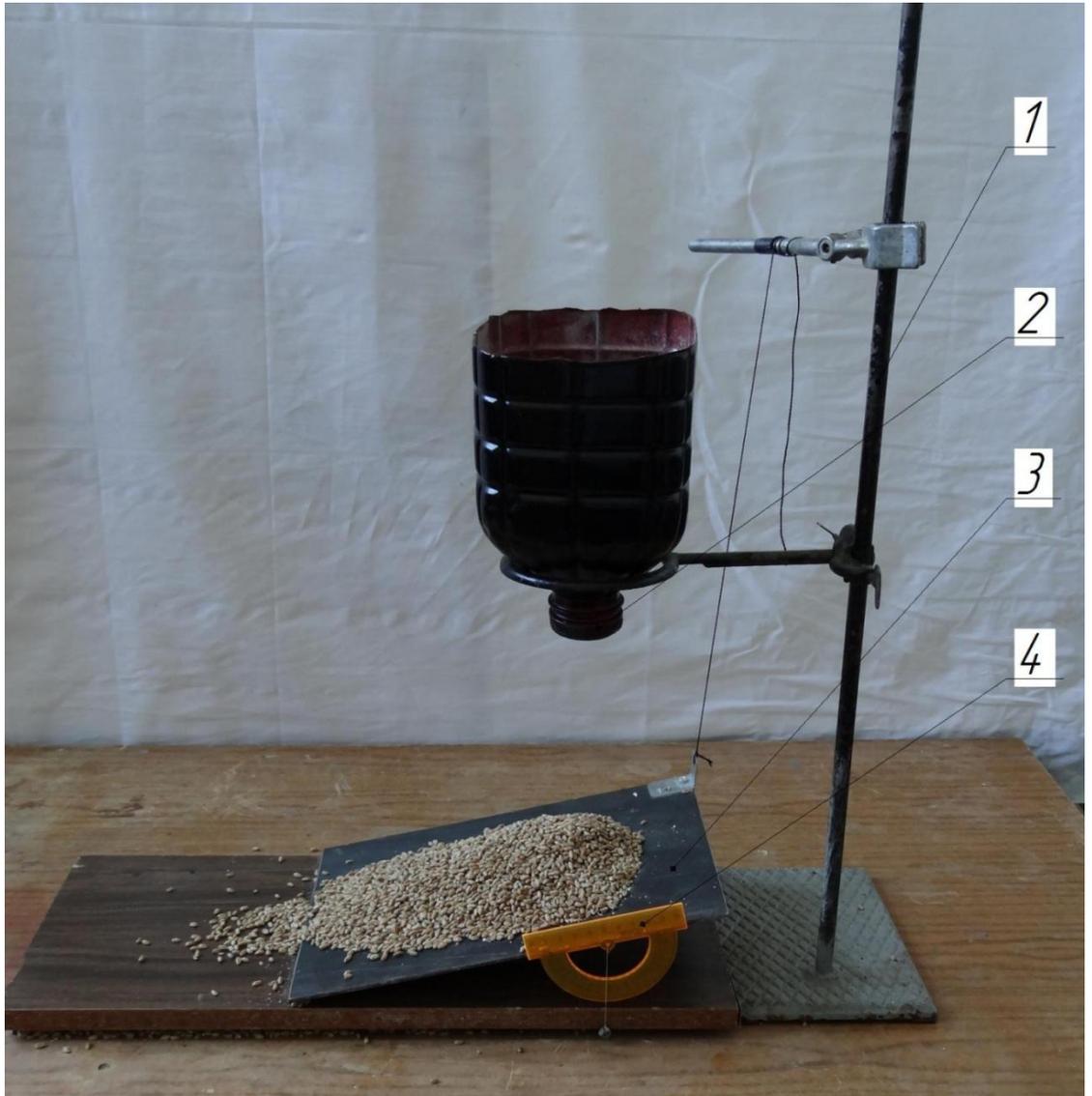
«Угол естественного откоса - это составляющий угол между диаметром основания и образующей конуса, получающийся при свободном падении зерновой массы на горизонтальную плоскость (рис. 2.2)» [32].

«Угол трения - это наименьший угол, когда зерно начинает двигаться самотеком по наклонной плоскости» [32].

«Коэффициент статического трения - это тангенс угла трения» [32].

Коэффициент статического трения определяли с помощью установки

(рис. 2.3). Установка состоит из воронки 2, которая закреплена в штативе 1, пластинка 3 на которой закреплен транспортер 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 ссыпаться.



1 – штатив установки; 2 – воронка; 3 – пластинка; 4 – транспортер со стрелкой;
Рисунок 2.3 – Общий вид лабораторной установки для нахождения коэффициента статического трения

Опыт для подлинности полученных результатов повторяли трехкратно.

2.1.4. Методика определения истечения зернового материала

Коэффициент трения определяется в результате обоюдного 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 общей 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 [1,2]. 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:

$$\lambda = \frac{tr}{G}, \quad (2.4)$$

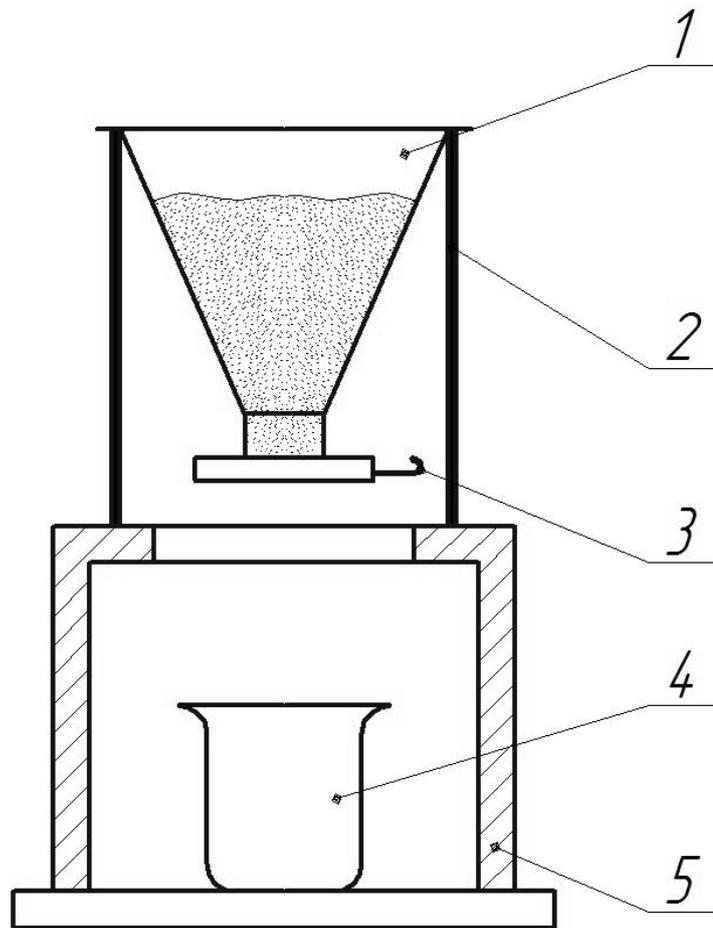
где, t – время истечения зерна из воронки установки, с;

r – радиус сечения отверстия воронки, мм ;

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

На рисунке 2.4 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 длинна трубки воронки составляет 3 мм, соответственно от основания конуса, которое закрывается заслонкой 3 (рис. 2.4).



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

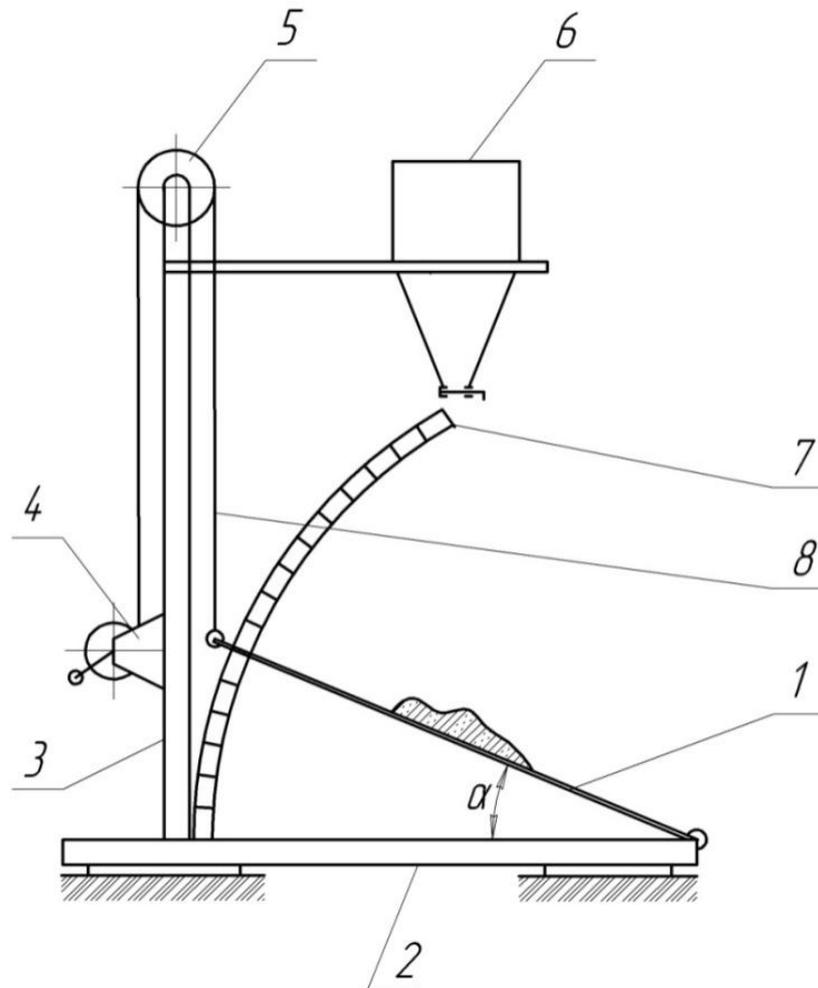
Рисунок 2.4 – Схема лабораторной установки, на которой определялось истечение зерна

Нахождение истечения зерна проходило следующим способом. В воронку 1, насыпали 0,2кг 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 «Агат 4282», у которого цена деления 0,2 с и далее коэффициент истечения определяли по формуле (2.4).

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

2.1.5. 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 2.5. Из бункера 6 на плоскость металлического листа 1, который находится в горизонтальном положении, насыпали порцию зернофуража 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 2.5 – Схема лабораторной установки по определению коэффициента трения

Статический коэффициент трения f_{CT} , вычисляли по формуле:

$$f_{CT} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.5)$$

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 зернофуража не прекращал скатываться по плоскости. Далее угол наклона фиксировался.

Динамический коэффициент трения f_d , вычисляли по формуле:

$$f_d = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.6)$$

где α – угол подъема металлического листа.

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

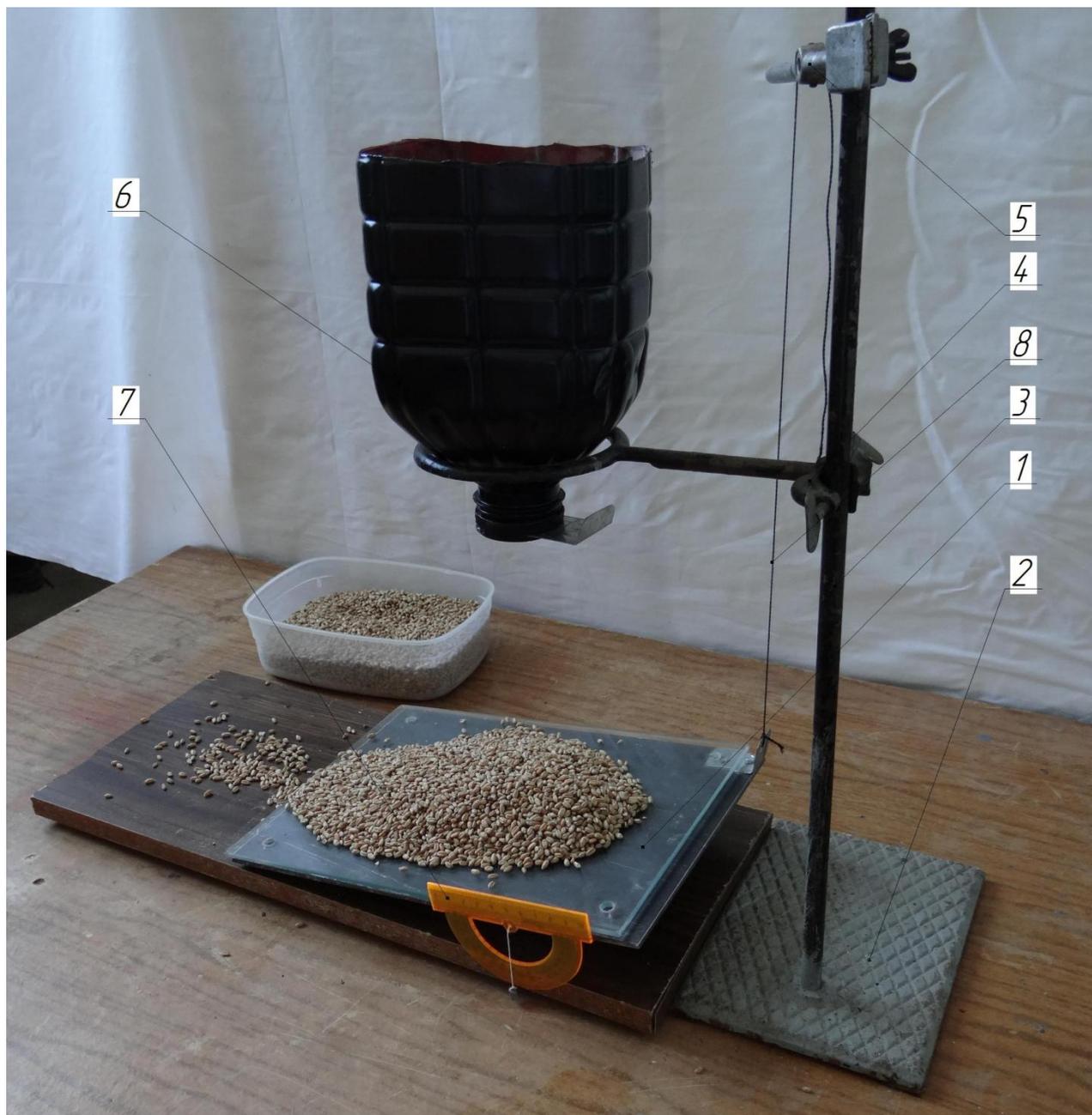
Для последующей оценки и достоверности результатов динамического и статического угла трения опыт проводили с трехкратной повторностью.

2.1.6. Методика определения коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна

Углы трения по кварцевому стеклу (ТУ-5932-009-00288679-97) при нормальном давлении определяли в покое, а также при движении на установке, схема которой изображена на рисунке 2.6. Из бункера 6 на плоскость кварцевого стекла 1, которое находится горизонтально, насыпали порцию зернофуража произвольной массы. Далее кварцевое стекло поднималось при помощи лебедки 4 до того момента, пока зерно не начинало свое движение.

Кварцевое стекло фиксировалось в этом положении, после чего замеряли угол наклона. При определении в движении угла трения кварцевое стекло 1 поднимали на фиксированный угол. Далее из бункера 6 ссыпалось зернофураж и по мере возрастания угла наклона кварцевого стекла фиксировали положение, когда зернофураж начинал скользить по поверхности без задержки.

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



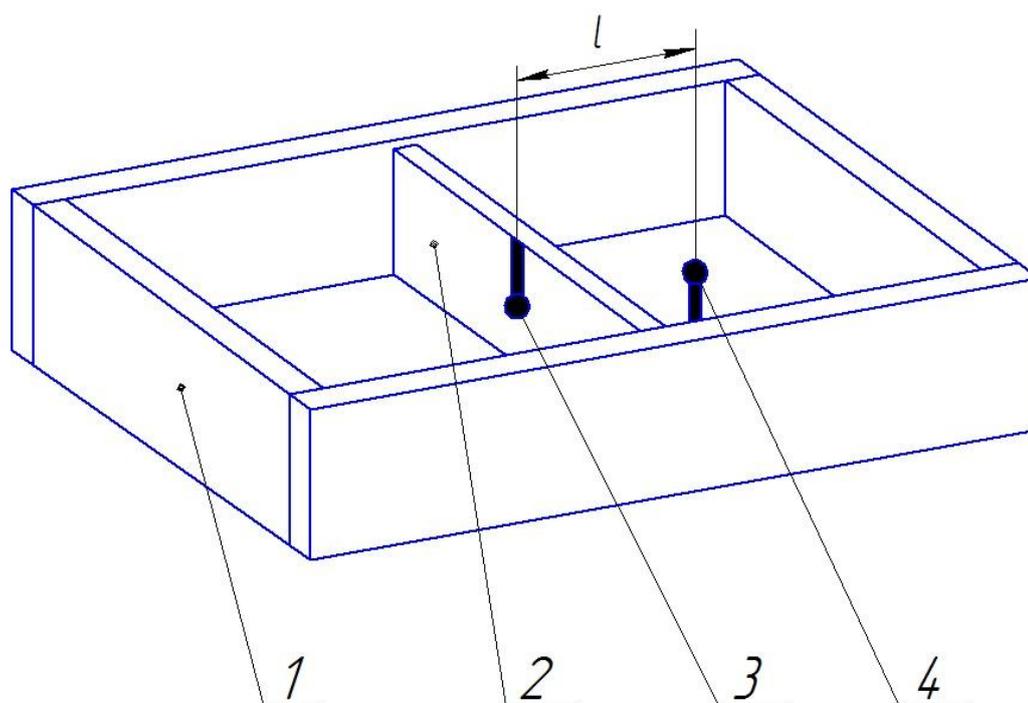
1 – лист из кварцевого стекла; 2 – основание; 3 – штатив; 4 – лебедка; 5 – ролик; 6 – загрузочный бункер; 7 – транспортер; 8 – трос.

Рисунок 2.6 – Установка для нахождения коэффициента трения по кварцевому стеклу

2.1.7. Методика определения теплофизических свойств зерна

Теплофизические свойства микронизируемого зерна такие, как теплопроводность, температуропроводность и теплоемкость определяли следующим образом. Был изготовлен прибор, по принципу, который

предложил А.Ф. Чудновским (рис. 2.7) [9,17,33,48]. Он состоит из теплоизолирующей фторопластовой коробки 1. Плоский зонд 2 расположен в ее центре, который выполнен из алюминия. На его поверхности находится температурный датчик 3 ДТ-2. Длина, ширина и толщина зонда соответственно $60 \times 30 \times 1,5$ мм. Отношение длины к ширине коробки составляет 5:1, при этом толщина стенок фторопластовой теплоизолирующей коробки равна 50 мм. Температурный датчик 4 ДТ-1 находится на расстоянии l от зонда. Чувствительный элемент температурного датчика 4 помещаем в середину слоя исследуемого материала.



1 – фторопластовая коробка; 2 – зонд; 3 – температурный датчик зонда ДТ-2;
4 – температурный датчик ДТ-1

Рисунок 2.7 – Схема прибора для нахождения теплофизических свойств зернофуража методом плоского зонда



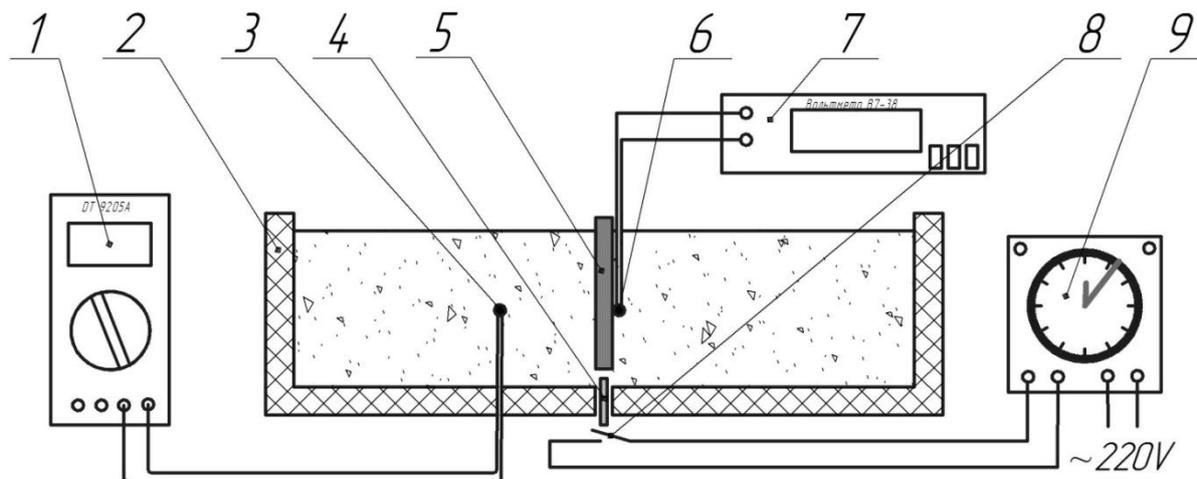
Рисунок 2.8 – Общий вид прибора для нахождения теплофизических свойств зернофуража методом плоского зонда

Для понижения инерционности процесса в ходе измерения и повышения точности проведения опытов были использованы температурные датчики конструкции В.Г. Карманова микротерморезисторы МТ-54М, которые предварительно откалиброваны по лабораторному термометру ТЛ-2.

Для контроля временно-температурных нормативов зонда и исследуемого материала, а также уменьшения трудоемкости проведения опыта была применена электроизмерительная схема (рис. 2.9).

Опыт проводился следующим образом. Исследуемое зерно помещали в коробку по обрез до верхнего края. Далее в сушилке нагревали зонд с выдержкой 4 – 5 минут до определенной температуры. Нагретый зонд помещали в коробку с зерном и автоматически включали секундомер. После проводили запись показателей времени и температуры. После того как начала снижаться температура нагреваемого зерна опыт прекращался.

Опыты предусматривали определение влияния температуры и влажности на теплопроводность, температуропроводность и теплоемкость.



1 – цифровой мультиметр DT-9205A; 2 – фторопластовый корпус; 3 – температурный датчик ДТ-1; 4 – шток; 5 –алюминиевый зонд; 6 – температурный датчик ДТ-2; 7 – вольтметр типа «В7-38»; 8 – контакт включающий секундомер; 9 – электросекундомер типа «СЭД-1М».

Рисунок 2.9 – Схема лабораторной установки для нахождения теплофизических свойств зерна

Для достоверности результатов опыт проводился в трехкратной повторности.

В результате проведения опытов на микронизированном зерне были определены: максимум температуры нагретого материала T_C^{\max} ; температура нагретого зонда когда его погружали в исследуемое зерно T_3^{\max} ; время цикла τ_u ; температура зонда T_3^{\min} , когда была минимальная температура исследуемого зерна. Вычисления производили с учетом температуры зерна T_C в начале проведения опыта [113,114].

Коэффициент температуропроводности a определялся с учетом известного времени τ_u , c по формуле

$$a = \frac{l^2}{2\tau_u} \quad (2.7)$$

где l – расстояние от начальной точки измерения температуры рассматриваемого зерна до зонда, м;

τ_y – время, погружения зонда, до достижения зерно максимальной температуры в точке измерения, с.

Определение теплоемкости c , Дж/(кг · °С), зерна производили по формуле

$$c = \ln Q - \frac{1}{2} \ln q - \frac{1}{2} \ln \tau_y - \ln \Delta T - \frac{x^2}{4a\tau_y} - A \quad (2.7)$$

где Q – отдаваемое количество теплоты пластиной зонда зерну, Дж;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

ΔT – начальная и конечная разность температуры зонда, °С;

A – величина постоянная и определяется размерами и формой плоского зонда;

q – ускорение свободного падения, м/с².

Определение количество теплоты Q , Дж, находим из выражения

$$Q = m_n c_n (T_3^{\max} - T_3^{\min}), \quad (2.8)$$

где, m_n – масса пластины плоского зонда, кг;

c_n – теплоемкость пластины алюминиевого зонда, Дж/(кг · °С);

T_3^{\max} – температура нагрева алюминиевого зонда, °С;

T_3^{\min} – температура алюминиевого зонда в конце опыта, °С.

Значение A находили по формуле

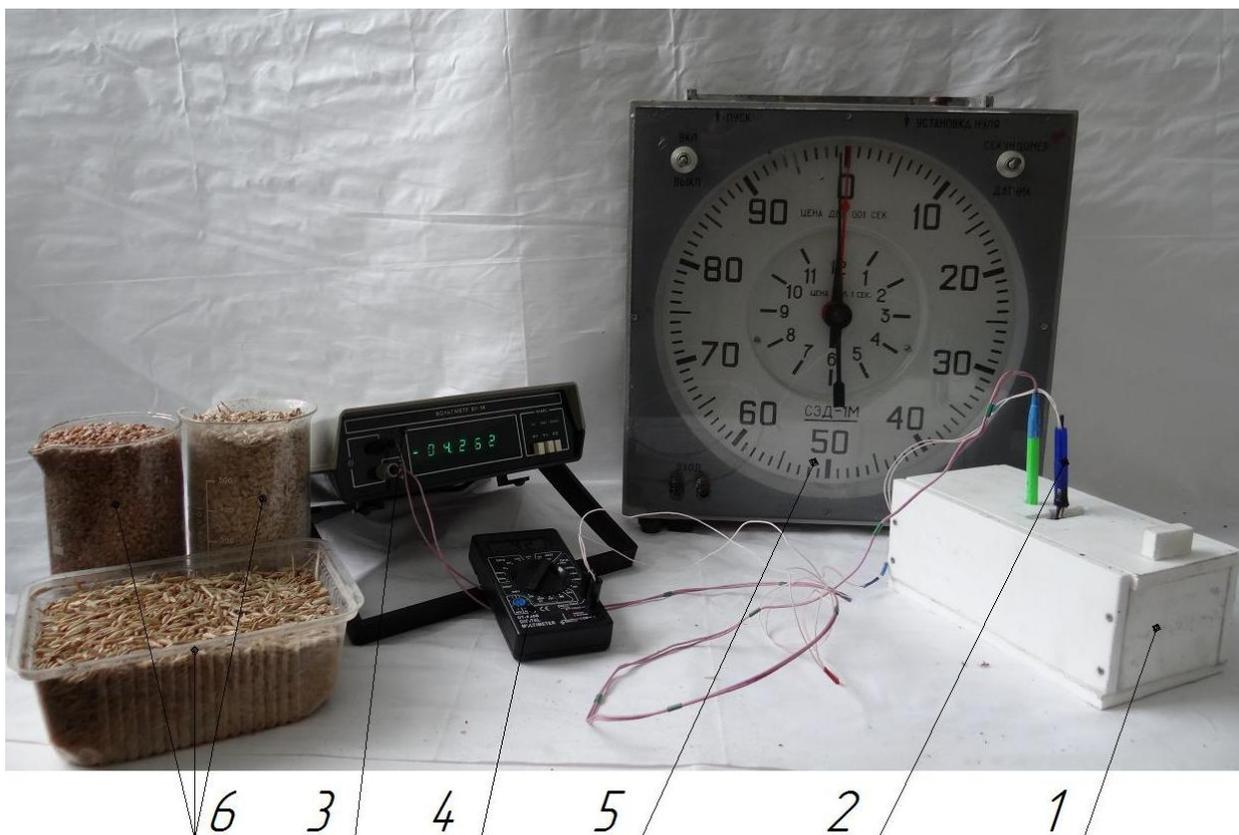
$$A = \ln 2 + \ln S + \frac{1}{2} \ln \pi \quad (2.9)$$

где, S – площадь поверхности пластины зонда, м².

Теплопроводность λ_T , Вт/м·К исследуемого зерна определяли из выражения

$$\lambda_T = c \cdot a \cdot \rho \quad (2.10)$$

где ρ – плотность микронизируемого зерна, кг/м³.



1 – коробка с зерном; 2 – плоский зонд; 3 – вольтметр типа В7-38; 4 – мультиметр цифровой типа DT-9205A; 5– электросекундомер типа СЭД-1М; 6 – исследуемое зерно.

Рисунок 2.10 – Общий вид лабораторной установки по определению теплофизических характеристик зерна

Для определения расстояния между плоским зондом и точкой замера температуры, был проведен опыт на очищенном от грязи речном песке с уже известными теплофизическими характеристиками. Средний размер частиц песка лежал в пределах $0,5-0,2 \times 10^{-2}$ м. Опыт с эталонным материалом (речной песок) был проведен в пятикратной повторности.

В итоге результатов опыта выбрано расстояние между плоским зондом и точкой замера температуры, равное $1,5 \times 10^{-2}$ м, что предоставило возможным в течение 10–15 минут провести измерения в ходе опыта с достаточной точностью.

Для повышения достоверности результатов данные опыты проводили с трехкратной повторностью.

2.2. Результаты исследований

2.2.1. Результаты исследований объёмной массы зерна

В результате исследований полученных данных построена зависимость объёмной массы γ зернофуража в зависимости от влажности представлена на рисунке 2.11. Статистические показатели, которые получили в результате опытов, представленные в приложении А. Статистическая обработка результатов исследований проводилась согласно методике, изложенной в работе Доспехова Б.А. [25,76]. Сделав анализ полученной зависимости, можно отметить, что с повышением влажности зерна уменьшается объёмная масса. Меньшая объёмная масса у овса, а большей обладает пшеница. У пшеницы она снижается с 794,2 до 743,8 кг/м³, влажность которой меняется от 10 до 18%. Также уменьшается объёмная масса у ячменя с 710,6 до 690,2 кг/м³ при той же влажности. У овса при 10% влажности она равна 515,4 кг/м³ и при 492,5 кг/м³ при 18%. Понижение показателя объёмной массы зернофуража связано с тем, что повышение влажности ведет к увеличению его объёма.

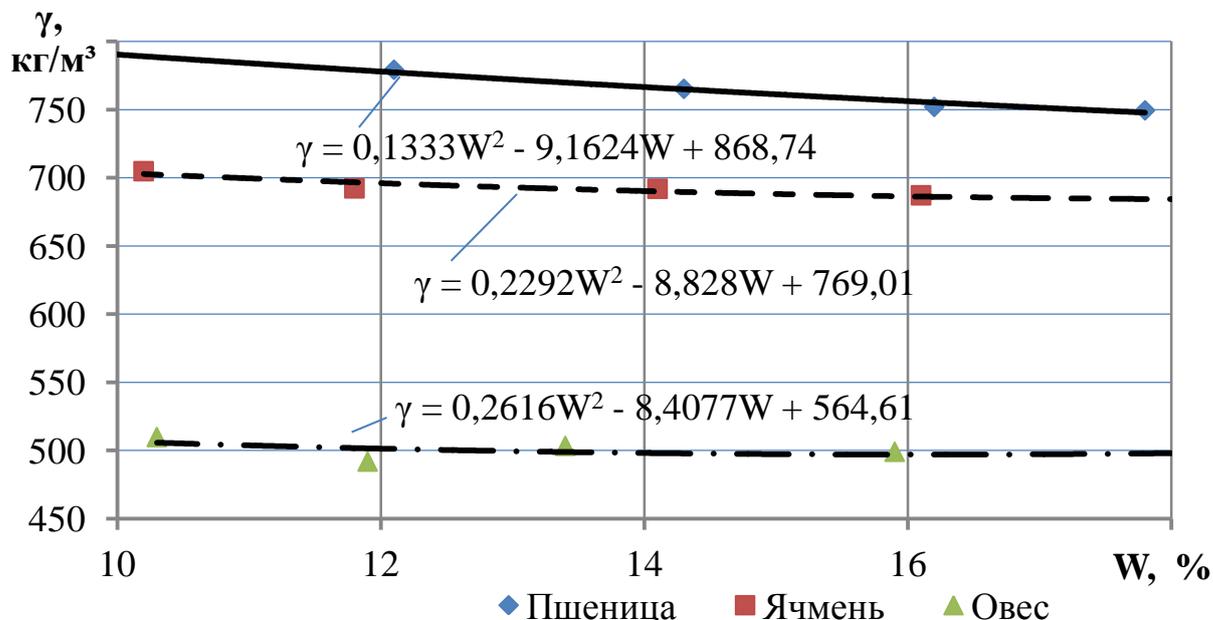


Рисунок 2.11 – Графическая зависимость показателя объёмной массы зернофуража в зависимости от его влажности

2.2.2. Результаты определения угла естественного откоса зерна

По данным полученных в ходе исследований был построен график зависимости угла естественного откоса $\alpha_{\text{отк}}$ от температуры зернофуража (рис. 2.12). Статистические показатели, которые получили в результате опытов, представлены в приложении Б.

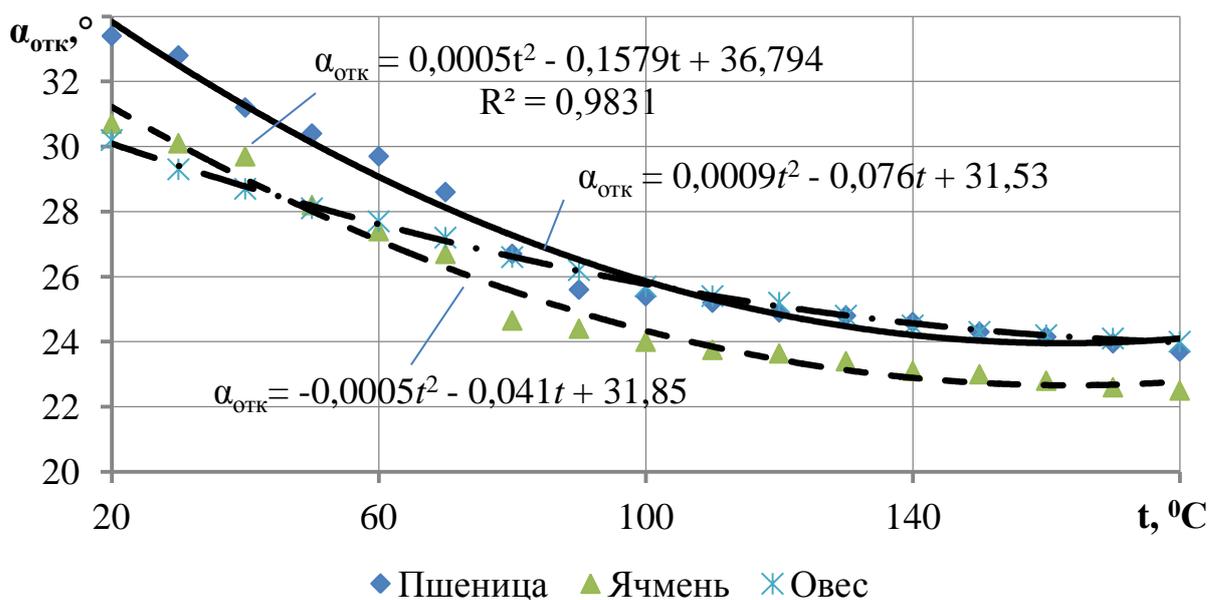


Рисунок 2.12 – График зависимости угла естественного откоса зерна от температуры

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

Угол естественного откоса с увеличением температуры от 20 до 180⁰C у пшеницы снижается с 33,4 до 23,7 градусов, у ячменя и у овса соответственно с 30,7 до 22,5 градусов и с 30,2 до 24 градусов.

2.2.3. Результаты исследования истечения зернового материала

В результате проведенного опыта получен график изменения коэффициента истечения λ зерна в зависимости от влажности (рис. 2.13). Статистические данные полученные в ходе опыта представлены в приложении В.

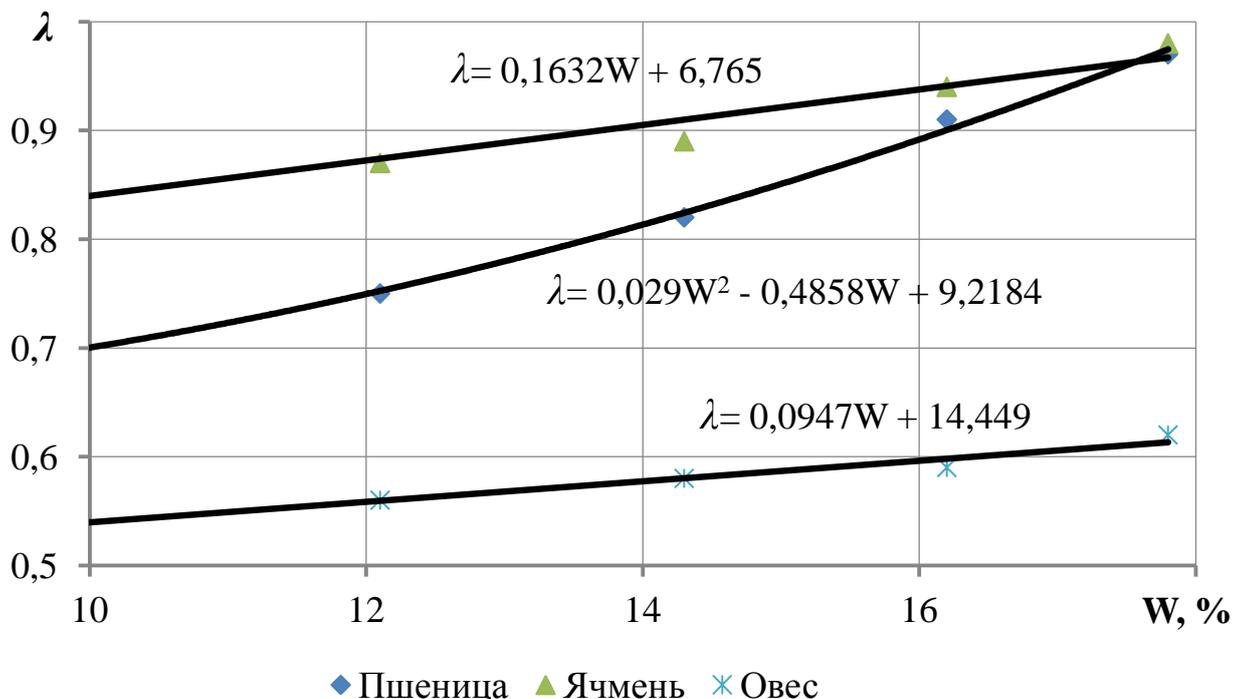


Рисунок 2.13 – График изменения коэффициента истечения зерна в зависимости от влажности

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 зернофуража. Овёс обладает наименьшим коэффициентом истечения. Это происходит из-за его геометрических параметров, особенно длины зерен и состояния его поверхности. Хотя также видно, что коэффициент истечения овса с возрастанием влажности изменяется немного меньше, чем у зерен пшеницы и ячменя.

Изменение коэффициента истечения при увеличении влажности от 10 до 18% для зерен пшеницы в пределе от 0,73 до 0,97, для зерен ячменя начиная от 0,85 до 0,98 и зерен овса соответственно с 0,54 до 0,62.

2.2.4. 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_{mp} зернофуража по металлической поверхности представленные на рисунке 2.14. В приложении Г представлены статистические сведения исследований.

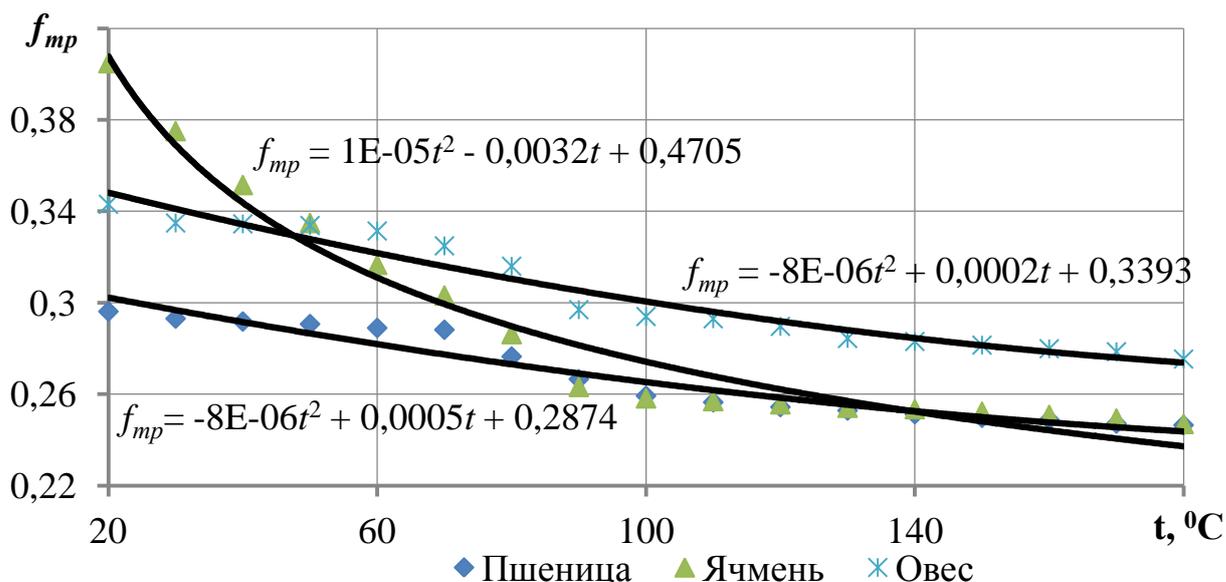


Рисунок 2.14 – График зависимости статического коэффициента трения зерна по металлической поверхности от температуры зерна

Коэффициент трения зерна по металлическому листу (нержавеющая сталь 12X189Н10Т ГОСТ 5949-75) при изменении температуры от 20 до 180⁰C уменьшается соответственно: для зерен пшеницы с 0,296 до 0,246, а для зерен овса с 0,343 до 0,275 и для зерен ячменя с 0,404 до 0,247.

2.2.5. Результаты определения коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна

По результатам исследования были получены следующие данные, по которым построен график зависимости коэффициента трения $f_{кв}$ зерна по кварцевому стеклу в зависимости от температуры (рис. 2.15). Статистические

данные исследований представлены в приложении Д.

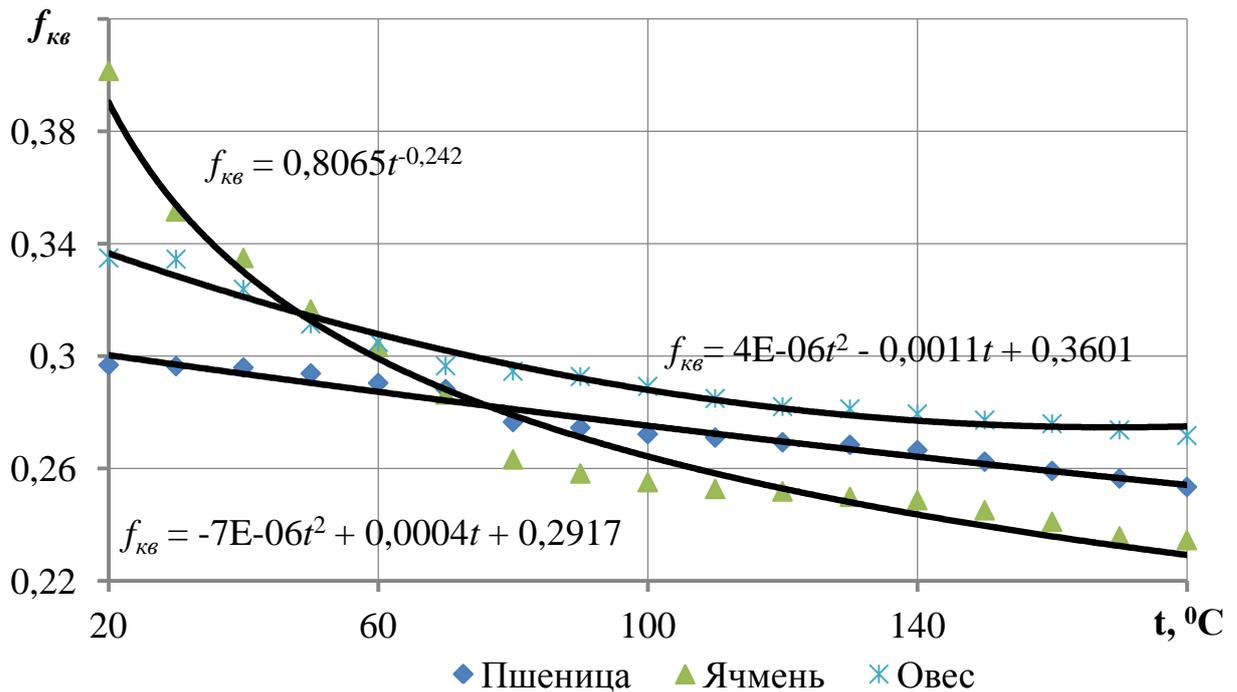


Рисунок 2.15 – Графическая зависимость коэффициента трения по кварцевому стеклу в зависимости от температуры зерна.

Анализ графической зависимости показывает, что при увеличении температуры от 20 до 180 $^\circ\text{C}$ наблюдается уменьшение коэффициента трения зерна по кварцевому стеклу для пшеницы соответственно с 0,296 до 0,253, с 0,334 до 0,271 для зерен овса и зерен ячменя соответственно с 0,401 до 0,234 и.

2.2.6. Результаты исследований теплофизических свойств микронизированного зерна

Теплофизические характеристики микронизированного зерна определялись при температуре от 70 до 150 $^\circ\text{C}$. По полученным данным построены графики зависимости (рис 2.16; 2.17; 2.18). В приложении Ж представлены статистические данные исследований.

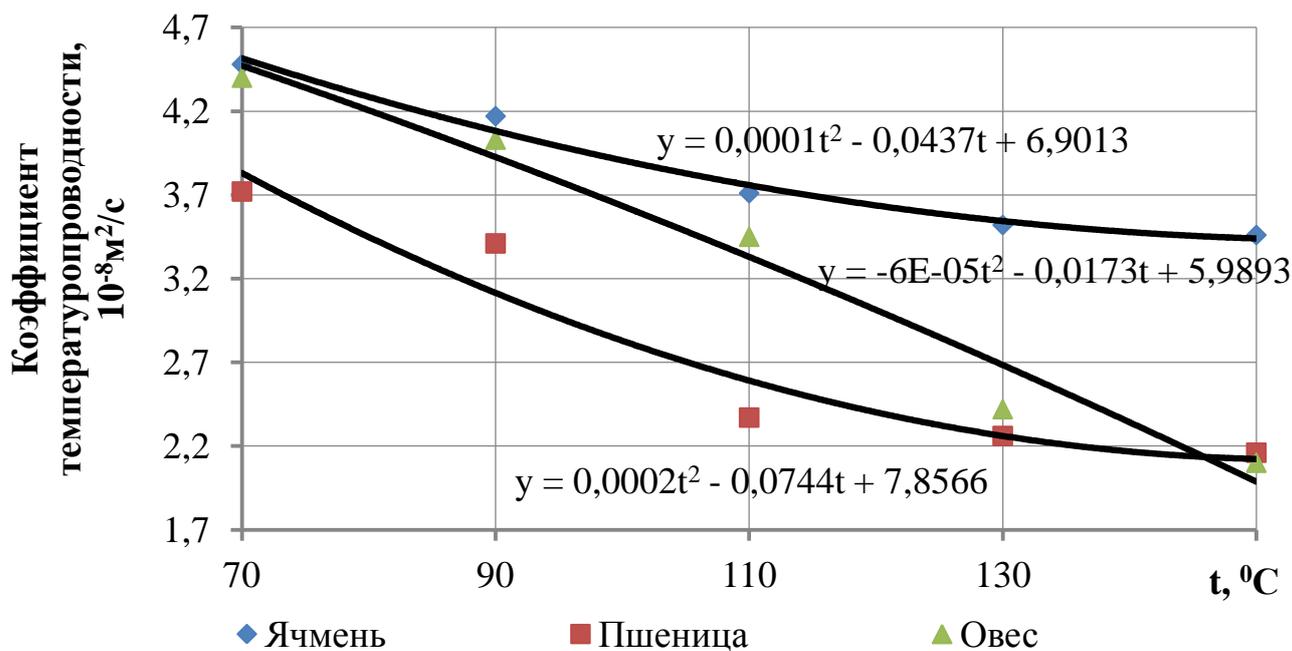


Рисунок 2.16 – Графическая зависимость коэффициента температуропроводности в зависимости от температуры зерна

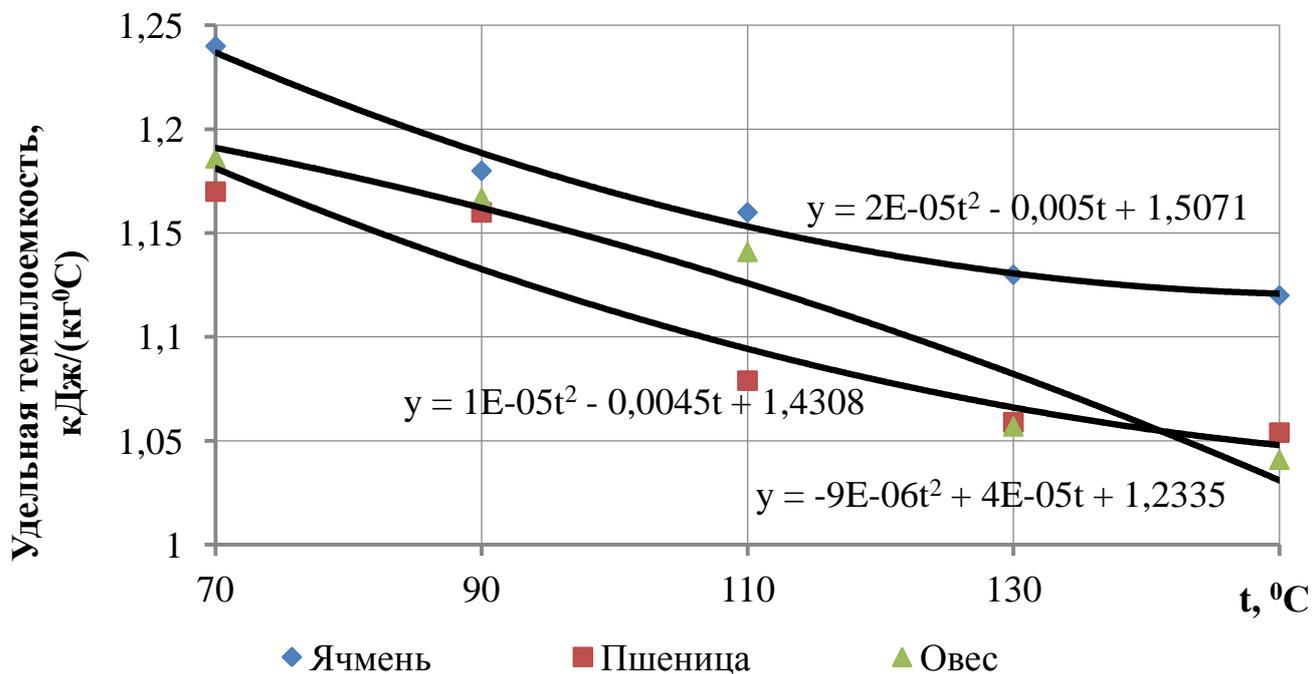


Рисунок 2.17 – Графическая зависимость удельной теплоемкости в зависимости от температуры зерна

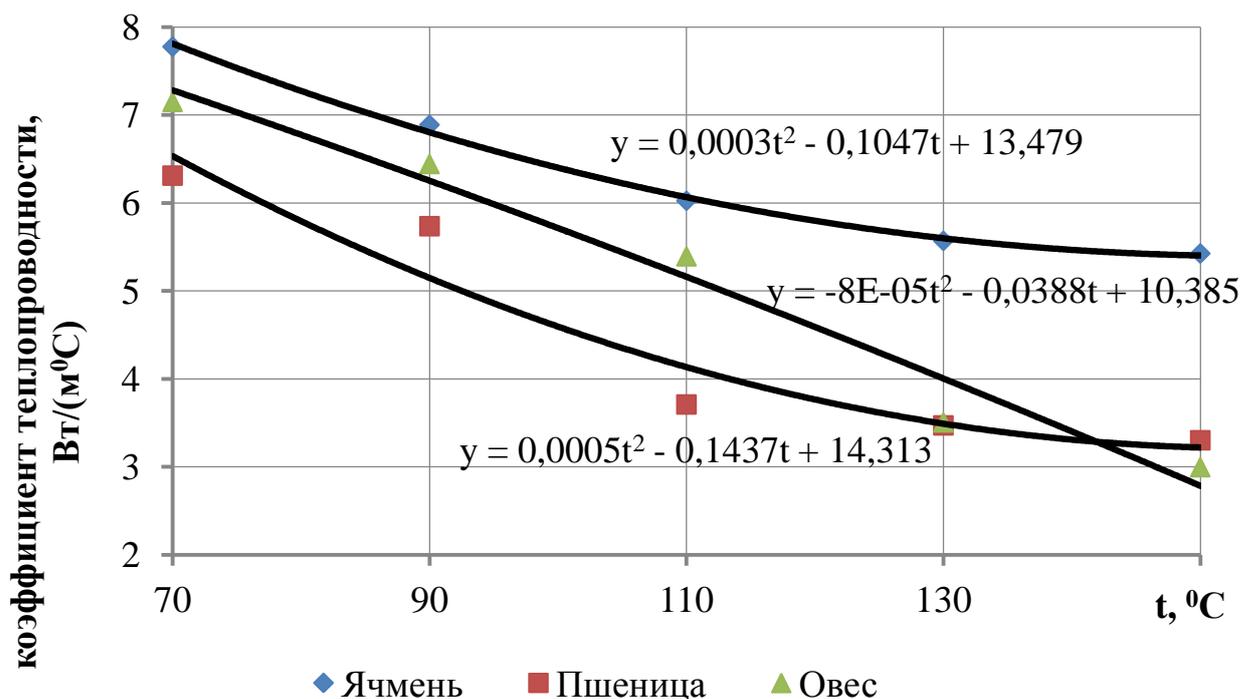


Рисунок 2.18 – Графическая зависимость коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры зерна

Из полученной графической зависимости на рисунке 2.16 видно, что при увеличении температуры от 70 до 150°С происходит уменьшение коэффициента температуропроводности соответственно для зерен ячменя меняется с 4,48 до 3,46 м²/с, для зерен пшеницы с 3,72 до 2,16 м²/с и для зерен овса с 4,4 до 2,1 м²/с.

Теплоёмкость микронизированного зерна (рис. 2.17) при изменении температуры от 70 до 150°С понижается для зерен ячменя с 1,24 до 1,12 Дж/(кг·°С), для зерен пшеницы с 1,17 до 1,054 Дж/(кг·°С) и для зерен овса с 1,186 до 1,041 Дж/(кг·°С).

Из полученной графической зависимости (рис. 2.18) видно, что с увеличением температуры микронизированного зерна от 70 до 150°С коэффициента теплопроводности уменьшается для зерен ячменя с 7,77 до 5,425 Вт/(м·°С), для зерен пшеницы с 6,31 до 3,301 Вт/(м·°С) и для зерен овса с 7,149 до 2,994 Вт/(м·°С).

Из анализа графических зависимостей (рис. 2.16, 2.17 и 2.18) видно, что с увеличением температуры все теплофизические свойства микронизированного зерна, уменьшаются. Это связано с тем, что уменьшается массовая доля воды, которая обладает более высокими показателями теплофизических свойств.

Результаты полученные в ходе опытов нужны для того, чтобы обосновать и спроектировать машины и оборудование линий по производству комбикормов с использованием микронизации зерна [1, 2, 20, 48, 82].

ВЫВОДЫ

На основании проведенных опытов по определению физико-механических и теплофизических свойств зерна ячменя, овса и пшеницы следующие выводы:

1. С изменением влажности с 10% до 18% происходит снижение объёмной массы зерен пшеницы начиная с 794,2 до 743,8 кг/м³, у зерен ячменя начинается с 710,6 до 690,2 кг/м³ и зерен овса соответственно с 515,4 до 492,5 кг/м³.
2. С увеличением температуры от 20 до 180⁰С угол естественного откоса уменьшается для зерен пшеницы начиная с 33,4 до 25,4 градусов, у зерен овса начинается с 30,2 до 25,7 градусов и зерен ячменя соответственно с 30,7 до 22,5 градусов.
3. С ростом влажности повышается коэффициент истечения. При повышении влажности от 10% до 18% у овса, ячменя и пшеницы коэффициент истечения увеличивается соответственно с 0,54 до 0,62; с 0,85 до 0,98; с 0,73 до 0,97.
4. Коэффициент трения зерна по металлическому листу уменьшается при изменении температуры от 20 до 180⁰С для зерен пшеницы лежит в пределах с 0,296 до 0,246, для зерен овса с 0,343 до 0,275, для зерен ячменя с 0,404 до 0,247.
5. Уменьшение коэффициента трения по кварцевому стеклу при увеличении температуры от 20 до 180⁰С, соответственно: у пшеницы с 0,296 до 0,253, у ячменя с 0,401 до 0,234, у овса с 0,334 до 0,271.
6. Также установлено, что при увеличении температуры от 70 до 150⁰С происходит уменьшение коэффициента температуропроводности соответственно: для ячменя с 4,48 до 3,46 м²/с, для пшеницы с 3,72 до 2,16 м²/с и для овса с 4,4 до 2,1 м²/с.
7. Установлено, что с увеличением температуры микронизированного зерна от 70 до 150⁰С происходит уменьшение теплопроводности соответственно: ячменя с 7,77 до 5,425 Вт/(м·⁰С), пшеницы с 6,31 до 3,301 Вт/(м·⁰С) и овса с

7,149 до 2,994 Вт/(м·°С) .

8. Теплоёмкость микронизированного зерна с повышением температуры от 70 до 150°С уменьшается соответственно у ячменя с 1,24 до 1,12 Дж/(кг·°С), у пшеницы с 1,17 до 1,054 Дж/(кг·°С) и у овса с 1,186 до 1,041 Дж/(кг·°С) .

3. ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

3.1. Технология подготовки фуражного зерна к скармливанию с использованием устройства для микронизации зерна

Технология подготовки зерна к скармливанию представляет собой технологическую линию, в которой выполняются последовательно следующие операции [97,115, 116,117]:

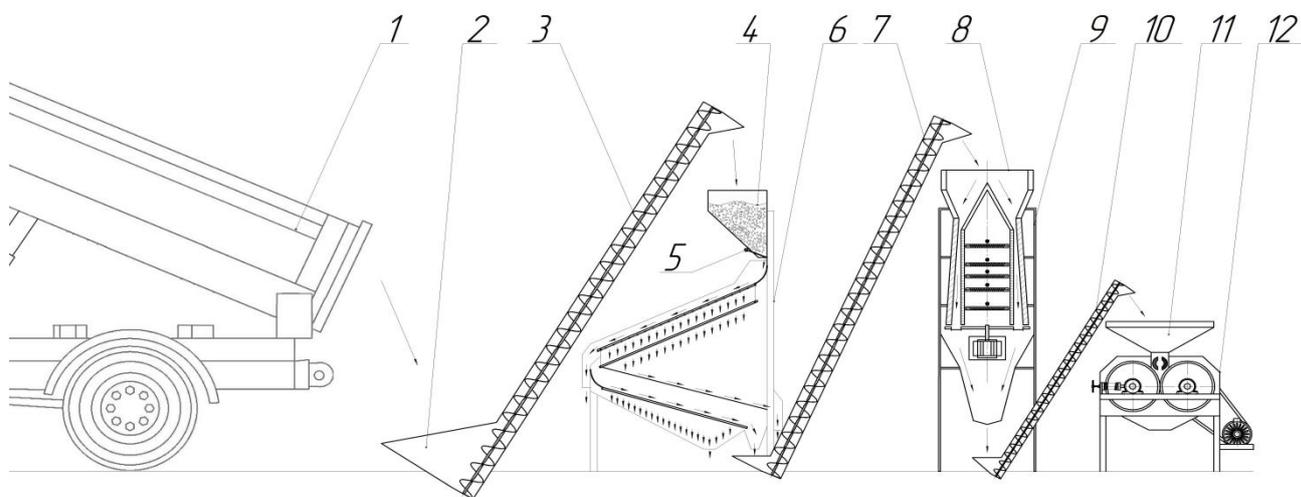
- транспортировка фуражного зерна на очистку;
- перегрузка в бункер-накопитель;
- очистка фуражного зерна от примесей;
- микронизация очищенного фуражного зерна;
- плющение микронизированного зерна;
- приготовление смесей

Технологическая линия подготовки фуражного зерна к скармливанию (рис.3.1) включает следующее оборудование: транспортное средство 1 для подвозки фуражного зерна, накопительный бункер 2, транспортер гравитационного сепаратора 3, бункер приемный 4 сепаратора гравитационного, заслонка 5 бункера сепаратора гравитационного, сепаратор гравитационный 6, транспортер 7 микронизатора зернофуража, приемный бункер 8 устройства для микронизации зерна 9, транспортер 10, бункер-накопитель 11 плющилки, вальцовая плющилка 12.

Линия для приготовления фуражного зерна к скармливанию работает следующим образом.

На транспортном средстве 1 подвозят зерно и сгружают его в накопительный бункер 2. Затем зерно транспортером 3 загружается в бункер 4 сепаратора. После открытия заслонки 5 зерно, которое находилось в бункере 4, поступает на очистку сепаратора гравитационного 6. После отчистки зерно попадает на транспортер микронизатора 7, который доставляет его в бункер 8 устройства 9 для микронизации. Вышедшее из устройства 9 для микронизации, фуражное зерно направляется транспортером 10 в плющилку 11, откуда, после

плющения, на скармливание животным или на смешивание с другими компонентами [32].



1 – средство транспортное; 2 – накопительный бункер; 3 – транспортер сепаратора гравитационного; 4 – бункер приемный сепаратора гравитационного; 5 – заслонка; 6 – сепаратор гравитационный; 7 – транспортер микронизатора зернофуража; 8 – бункер приемный устройства для микронизации зернофуража; 9 – устройство для микронизации; 10 – транспортер; 11 – бункер накопитель плющилки; 12 – плющилка.

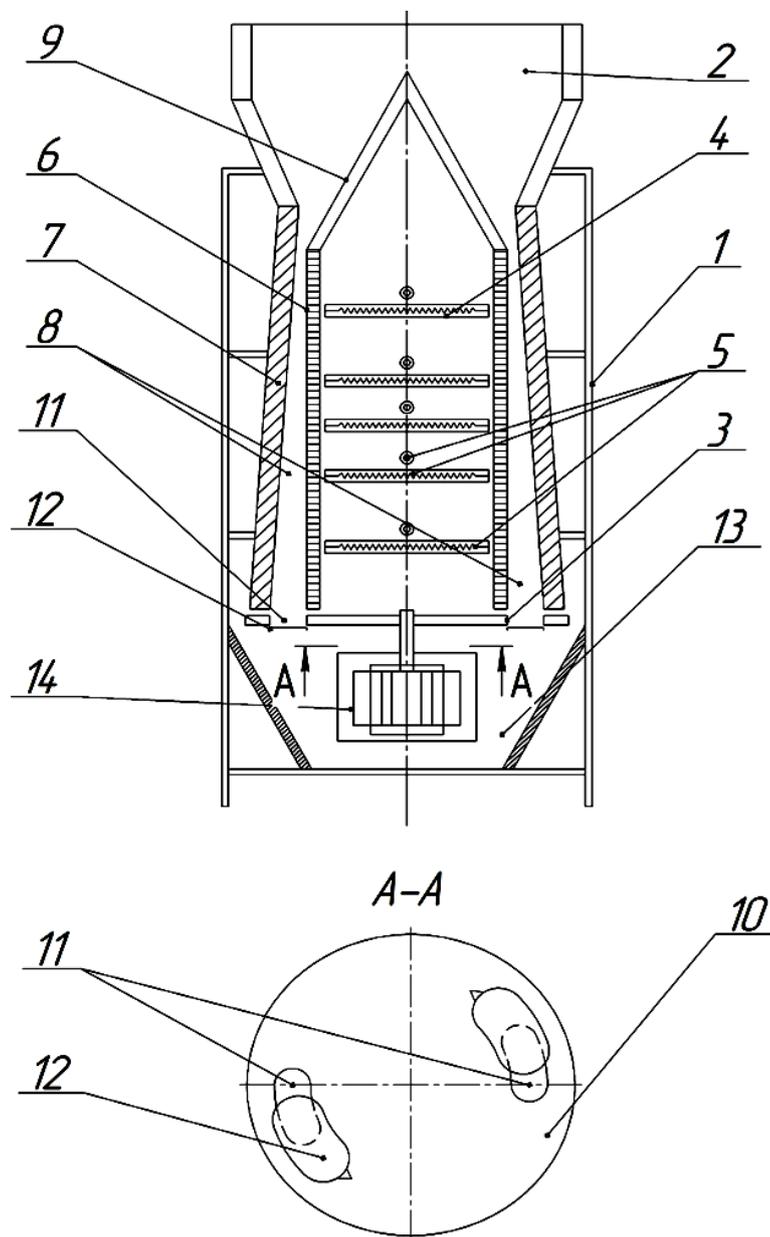
Рисунок 3.1 – Схема технологического процесса линии подготовки фуражного зерна к скармливанию

Главным в этой линии является то, что в единый технологический процесс увязаны очистка зерна, его микронизация и плющение, дающие основание на получение продукта высокого качества и количества с точки зрения повышения продуктивности сельскохозяйственных животных.

В лаборатории ФГБОУ ВО РГАУ «Инновационные и энергоресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» была сконструирована и изготовлена установка для микронизации фуражного зерна (рис 3.2). Техническая новизна предложенной конструкции установки для микронизации зерна подтверждена патентом на полезную модель за № 117268 [85].

Устройство для микронизации зерна включает в себя корпус 1, загрузочный бункер 2, выгрузное устройство 3, камера облучения 4 внутри

которой находятся ИК-излучатели 5. Камера облучения 4 находится между внутренним цилиндром 6, который изготовлен из стекла кварцевого и цилиндра наружного 7, выполненного в виде поверхности усеченного конуса, нижний диаметр у которого больше верхнего. Внутренний цилиндр 6 и наружный цилиндр 7 между собой образуют полость 8, где перемещается зерно» [85].



1-корпус; 2 - загрузочный бункер; 3-выгрузное устройств; 4-камера облучения; 5-ИК-излучатели; 6-внутренний цилиндр; 7-наружный цилиндр; 8-полость перемещения зерна; 9-направляющий конус;10-диск- дозатор; 11-пропускные отверстия; 12-заслонки;13-бункер; 14- электропривод.

Рисунок 3.2 – Схема устройства для микронизации зернофуража

ИК-излучатели 5 располагаются в камере 4 облучения внутри цилиндра 6, который закрыт сверху направляющим 9 конусом. ИК-излучатели 5 установлены на расстоянии, увеличивающемся от центра цилиндра 6 и к его торцам. Выгрузное устройство 3 расположено ниже внутреннего цилиндра 6 и выполнено в виде диска 10, у которого имеются отверстия 11 с заслонками 12. Заслонки 12 регулируют площадь сечения выгрузного отверстия 11. Внизу корпуса 1 устройства для микронизации фуражного зерна, ниже выгрузного устройства 3 установлен бункер 13. Выгрузной диск 10 выгрузного устройства 3 вращается с помощью электродвигателя 14 [85].

Установка для микронизации зерна работает следующим образом. В приемный бункер 2 засыпают предварительно очищенное от примесей и пыли зерно, которое под собственным весом ссыпается в полость 8 между внутренним цилиндром 6 и наружным цилиндром 7, выполненным в виде усеченного конуса, до выгрузного диска 10, выгрузные отверстия 11 которого закрыты. После заполнения полости 8, включают ИК-излучатели 5 и при достижении требуемой экспозиции, в зависимости от вида обрабатываемого зерна, включают электродвигатель 14, предварительно открыв выгрузные отверстия 11 диска 10 выгрузного устройства 3 на величину необходимой производительности. Обработанное зерно через выгрузные отверстия 11 ссыпается в приемный бункер 13. После опустошения бункера 2 и полости 8 между цилиндрами отключается электродвигатель 14 и ИК-излучатели 5 [85].

3.2. Параметрическая модель устройства для микронизации фуражного зерна

Параметрическая модель устройства для микронизации фуражного зерна [85] представлена на рисунке 3.3 [6,18,36,50,51,58].

Начальными параметрами, которыми обладает фуражное зерно, имеющее массу $m_{\text{зерн1}}$, поступающее в установку с температурой $t_{\text{зерн1}}$, объемной массой $\gamma_{\text{зерн1}}$, влажностью $W_{\text{зерн1}}$ и имеющее количество теплоты $Q_{\text{зерн1}}$. Вместе с зерном в установку поступает атмосферный воздух, который обладает

следующими параметрами: температура $t_{Возд1}$, влажность $W_{Возд1}$, влагосодержание $\chi_{Возд1}$, удельная энтальпия $I_{Возд1}$ и количество теплоты $Q_{Возд1}$. Под действием лучей, исходящих от ламп ИК-излучения, выделяется количество теплоты Q_L , под действием которого, фуражное зерно подвергается тепловой обработке и становится массой $m_{Зерн2}$, объемной массой $\gamma_{Зерн2}$, влажностью $W_{Зерн2}$ и температурой $t_{Зерн2}$ и имеющее количество теплоты $Q_{Зерн2}$.

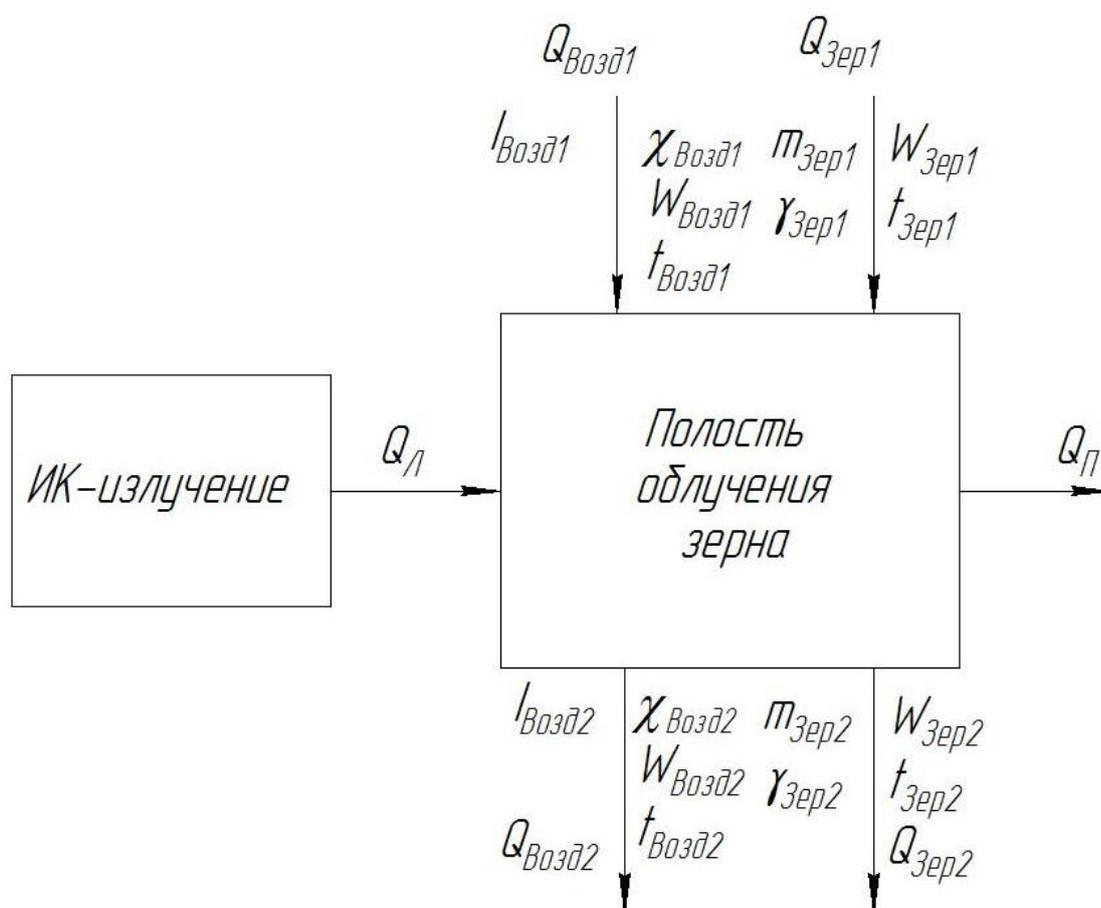


Рисунок 3.3 – Параметрическая модель установки для микронизации фуражного зерна.

В результате нагрева воздух на выходе будет иметь параметры: температурой $t_{Возд2}$, влажностью $W_{Возд2}$, влагосодержанием $\chi_{Возд2}$, удельной энтальпией $I_{Возд2}$ и количество теплоты $Q_{Возд2}$.

В результате тепловой обработки через стенки кожуха-отражателя установки для микронизации теряется некоторое количество теплоты Q_P .

3.3. Обоснование расширения кольцевой части наружного цилиндра к низу

Так как в процессе микронизации зерно нагревается и расширяется, то площадь выходного отверстия (между кварцевым стеклом и наружным цилиндром сверху) существенно больше площади входного отверстия (рис.3.4). Истечение зерна свободно восполняется зерном из бункера и создает напор.

По высоте кольцевой части, где происходит нагревание зерна, объем зерен увеличивается по мере их прохождения по высоте этой части. Для обеспечения свободного прохождения увеличивающихся в объеме зерен ширина кольца должна увеличиваться. Необходимое увеличение ширины кольца можно определить из уравнения сохранения массы.

Объем зерен в начале камеры облучения

$$dV_0 = \pi \cdot r_0^2 dy - \pi \cdot R^2 dy \quad (3.1)$$

Объем той же массы зерен на расстоянии y равен

$$dV(y) = \pi \cdot r^2(y) dy - \pi \cdot R^2 dy \quad (3.2)$$

Согласно закону сохранения массы отношения объемов зерна согласно выражений (3.1) и (3.2) будет выглядеть следующим образом

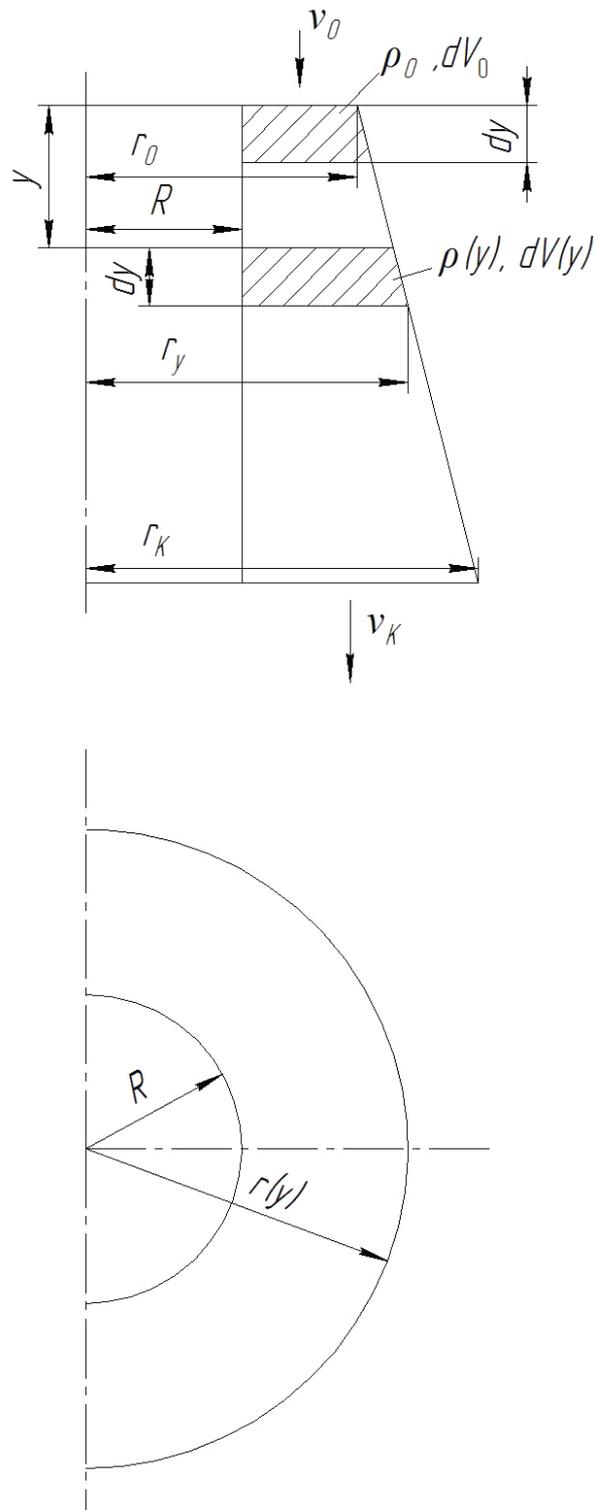
$$\frac{dV(y)}{dV_0} = \frac{r^2(y) - R^2}{r_0^2 - R^2} \quad (3.3)$$

Из уравнения равенства масс выделенных объемов (рис.3.4) получим

$$dV_0 \cdot \rho_0 = dV(y) \cdot \rho(y)$$

находим:

$$\frac{dV(y)}{dV_0} = \frac{\rho_0}{\rho(y)} \quad (3.4)$$



R – радиус внутреннего цилиндра; $r(y)$ – радиус наружной стенки на расстоянии y от верхней части; ρ_0 – начальная плотность фуражного зерна; $\rho(y)$ – плотность фуражного зерна на расстоянии y ; dV_0 – начальный объем кольца высотой dy ; $dV(y)$ – объем кольца высотой dy на расстоянии y ;
 Рисунок 3.4 – Вертикальный и горизонтальный разрезы кольцевой части прохода зерна в микронизаторе

Приравняем равенства (3.3) и (3.4). В результате получим:

$$\frac{\rho_0}{\rho(y)} = \frac{r^2(y) - R^2}{r_0^2 - R^2} \quad (3.5)$$

Из (3.5) находим

$$r^2(y) = \left(\frac{\rho_0}{\rho(y)} + \frac{R^2}{r_0^2 - R^2} \right) \cdot (r_0^2 - R^2) \quad (3.6)$$

Примем линейный закон изменения плотности зерна в камере облучения

$$\rho = \rho_k + \frac{\rho_0 - \rho_k}{L} \cdot (L - y) \quad (3.7)$$

где L – высота камеры облучения микронизатора фуражного зерна;

Подставив (3.7) в (3.6), приходим к следующему уравнению

$$r^2 = \left(\frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2)}{\rho_k + \frac{\rho_0 - \rho_k}{L} \cdot (L - y)} + R^2 \right)$$

Откуда находим радиус внешнего кольца как функцию расстояния y

$$r = \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2) \cdot L}{\rho_k \cdot L + (\rho_0 - \rho_k) \cdot (L - y)} + R^2} \quad (3.8)$$

Исследуем уравнение (3.8). Для этого вычислим первую производную

$$\frac{dr}{dy} = \frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2) \cdot (\rho_0 - \rho_k) \cdot L}{\sqrt{\frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2) \cdot L}{\rho_k \cdot L + (\rho_0 - \rho_k) \cdot (L - y)} + R^2} \cdot (\rho_0 \cdot (L - y) + \rho_k \cdot y)^2} \quad (3.9)$$

Из (3.9) находим

$$\frac{dr(0)}{dy} = \frac{(r_0^2 - R^2) \cdot (\rho_0 - \rho_k)}{\rho_0 \cdot r_0 \cdot L^2} \quad (3.10)$$

$$\frac{dr(L)}{dy} = \frac{\frac{\rho_0}{\rho_k} \cdot (r_0^2 - R^2) \cdot (\rho_0 - \rho_k)}{\sqrt{\rho_0 \cdot r_0^2 - (\rho_0 - \rho_k) \cdot R^2} \cdot \sqrt{\rho_k} \cdot L} \quad (3.11)$$

Из равенств (3.9), (3.10) и (3.11) следует, что

$$\frac{dr}{dy} > 0 \quad \frac{dr(0)}{dy} < \frac{dr(L)}{dy}$$

Т.е. касательная к графику кривой имеет положительный угол наклона, увеличивающийся от начала к концу камеры. Это означает, что графиком $r(y)$ является вогнутая гиперболическая кривая (рис.3.5).

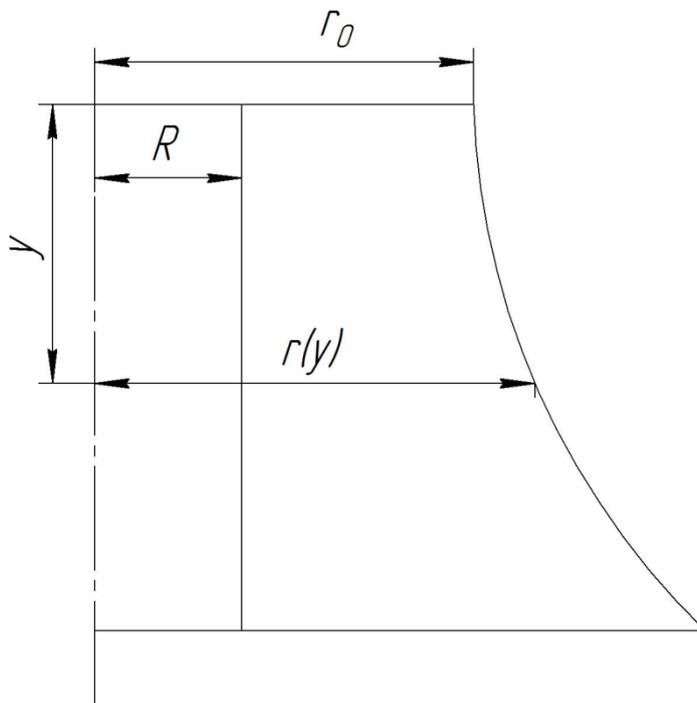


Рисунок 3.5 – Форма наружной стенки камеры облучения.

При такой форме наружной стенки камеры облучения будет обеспечен подпор зерен на выходе вышележащим зерном и не произойдет разрыва потока зерна в кольцевой части установки.

3.4. Истечение зерна из устройства для микронизации фуражного зерна

Снизу кольцевая полость перекрыта диском-дозатором с отверстием (рис.3.6). Диск вращается с постоянной угловой скоростью. Скорость истечения зерен через отверстие в диске можно регулировать за счет изменения площади отверстия и за счет изменения числа оборотов диска-дозатора n :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

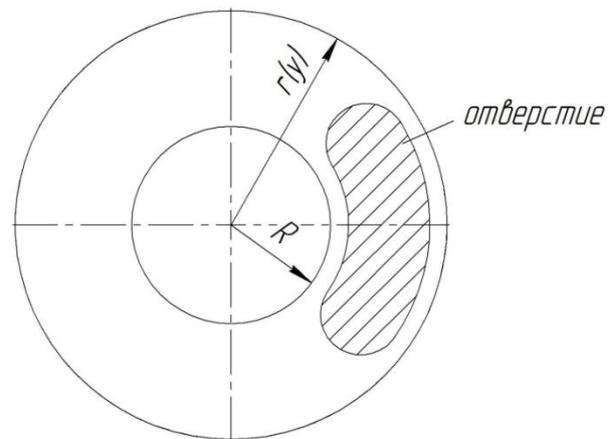
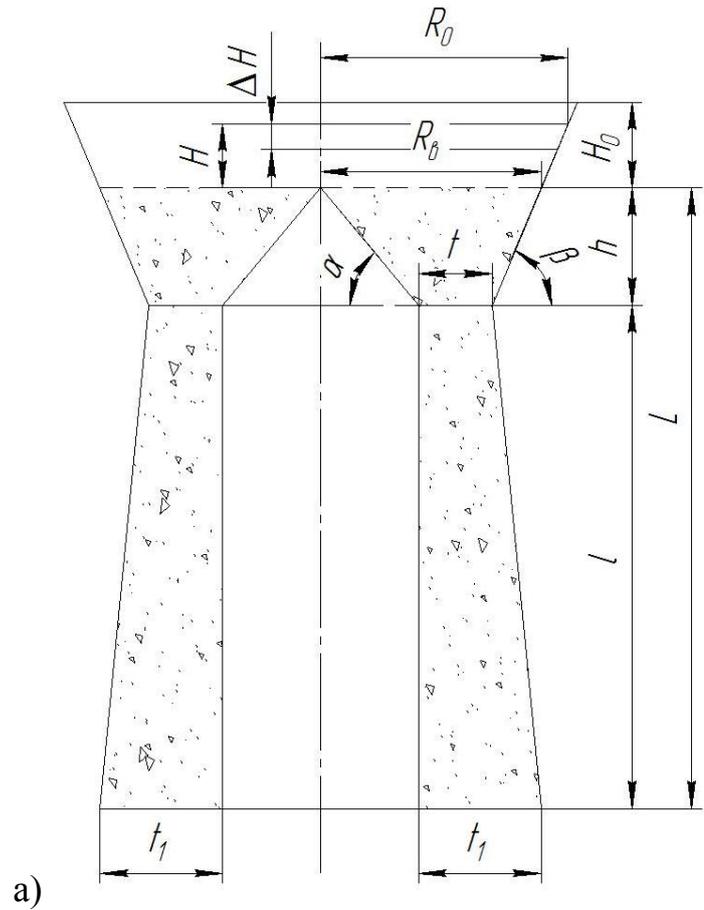
где ω - угловая скорость диска-дозатора, рад/с;

n – число оборотов диска-дозатора в минуту, об/мин;

Будем предполагать, что за один оборот диска-дозатора высота столба зерна изменяется равномерно по всей свободной поверхности зерна в бункере.

Процесс истечения зерна можно разбить на два этапа. Первый этап: бункер заполнен полностью и в результате истечения зерна через отверстие диска-дозатора происходит уменьшение высоты слоя зерна в бункере. Это уменьшение происходит на величину H_0 , т.е. до вершины направляющего конуса. На втором этапе происходит заполнение бункера зерном от вершины конуса до уровня высотой H_0 и подача зерна в бункер прекращается. Далее процесс повторяется.

На скорость истечения зерна влияет уровень зерна в бункере от вершины конуса до значения H_0 (рис.3.6). При этом скорость истечения должна быть такой, чтобы зерно в кольцевой части конуса находилось определенный промежуток времени t_{Π} .



б)

а) бункер и кольцевая часть (камера облучения); б) диск - дозатор.

Рисунок 3.6 – Принципиальная схема установки для микронизации фуражного зерна

Скорость истечения зерна при сплошной форме истечения определяется формулой.

$$v = \lambda \sqrt{2 \cdot g \cdot h_n} \quad (3.12)$$

где λ - коэффициент истечения, определяемый опытным путем;

h_n - высота напора зерна;

g - ускорение свободного падения;

Коэффициент λ для различных материалов находится в интервале 0,2...0,95.

В стационарном режиме работы весь (заштрихованный) объем (рис. 3.6) заполнен зерном. Высота столба зерна $h+l$ постоянна при установившемся режиме работы установки.

Рассмотрим первый этап истечения зерна и установим закон изменения высоты столба зерна в зависимости от времени.

Скорость истечения зерна согласно формуле (3.12) и (рис. 3.7) равна

$$v = \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (L + H)} \quad (3.13)$$

где $L = h + l$ - неизменяемая высота зерна.

За бесконечно малый промежуток времени Δt объем вышедшего из бункера зерна равен

$$\Delta V_{\text{вых}} = v \cdot A \cdot \Delta t$$

где A – площадь горизонтального сечения бункера;

С учетом (3.13) получим:

$$\Delta V_{\text{вых}} = A \cdot \Delta t \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (L + H)} \quad (3.14)$$

Этот объем будет замещен зерном, находящимся в бункере. Обозначим его $\Delta V_{\text{вх}}$. При этом, из условия неразрывности потока зерна следует равенство:

$$-\Delta V_{\text{вх}} = \Delta V_{\text{вых}} \quad (3.15)$$

Выразим $\Delta V_{\text{вх}}$ через параметры бункера. За время Δt происходит опускание уровня зерна в бункере высотой H на ΔH (рис. 3.6). Изменение объема в бункере выше вершины направляющего конуса равно:

$$\Delta V_{\text{ex}} = -A(H) \cdot \Delta H \quad (3.16)$$

где $A(H)$ - площадь горизонтального сечения бункера на уровне H , определяется по формуле.

$$A(H) = \pi \cdot R^2 \quad (3.17)$$

где R - радиус бункера на уровне H .

$$R = R_B + H \cdot \text{ctg} \beta \quad (3.18)$$

где R_B - радиус бункера на уровне вершины конуса;

β - угол наклона стенки бункера.

Подставим (3.18) в (3.17), а (3.17) в (3.16) в результате получим

$$\Delta V_{\text{ex}} = \pi \cdot (R_B^2 + 2 \cdot R_B \cdot H \cdot \text{ctg} \beta + H^2 \cdot \text{ctg}^2 \beta) \cdot \Delta H \quad (3.19)$$

Приравняем согласно (3.15), выражения (3.14) и (3.19)

$$-\pi \cdot (R_B^2 + 2 \cdot R_B \cdot H \cdot \text{ctg} \beta + H^2 \cdot \text{ctg}^2 \beta) \cdot \Delta H = \Delta t \cdot \lambda \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (L + H)} \quad (3.20)$$

Устремляя Δt к нулю, получим дифференциальное уравнение относительно функции $H(t)$

$$\pi \cdot (R_B^2 + 2 \cdot R_B \cdot H \cdot \text{ctg} \beta + H^2 \cdot \text{ctg}^2 \beta) \cdot \frac{dH}{dt} = \lambda \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (L + H)} \quad (3.21)$$

Начальным условием для этого уравнения будет равенство:

$$H(0) = H_0 \quad (3.22)$$

где H_0 - начальная толщина слоя зерна в бункере, расположенного выше вершины конуса.

Уравнение (3.21) является дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными. Разделим переменные H и t , и проинтегрируем:

$$-\int_{H_0}^H \frac{(R_B^2 + 2 \cdot R_B \cdot H \cdot \text{ctg} \beta + H^2 \cdot \text{ctg}^2 \beta) \cdot dH}{\sqrt{L + H}} = \frac{\lambda \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot \int_0^t dt \quad (3.23)$$

Интеграл I_1 в левой части вычислим как сумму трех интегралов.

$$I_1 = R_6^2 \cdot \int_{H_0}^H \frac{dH}{\sqrt{L+H}} + 2 \cdot R_6 \cdot ctg \beta \int_{H_0}^H \frac{H \cdot dH}{\sqrt{L+H}} + ctg^2 \beta \int_{H_0}^H \frac{H^2 \cdot dH}{\sqrt{L+H}} \quad (3.24)$$

Решение этих интегралов представлено в приложении И.

Окончательно получим

$$I_1(H) = 2 \cdot R_6^2 \cdot (\sqrt{L+H} - \sqrt{H_0+L}) + \\ + 4 \cdot R_6 \cdot ctg \beta \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \left((H+L)^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right) - L \cdot (\sqrt{L+H} - \sqrt{H_0+L}) \right) + \quad (3.25) \\ + ctg^2 \beta \cdot \left(\frac{2}{5} \cdot \left((H+L)^{\frac{5}{2}} - (H_0+L)^{\frac{5}{2}} \right) - \frac{4}{3} \cdot L \cdot \left((H+L)^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right) + 2 \cdot L^2 \cdot (\sqrt{H+L} - \sqrt{H_0+L}) \right)$$

Подставим (3.25) в (3.23) и учитывая, что интеграл в правой части равенства (3.23) равен t , получим решение дифференцированного уравнения (3.21).

$$-I_1(H) = \frac{\lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t \quad (3.26)$$

Из (3.26) при $H=0$ найдем время опорожнения бункера до вершины направляющего конуса

$$t_{on} = \frac{\pi}{\lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot |I_1(0)| \quad (3.27)$$

где

$$I_1(0) = 2 \cdot R_6^2 \cdot (\sqrt{L} - \sqrt{H_0+L}) + \\ + 4 \cdot R_6 \cdot ctg \beta \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot L^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} - L \cdot (\sqrt{L} - \sqrt{H_0+L}) \right] + \\ + ctg^2 \beta \cdot \left(\frac{2}{5} \cdot \left(L^{\frac{5}{2}} - (H_0+L)^{\frac{5}{2}} \right) - \frac{4}{3} \cdot L \cdot \left(L^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right) + 2L^2 \cdot (\sqrt{L} - \sqrt{H_0+L}) \right)$$

Рассмотрим второй этап работы установки для микронизации зерна, как было указано выше. На этом этапе происходит истечение зерна при заполнении бункера зерном от уровня вершины направляющего конуса ($H=0$) до уровня $H=H_0$.

Уравнение баланса по объему на этом этапе имеет вид:

$$\Delta V_{\delta} = \Delta V_{\text{ex}} - \Delta V_{\text{вых}} \quad (3.28)$$

где ΔV_{δ} - приращение объема зерна в бункере,

ΔV_{ex} - объем зерна поступившего в бункер,

$\Delta V_{\text{вых}}$ - объем зерна вышедшего из установки после микронизации.

Объем поступившего зерна в бункере за время Δt

$$\Delta V_{\text{ex}} = \frac{Q_{\text{ex}}}{A(H)} \cdot \Delta t \quad (3.29)$$

Q_{ex} - объем зерна, поступившего в бункер в единицу времени, м³/с (характеристика транспортера величина известная).

Как и на первом этапе

$$\Delta V_{\delta} = A(H) \cdot \Delta H \quad (3.30)$$

Подставим (3.14), (3.17), (3.18), (3.29), (3.30) в (3.28). В результате получим

$$A(H) \cdot \Delta H = Q_{\text{ex}} \cdot \Delta t - \lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H + L)} \cdot \Delta t \quad (3.31)$$

Поделив (3.31) на Δt и устремляя Δt к нулю, получим дифференциальное уравнение следующего вида:

$$A(H) \frac{dH}{dt} = Q_{\text{ex}} - \lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H + L)} \quad (3.32)$$

Разделяя в (3.32) переменные и учитывая равенства (3.17) и (3.18), придем к уравнению

$$\int_0^H \frac{(R_g^2 + 2 \cdot R_g \cdot H \cdot \text{ctg} \beta + H^2 \cdot \text{ctg}^2 \beta) dH}{a - \sqrt{L + H}} = \int_0^t dt \frac{\lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \quad (3.33)$$

где $a = \frac{Q_{\text{ex}}}{\lambda \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g}}$,

Вычисление интегралов левой части (3.33) от каждого слагаемого в отдельности представлено в приложение И.

Подставив в (3.33) решение интегралов, получим функциональную связь между высотой H и временем t .

$$\begin{aligned}
& -2 \cdot R_6^2 \cdot \left(b + a \cdot \ln \frac{d}{c} \right) - 4 \cdot R_6 \cdot \operatorname{ctg} \beta \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (d^3 - c^3) + \frac{3}{2} \cdot a \cdot (d^2 - c^2) + \right. \\
& \quad \left. 3 \cdot a^2 \cdot \left(b + a \cdot \ln \frac{d}{c} \right) - 2 \cdot a^3 \cdot \ln \frac{d}{c} - L \cdot \left(b + a \cdot \ln \frac{d}{c} \right) \right] - \\
& 2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta \cdot \left[\frac{1}{5} \cdot (d^5 - c^5) + \frac{5}{4} \cdot a \cdot (d^4 - c^4) + \left(\frac{10}{3} \cdot a^2 - \frac{2}{3} \cdot L \right) \cdot (d^3 - c^3) + \right. \\
& \quad \left. (5 \cdot a^3 - 3 \cdot L \cdot a) \cdot (d^2 - c^2) + (15 \cdot a^4 - 6 \cdot L \cdot a^2 + L^2) \cdot b + \right. \\
& \quad \left. + (a^5 - 2 \cdot L \cdot a^3 + 3 \cdot L^2 \cdot a) \cdot \ln \frac{d}{c} \right] = \frac{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t
\end{aligned} \tag{3.34}$$

где обозначено $b = \sqrt{H+L} - \sqrt{L}$, $c = \sqrt{L} - a$ и $d = \sqrt{H+L} - a$. После группировки подобных членов приходим к выражению

Равенство (3.34) коротко запишем так

$$I_2(H) = \frac{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t \tag{3.35}$$

где $I_2(H)$ - левая часть равенства (3.34)

Из (3.35) найдем время, за которое заполнится бункер на втором этапе

$$t_{zan} = \frac{\pi \cdot I_2(H_0)}{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \tag{3.36}$$

Полный цикл состоит из первого и второго этапов. Время всего цикла равно

$$t_u = t_{on} + t_{zan} = \frac{\pi}{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}} (I_1(0) + I_2(H_0)) \tag{3.37}$$

Если поменять очередность этапов, то очевидно, что за это время t_u в бункер поступит объем зерна, равный

$$V_1 = Q_{Bx} \cdot t_{zan} \tag{3.38}$$

Определим производительность установки как отношение объема зерна, поступившего в бункер за один цикл ко времени продолжительности цикла

$$\Pi = \frac{V_1}{t_{\text{ц}}} \quad (3.39)$$

Согласно (3.37) и (3.38), выражении (3.39) принимает вид

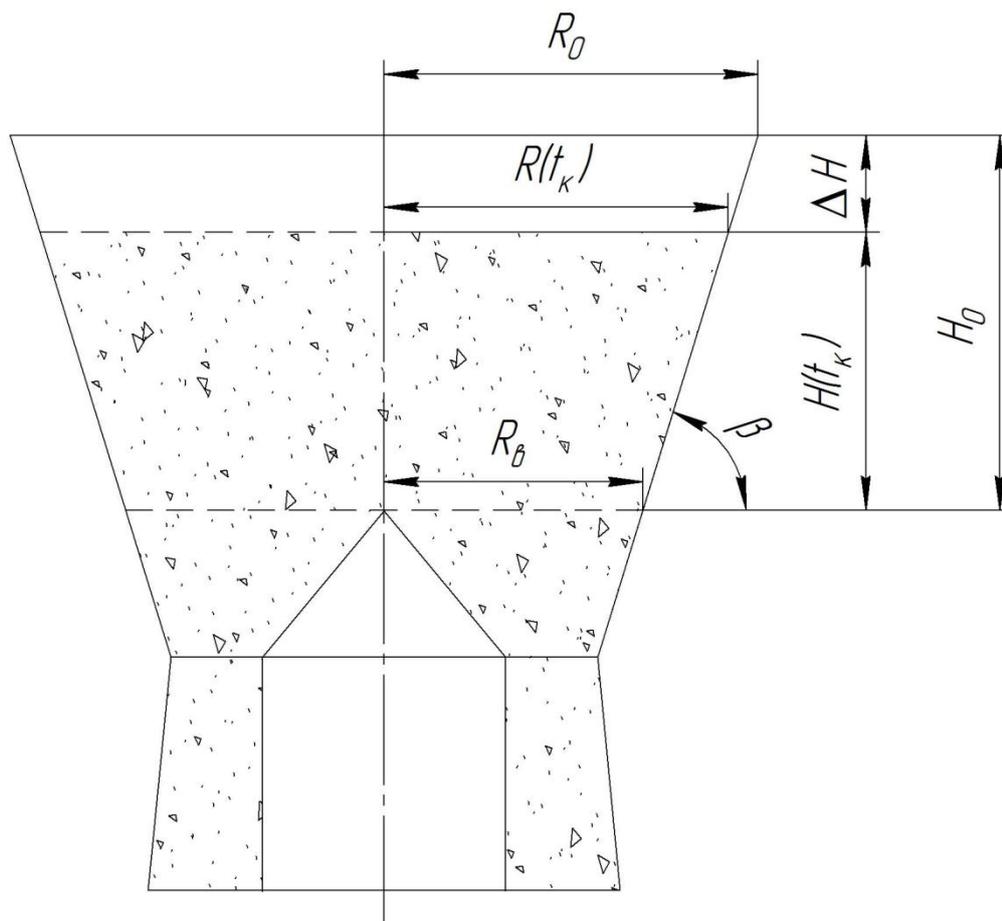
$$\Pi = Q_{\text{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{t_{\text{он}}}{t_{\text{зан}}}} \quad (3.40)$$

Найдем объем камеры облучения, наружный радиус которой определяется уравнением (3.8)

$$\begin{aligned} V_K &= \int_0^L A(y) dy = \pi \cdot \int_0^L (r^2 - R_0^2) dy = \int_0^L \frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R_0^2) \cdot L}{\rho_K \cdot L + (\rho_0 - \rho_K) \cdot (L - y)} dy = \\ &= - \frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R_0^2) \cdot L}{\rho_0 - \rho_K} \cdot \int_0^L \frac{d \left(L - y + \frac{\rho_K \cdot L}{\rho_0 - \rho_K} \right)}{\frac{\rho_K \cdot L}{\rho_0 - \rho_K} + L - y} \end{aligned}$$

Отсюда,

$$V_K = \frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R_0^2) \cdot L}{\rho_0 - \rho_K} \cdot \ln \frac{\rho_0}{\rho_K} \quad (3.41)$$



$R(t_k)$ - радиус бункера на свободной поверхности зерна после опорожнения камеры облучения; $H(t_k)$ - высота уровня зерна после опорожнения камеры облучения; R_0 - радиус бункера вверху; R_B - радиус бункера на уровне вершины конуса;

Рисунок 3.7 – Изменение уровня зерна в заполненном бункере за время опорожнения камеры облучения

За время t_k освобождения камеры облучения высота зерна в бункере уменьшится на ΔH . Время прохождения частицей камеры зависит от высоты H зерна в бункере. Найдем время прохождения $t_{k \min}$ при полном бункере.

Найдем изменение объема зерна в бункере за время t_k (рис.3.7).

$$\Delta V = \frac{\pi}{3} \cdot (H_0 - H(t_k)) \cdot (R_0^2 + R_0 \cdot R(t_k) + R^2(t_k))$$

Из рисунка 3.8 определим

$$R(t_k) = R_0 - (H_0 - H_{on}) \cdot ctg \beta$$

Тогда,
$$\Delta V = \frac{\pi}{3} \cdot (H_0 - H_{on}) \cdot \left[R_0^2 + R_0 \cdot (R_0 - (H_0 - H_{on}) \cdot \text{ctg} \beta) + \right. \\ \left. + (R_0 - (H_0 - H_{on}) \cdot \text{ctg} \beta)^2 \right] \quad (3.42)$$

Приравняем объемы (3.41) и (3.42), т.к. за время опорожнения камеры облучения объем зерна в бункере изменится на величину V_k .

$$\frac{\pi}{3} \cdot \left[(H_0 - H_{on}) \cdot (R_0^2 + R_0 \cdot (R_0 - (H_0 - H_{on}) \cdot \text{ctg} \beta) + \right. \\ \left. + (R_0 - (H_0 - H_{on}) \cdot \text{ctg} \beta)^2 \right) \right] = \\ = \frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R_0^2) \cdot L}{\rho_0 - \rho_K} \cdot \ln \frac{\rho_0}{\rho_K} \quad (3.43)$$

В результате получим кубическое уравнение относительно H_{on} .
Полученное из него H_{on} , подставим в равенство (3.26)

$$|I_1(H_{on})| = \frac{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t_{k \min}$$

Отсюда найдем время опорожнения камеры облучения

$$t_{k \min} = \frac{\pi \cdot |I_1(H_{on})|}{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \quad (3.44)$$

Время $t_{k \min}$ задано технологическим процессом. Поэтому равенство (3.44) используем для определения длины камеры облучения, обеспечивающей пребывание зерна в камере облучения необходимый промежуток времени.

Подставим в (3.44) равенство (3.25). В результате получим уравнение относительно длины L камеры облучения:

$$\begin{aligned}
& \left| 2 \cdot R_{\epsilon}^2 \cdot \left(\sqrt{H_{on} + L} - \sqrt{H_0 + L} \right) + 4 \cdot R_{\epsilon} \cdot ctg \beta \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left((H_{on} + L)^{\frac{3}{2}} - (H_0 + L)^{\frac{3}{2}} \right) - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - L \cdot \left(\sqrt{H_{on} + L} - \sqrt{H_0 + L} \right) \right] + ctg^2 \beta \cdot \left\{ \frac{2}{5} \cdot \left[(H + L)^{\frac{5}{2}} - (H_0 + L)^{\frac{5}{2}} \right] - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \frac{4}{3} \cdot L \cdot \left[(H + L)^{\frac{3}{2}} - (H_0 + L)^{\frac{3}{2}} \right] + 2 \cdot L \cdot \left(\sqrt{H_{on} + L} - \sqrt{H_0 + L} \right) \right\} \right| = \\
& \quad = \frac{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t_{\kappa \min} \tag{3.45}
\end{aligned}$$

При $\beta = 90^0$ уравнение (3.45) можно решить аналитически (внешняя стенка бункера цилиндрическая)

$$\left| 2 \cdot R_{\epsilon}^2 \cdot \left(\sqrt{H_{on} + L} - \sqrt{H_0 + L} \right) \right| = C \tag{3.46}$$

где, $C = \frac{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{\pi} \cdot t_{\kappa \min}$,

Возведем равенство (3.46) в квадрат

$$4 \cdot R_{\epsilon}^4 \cdot \left(H_{on} + L - 2 \cdot \sqrt{H_{on} + L} \cdot \sqrt{H_0 + L} + H_0 + L \right) = C^2$$

Преобразуем полученное равенство к виду

$$2 \cdot \sqrt{H_{on} + L} \cdot \sqrt{H_0 + L} = -\frac{C^2}{4 \cdot R_{\epsilon}^4} + (H_{on} + H_0 + 2 \cdot L),$$

и снова возведем в квадрат

$$4 \cdot (H_{on} + L) \cdot (H_0 + L) = \left[(H_{on} + H_0 + 2 \cdot L) - \frac{C^2}{4 \cdot R_{\epsilon}^4} \right]^2$$

$$4 \cdot (H_{on} \cdot H_0 + (H_{on} + H_0) \cdot L + L^2) =$$

$$\left((H_{on} + H_o)^2 + 4 \cdot (H_{on} + H_o) \cdot L + 4 \cdot L^2 \right) - \frac{C^2}{2 \cdot R_g^4} \cdot (H_{on} + H_o + 2 \cdot L) + \frac{C^4}{16 \cdot R_g^8}$$

Сгруппируем подобные члены

$$\frac{C^2}{R_g^4} \cdot L = -\frac{C^2}{2 \cdot R_g^4} \cdot (H_{on} + H_o) + \frac{C^4}{16 \cdot R_g^8} + (H_{on} + H_o)^2 - 4 \cdot H_{on} \cdot H_o$$

Отсюда находим минимально необходимую длину камеры облучения,

$$L_{\min} = -\frac{(H_{on} + H_o)}{2} + \frac{C^2}{16 \cdot R_g^4} + \frac{R_g^4 \cdot (H_o - H_{on})^2}{C^2}$$

При $\beta < 90^\circ$ уравнение (3.45) решить аналитически не представляется возможным. Для его решения можно воспользоваться вычислительным комплексом «Mathcad 14».

3.5. Расчет необходимой мощности на привод диска-дозатора

При равномерном вращении диска-дозатора необходимо преодолеть силы трения между зерном и диском, а также силу сопротивления между зерном, находящимся в отверстии, и зерном в микронизаторе. Давление в отверстии диска дозатора равно нулю. Поэтому сопротивление будет связано с отсечением зерна, находящегося в полости отверстия от зерна, расположенного над диском.

Для определения силы сопротивления вращения диска-дозатора необходимо найти давление зерна на диск. Эту задачу решим при следующих допущениях:

1. Трением зерна о вертикальные стенки бункера и камеры можно пренебречь.
2. Давление на диск пропорционально весу столба зерна над диском.
3. Сопротивление зерна в отверстии заменим силой трения о диск (ввиду малости площади отверстия по сравнению с площадью диска).

Разобьем диск на две части: на части $R \leq r \leq r_0$, где сила тяжести столба

зерна шириной dr не зависит от r и равна:

$$dG_0 = g \cdot \rho_0 \cdot (h + H_0) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot dr_1 + g \cdot \int_0^L \rho(y) dy \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot dr_1$$

На части $r_0 \leq r \leq r_k$ сила тяжести зависит от r и от y

$$dG = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot g \cdot \rho \cdot \int_y^L (\xi) d\xi \cdot dr$$

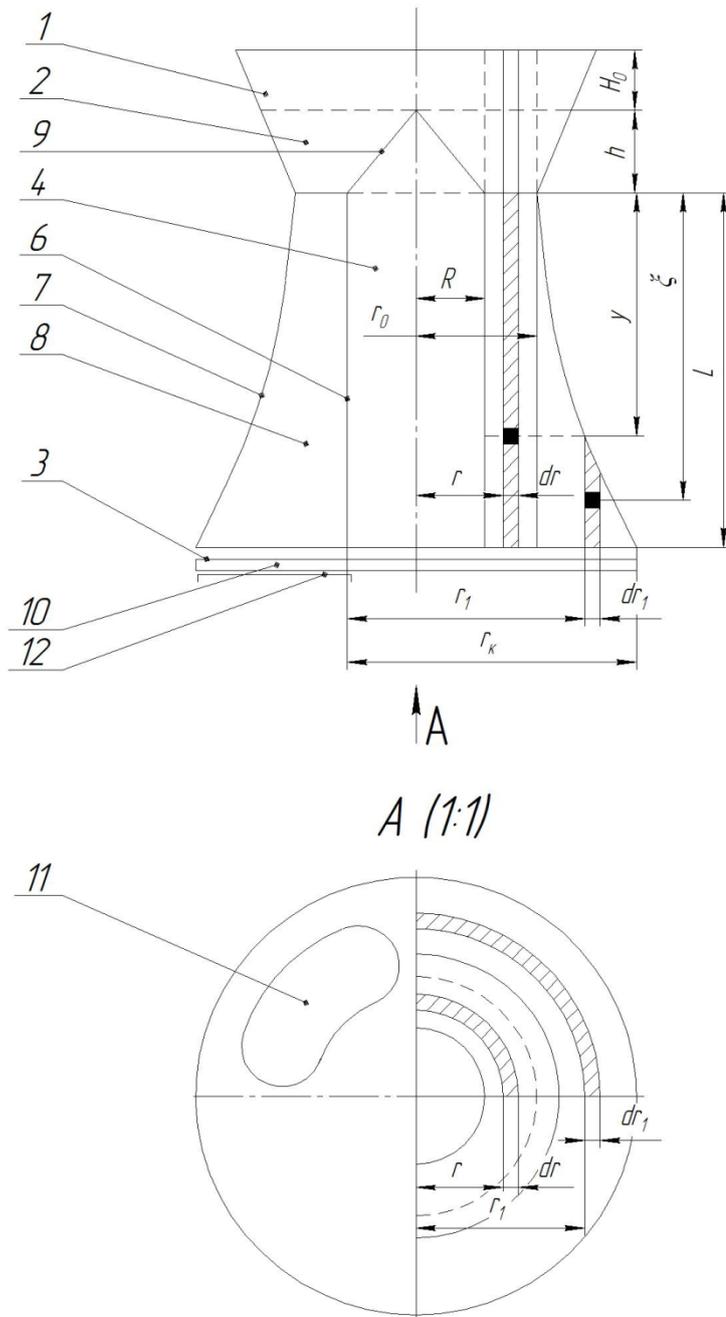
Суммарный момент сопротивления зависит от трения зерна о диск и равен

$$M_c = M_1 + M_2 \quad (3.47)$$

где, M_1 – момент сопротивления в области $R \leq r \leq r_0$;

M_2 – момент сопротивления в области $r_0 \leq r \leq r_k$;

Вычисление интеграла представлено в приложение И.



l – длина камеры облучения; ξ – промежуточная абсцисса бесконечно малого элемента кожуха-отражателя радиусом r ; y – абсцисса кривой внешней стенки кожуха-отражателя; r , r_1 – радиусы бесконечно малых объемов колец бесконечно малых толщин dr , dr_1 , соответственно; 1 – корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – выгрузное устройство; 4 – камера облучения; 5 – ИК-излучатели; 6 – внутренний цилиндр; 7 – наружный цилиндр; 8 – полость перемещения зерна; 9 – направляющий конус; 10 – диск-дозатор; 11 – пропускные отверстия; 12 – заслонки;

Рисунок 3.8 – Расчетная схема к определению момента сопротивления вращению диска-дозатора

Получим

$$M_1 = f \cdot 2 \cdot \pi \cdot g \cdot \left\{ \rho_0 \cdot (H_0 + h) \cdot \frac{1}{3} \cdot (r_0^3 - R^3) + \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} \cdot L \cdot \frac{1}{3} \cdot (r_0^3 - R^3) \right\} =$$

$$= f \cdot 2 \cdot \pi \cdot g \cdot \frac{1}{3} \cdot (r_0^3 - R^3) \cdot \left[\rho_0 \cdot (H_0 + h) + \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} \cdot L \right] \quad (3.48)$$

$$M_2 = f \cdot 2 \cdot \pi \cdot g \cdot L \cdot \left\{ \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{6} \cdot (r_\kappa^3 - r_0^3) - m \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (r_\kappa^3 - r_0^3) - 2 \cdot a \cdot (r_\kappa - r_0) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - a \cdot (2 \cdot R^2 - a) \cdot \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{(r_\kappa - R) \cdot (r_0 + R)}{(r_\kappa + R) \cdot (r_0 - R)} \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{a^2}{4 \cdot R} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right) - \operatorname{tg} \left(2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right) + \ln \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right)} \right] \right\}$$

Мощность на привод дозатора определится по формуле:

$$N = M_c \cdot \omega \quad (3.49)$$

$$N = \omega \cdot 2 \cdot f \cdot \pi \cdot g \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (r_0^3 - R^3) \cdot \left[\rho_0 \cdot (H_0 + h) + \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} \cdot L \right] + \right.$$

$$\left. \left\{ L \cdot \left[\frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{6} \cdot (r_\kappa^3 - r_0^3) - m \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (r_\kappa^3 - r_0^3) - 2 \cdot a \cdot (r_\kappa - r_0) - \right. \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \left. - a \cdot (2 \cdot R^2 - a) \cdot \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{(r_\kappa - R) \cdot (r_0 + R)}{(r_\kappa + R) \cdot (r_0 - R)} \right] + \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{a^2}{4 \cdot R} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right) - \operatorname{tg} \left(2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right) + \ln \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right)} \right] \right\} \right]$$

Мощность, передаваемая на вал, равна потребляемой, то есть мощности сопротивления. В действительности мощность сопротивления несколько

меньше. Излишняя мощность двигателя пойдет на преодоление сопротивления на начальном переходном процессе.

3.6 . Тепловой баланс процесса микронизации фуражного зерна

Для нахождения необходимого количества теплоты, которое требуется на процесс микронизации фуражного зерна нужно определить тепловой баланс устройства. Тепловой баланс (рис. 3.3) при проходимом процессе— это тождество количества теплоты, которое поступило в устройство для микронизации фуражного зерна, и количество теплоты, которое уходит из нее [9,15,17,27,32,45,51,58,63].

Количество теплоты, которое поступило в устройство для микронизации фуражного зерна. $Q_{ВХОД}$, складывается из: теплоты $Q_{Л}$, вносимой в установку от ИК-излучения; теплоты $Q_{зер1}$, поступающей в установку для микронизации вместе с фуражным зерном; теплоты $Q_{Возд1}$, поступающей с воздухом в установку.

Общее количество теплоты, поступающее в установку для микронизации фуражного зерна, будет

$$Q_{ВХОД} = Q_{Л} + Q_{зер1} + Q_{Возд1} \quad (3.50)$$

где $Q_{Л}$ — теплота, вносимая в установку для микронизации фуражного зерна от ИК-излучения, кДж;

$Q_{зер1}$ — теплота, поступившая в установку для микронизации вместе с зерном, кДж;

$Q_{Возд1}$ — теплота, поступающая в установку для микронизации фуражного зерна вместе с воздухом, кДж;

Теплота $Q_{Возд1}$, вносимая в установку для микронизации фуражного зерна вместе с воздухом, равна

$$Q_{Возд1} = L \cdot I_{Возд1} \quad (3.51)$$

где $I_{Возд1}$ – удельная энтальпия воздуха на входе в установку для микронизации фуражного зерна, кДж/кг;

L – масса поступившего воздуха в установку для микронизации фуражного зерна, кг;

Энтальпию воздуха на входе в полость облучения можно определить по формуле

$$I_{Возд1} = i_B + \chi_{Возд1} \cdot i_{II} \quad (3.52)$$

где i_B – на выходе из устройства удельная энтальпия воздуха, кДж / кг ;

i_{II} – удельная энтальпия пара водяного, который содержится в воздухе на входе в установку для микронизации фуражного зерна, кДж / кг .

Удельная энтальпия воздуха, выходящего из установки для микронизации фуражного зерна, равна

$$i_B = c_B \cdot t_{Возд1} \quad (3.53)$$

где c_B – средняя удельная теплоемкость воздуха, выходящего из установки для микронизации фуражного зерна, кДж/(кг · °С);

$t_{Возд1}$ – температура воздуха на входе в установку для микронизации фуражного зерна, °С.

Энтальпия водяного пара, содержащегося в воздухе, который входит в установку, берется из табличных значений [66,82,87]. Но на практике зачастую используют эмпирическую формулу [92,105,111]

$$i_{II} = 2493 + 1,97 \cdot t_{Возд1} \quad (3.54)$$

Выражения (3.78) и (3.79) подставим в уравнение (3.77) и учитывая, то что c_B принимают равным 1 кДж / (кг · °С), тогда получим

$$I_{Возд1} = t_{Возд1} + \chi_{Возд1} \cdot (2493 + 1,97 \cdot t_{Возд1}) \quad (3.55)$$

Теплоту $Q_{зеп1}$, поступающую в установку для микронизации с зерном, определим по формуле

$$Q_{зеп1} = t_{зеп1} \cdot c_1 \cdot m_{зеп1} \quad (3.56)$$

где $t_{зеп1}$ – температура фуражного зерна, поступающего на микронизацию, °С;

c_o – удельная теплоемкость фуражного зерна до микронизации, кДж/(кг · °С);

$m_{зep1}$ – масса фуражного зерна, поступающего на микронизацию, кг.

Количество теплоты, уходящее из установки для микронизации фуражного зерна $Q_{ВЫХОД}$, складывается из: теплоты $Q_{П}$, теряемой от стенки кожуха-отражателя установки для микронизации; теплоты $Q_{зep2}$, уходящей с фуражным зерном; теплоты $Q_{Возд2}$, теряемой вместе с выходящим из установки воздухом.

Общее количество теплоты, уходящее из установки для микронизации фуражного зерна, будет равно

$$Q_{ВЫХОД} = Q_{зep2} + Q_{П} + Q_{Возд2} \quad (3.57)$$

Количество теплоты $Q_{зep2}$, уходящее с фуражным зерном, находится по формуле

$$Q_{зep2} = c_2 \cdot t_{зep2} \cdot m_{зep2} \quad (3.58)$$

где c_m – удельная теплоемкость фуражного зерна после микронизации, кДж/(кг · °С);

$t_{зep2}$ – температура фуражного зерна, выходящего из установки для микронизации фуражного зерна, °С;

$m_{зep2}$ – масса фуражного зерна после микронизации, кг.

Количество теплоты $Q_{П}$, теряемое через стенки кожуха-отражателя установки для микронизации фуражного зерна в окружающую среду, будет равно

$$Q_{П} = \alpha_c \cdot F_n \cdot (t_{cm} - t_1) \cdot \tau \quad (3.59)$$

где α_c – коэффициент суммарной теплоотдачи конвекцией, а также излучением сквозь стенки кожуха-отражателя установки для микронизации, кДж/(м² · ч · °С);

F_n – площадь наружной поверхности стенки кожуха-отражателя установки для микронизации фуражного зерна, м²;

t_{cm} – средняя температура стенки кожуха-отражателя, °С;

t_1 – температура окружающей среды, °С;

τ – время микронизации фуражного зерна, ч.

Теплота $Q_{Возд2}$, выводящая из установки для микронизации фуражного зерна вместе с воздухом, равна

$$Q_{Возд2} = L_2 \cdot I_{Возд2} \quad (3.60)$$

где $I_{Возд2}$ – удельная энтальпия воздуха на выходе из установки для микронизации фуражного зерна, кДж/кг;

L_2 – масса воздуха на выходе из установки для микронизации фуражного зерна, кг;

Энтальпию воздуха на выходе из полости облучения можно определить по формуле

$$I_{Возд2} = i_{B2} + \chi_{Возд2} \cdot i_{П1} \quad (3.61)$$

где i_{B2} – на выходе из устройства удельная энтальпия воздуха, кДж / кг ;

$i_{П1}$ – удельная энтальпия пара водяного, который содержится в воздухе на входе в устройства для микронизации фуражного зерна, кДж / кг .

Удельная энтальпия воздуха, выходящего из устройства для микронизации фуражного зерна, равна

$$i_{B2} = c_{B2} \cdot t_{Возд2} \quad (3.62)$$

где c_B – средняя удельная теплоемкость воздуха, выходящего из устройства для микронизации фуражного зерна, кДж/(кг · °С);

$t_{Возд2}$ – температура воздуха на выходе из установки для микронизации фуражного зерна, °С.

Энтальпия водяного пара, содержащегося в воздухе, который выходит из установки, берется из табличных значений. Но на практике зачастую используют эмпирическую формулу [111,113,116]

$$i_{П2} = 2493 + 1,97 \cdot t_{Возд2} \quad (3.63)$$

Выражения (3.86) и (3.88) подставив в уравнение (3.87) при этом учитывая, что c_B принимаем равным 1 кДж / (кг · °С),

получим

$$I_{Возд2} = t_{Возд2} + \chi_{Возд2} \cdot (2493 + 1,97 \cdot t_{Возд2}) \quad (3.64)$$

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

$$Q_{Зер1} + Q_{Л} + Q_{Возд1} = Q_{П} + Q_{Зер2} + Q_{Возд2} \quad (3.65)$$

Подставив значения в уравнение (3.65), получим

$$L_1 \cdot I_{Возд1} + (t_{Зер1} \cdot c_1 \cdot m_{Зер1}) + Q_{Л} = L_2 \cdot I_{Возд2} + (c_2 \cdot t_{Зер2} \cdot m_{Зер2}) + \alpha_c \cdot F_n \cdot (t_{cm} - t_1) \cdot \tau \quad (3.66)$$

Из равенства (3.91) можно определить расход теплоты на микронизацию

$$Q_{Л} = L \cdot (I_{Возд2} - I_{Возд1}) + (c_2 \cdot t_2 \cdot m_{Зер2}) + \alpha_c \cdot F_n \cdot (t_{cm} - t_1) \cdot \tau - (t_1 \cdot c_1 \cdot m_{Зер1}) \quad (3.67)$$

Полученное уравнение (3.67) объясняет, что вырабатываемая теплота ИК-излучателем, расходуется как на нагрев фуражного зерна, так и компенсацию теплопотерь и испарение из него влаги. Из уравнения (3.67) можем определить необходимое количество теплоты, на микронизацию фуражного зерна в разработанной установке. Расчеты формулы (3.67) показали, что при данных габаритах установки для микронизации зерна подходят лампы ИК-излучения мощностью 1 кВт (КГТ-220-1000).

ВЫВОДЫ

1. Теоретические исследования и практический опыт показывают, что технология приготовления комбикорма должна включать следующие операции: накопление фуражного зерна, его очистку, микронизацию, плющение и смешивание при необходимости с другими компонентами.
2. Микронизатор фуражного зерна должен содержать внутренний цилиндр, выполненный из кварцевого стекла, в котором размещаются лампы ИК-излучения и наружный кожух-отражатель в виде усеченного конуса, расширяющегося к нижнему основанию, которые между собой образуют пространство для истечения зерна; бункер для накопления зерна с расположенным внутри направляющим конусом в верхней части микронизатора и диск-дозатор с заслонкой, обеспечивающей дозированный выход готового продукта в нижней части. Работа микронизатора фуражного зерна должна быть организована следующим образом. Очищенное от посторонних примесей зерно при включенных ИК-излучателях и открытой заслонке диска-дозатора из приемного бункера подается в пространство между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем. Фуражное зерно микронизируется и удаляется за пределы микронизатора.
3. Теоретически установлено, что образующая наружную поверхность кожуха-отражателя должна быть выполнена в виде гиперболы с учетом расширения фуражного зерна при нагреве и его незастревания в полости между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем.
4. Теоретически установлено, что производительность микронизатора зависит от радиуса внутреннего цилиндра, его длины, мощности, ламп ИК-излучения, времени пребывания фуражного зерна в полости между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем.
5. Теоретически установлено, что мощность при микронизации фуражного зерна расходуется на его нагрев, на потери в окружающую среду и на привод диска-дозатора и зависит от физико-механических и теплофизических свойств зерна и материала микронизатора.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

4.1. Программа исследований

Предложенная нами линия подготовки к скармливанию зернофуража объединяет в себе три основные конструкции устройства, при этом каждое из них может применяться друг от друга независимо. Это установки для отчистки фуражного зерна, его микронизации и плющения.

Характеристики перерабатываемого зерна (различные виды зерновых культур) являются очень лабильными, которые зависят от таких факторов, проверять которые в условиях производства не дает возможность [20,40,45,45]. Следственно, прежде чем приступать к испытаниям в производственных условиях, необходимо провести экспериментальное аргументирование рабочих органов устройства для микронизации зернофуража, а также его технологические и конструктивно-кинематические параметры.

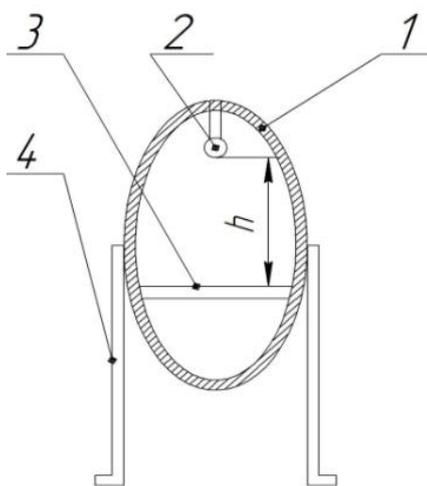
Согласно установленной задачи программа исследований в лабораторных условиях предусматривает собой:

- определение критерия достаточности микронизации фуражного зерна;
- определение зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем;
- определение расхода зерна от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем;
- определение критерия достаточности микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла;
- определение критерия достаточности микронизации в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом и изменения мощности светового потока;
- определение производительности микронизатора от площади сечения отверстия диска-дозатора микронизатора;

4.2. Определение критерия достаточности микронизации фуражного зерна

В целях получения высокого качества комбикормов, полученных из микронизированного фуражного зерна, необходимо знать критерий достаточности его микронизации.

Для определения критерия достаточности микронизации зерна была разработана экспериментальная лабораторная установка рисунок 4.1. Она состоит из кожуха-отражателя 1, внутри которого установлена лампа ИК-излучения 2 (КГТ-220-1000), металлического листа 3 и опорных стоек 4. Определение критерия достаточности микронизации проходило следующим образом. Лампу ИК-излучения 2 выставляли от металлического листа 3 на определенное расстояние, затем на него клали 50 зерен и включали лампу 2 ИК-излучения. Через каждые 5 секунд отбирались пробы для разрушения 50 зерен путем сжатия на установке, представленной на рисунке 4.2. Расстояние, на которое была установлена лампа ИК-излучения (КГТ-220-1000) от металлической поверхности, было равным от 0,01 м до 0,09 м с шагом в 0,01 м.

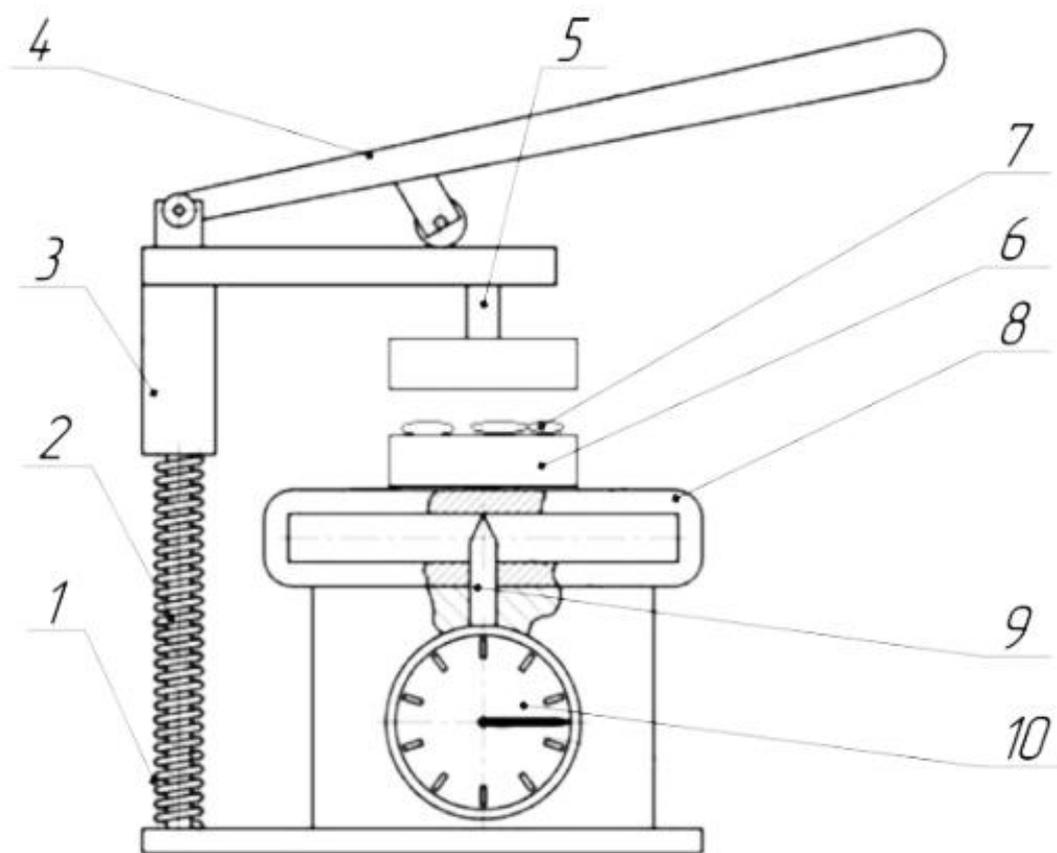


1 – кожух-отражатель; 2 – лампа КГТ-220-1000; 3 – металлический лист; 4 – опорные стойки;

Рисунок 4.1 – Схема экспериментальной установки для микронизации фуражного зерна

Экспериментальная лабораторная установка для исследования проб путем

сжатия зерна. Она состоит из основания со стойкой 2, где крепиться индикатор 10. Выше него находится пружина динамометрическая 8 и вместе с ней индикатор 10 взаимодействует своим штоком измерительным 9. Ползун 3 перемещается по стойке основания 2. Для того, чтобы ползун перемещался, используют рукоятку 4, а возвратная пружина 1 служит для возврата ползуна в начальное положение. На площадку динамометрической пружины устанавливается пресс-форма 6 с зерном 7, а в ползун вворачивается пуансон 5.



1 – пружина возвратная; 2 – стойка пружины возвратной; 3 – ползун; 4 – рукоятка пуансона; 5 – пуансон; 6 – пресс-форма установки; 7 – зернофураж; 8 – пружина динамометрическая; 9 – шток индикатора; 10 – индикатор установки.

Рисунок 4.2 – Схема установки для разрушения зерна сжатием

Установка рисунок 4.2 работает следующим образом. Перед началом работы делали отбор 50 зерен, затем их клали на пресс-форму динамометрической пружины и далее рукояткой, ползун и пуансон перемещали вниз, производилось сжатие зерна до того времени, как

происходило разрушение зерна. Показания индикатора фиксировались в момент когда сдавливали зернофураж [24,37]. Перед этим прибор предварительно был оттарирован. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 4.3.



1 – опорные стойки; 2 – кожух-отражателя; 3 – Лампа ИК-излучателя (КГТ-220-1000); 4 – зерно; 5 – металлический лист; 6 – индикатор; 7 – рукоятка; 8 – пресс-форма; 9 – динамометрическая пружина; 10 – пуасон; 11 – секундомер; 12 – шток;

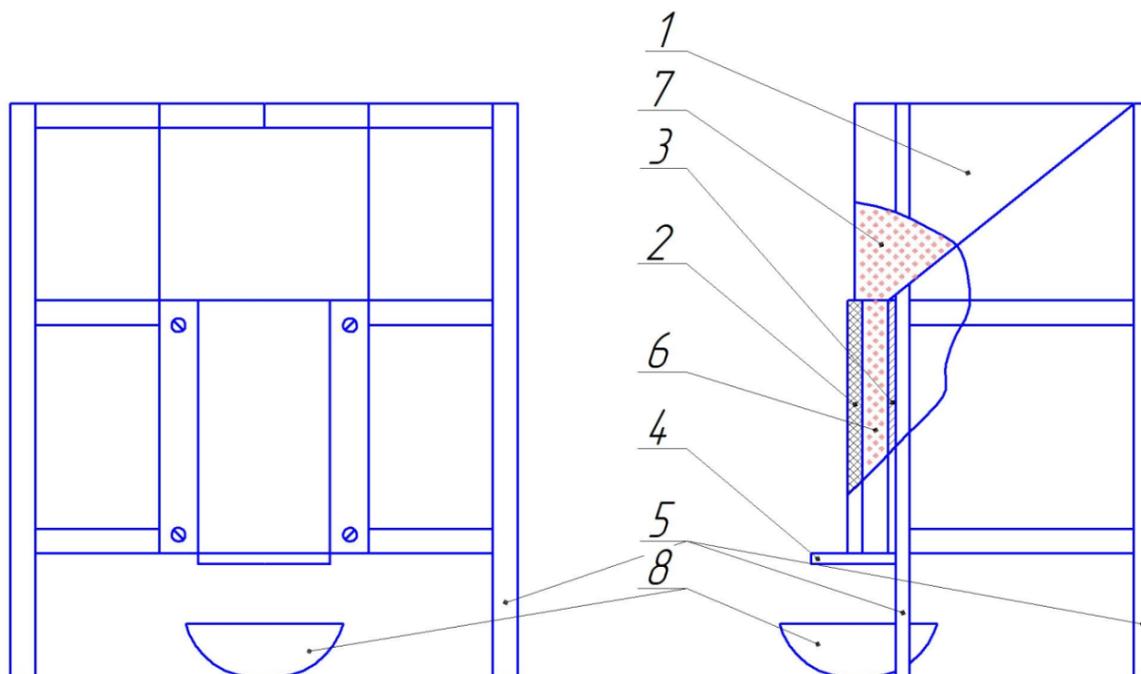
Рисунок 4.3 – Вид общий установки лабораторной для определения достаточности микронизации фуражного зерна сжатием

Полученные данные в ходе лабораторных исследований были внесены в таблицу, представленную в приложении К. Опыт проводился в трехкратной повторности для достоверности результатов [48].

4.2.1. Методика определения оптимального зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем

В целях обеспечения высокоэффективного процесса микронизации фуражного зерна следует выявить величину зазора между кварцевым цилиндром и металлическим кожухом-отражателем. При этом слой зерна должен быть минимальной толщины и не должен застрять между внешней поверхностью кварцевого цилиндра и внутренней поверхностью металлического кожуха-отражателя.

Опыты проводили при различном расстоянии между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем с шагом в 1 мм, от 5 мм до 15 мм, с целью определения минимального зазора для прохождения зерна. Опыт проводили на специальной экспериментальной установке (рис. 4.4).



1 – бункер; 2 – кварцевое стекло; 3 – металлический лист; 4 – заслонка; 5 – опорные сойки; 6 – зазор между кварцевым стеклом и металлическим листом; 7 – фуражное зерно.

Рисунок 4.4 – Схема лабораторной установки для определения расстояния между кварцевым стеклом и металлическим листом

Установка состоит из бункера 1, в который засыпается фуражное зерно 7.

Бункер устанавливается на стойках 5. Внизу бункера располагается заслонка 4. Для истечения фуражного зерна в нижней части бункера над заслонкой устанавливаются соответственно два листа из кварцевого 2 стекла и стали, с зазором, который может меняться. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 4.5.



1 – бункер; 2 – кварцевое стекло; 3 – пластины для определения зазора; 4 – заслонка; 5 – опорные сойки; 6 – зерна в зазоре между кварцевым стеклом и металлическим листом; 7 – фуражное зерно; 8 – емкость для фуражного зерна; 9 – весы (ВК-1500.1); 10 – секундомер «556»;

Рисунок 4.5 – Вид общий установки лабораторной для определения расстояния между кварцевым стеклом и металлическим листом

Выставляется зазор, равный 5 мм; 6мм; до 15 мм между кварцевым стеклом 2 и металлическим листом 3. Фуражное зерно засыпается в бункер 1, оно заполняет зазор 6 между кварцевым стеклом 2 и металлическим листом 3

до заслонки 4.

Далее открывается заслонка 4 и одновременно засекается время. Фуражное зерно 7 непрерывным потоком проходит между кварцевым стеклом 2 и металлическим листом 3. После полного истечения фуражного зерна 7 из бункера 1, его взвешивали. Далее был установлен другой зазор между кварцевым стеклом 2 и металлическим листом 3 и опыт проводился повторно.

Для проведения экспериментов использовали фуражное зерно: овес, ячмень и пшеницу, влажность которого составляла 14 – 15%. Зерно было предварительно очищено от мелкой, легкой, крупной, короткой и длинной примеси.

4.2.2. Методика определения расхода фуражного зерна в зависимости от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем

При проведении исследования определения минимального зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем были получены результаты оптимальных зазоров между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем [48].

В дальнейшем необходимо было определить пропускную способность установки при полученных оптимальных зазорах.

Для проведения экспериментов использовали зерно – овес, ячмень и пшеницу. Проводили эксперимент с помощью лабораторной установки (рис.4.4). Также перед проведением опыта фуражное зерно очистили от примесей всех видов.

Опыт проходил следующим образом. Выставлялся зазор между кварцевым стеклом 2 и металлическим листом 3. Расстояние между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем были получены из ранее описанных исследований, для пшеницы, были выбраны следующие зазоры: начиная с 8мм до 15мм; у зерен ячменя: с 9мм до 15мм и у зерен овса: начиная с 7мм до 15мм, с шагом в 1 мм. Фуражное зерно засыпается в бункер 1, оно

заполняет зазор 6 между двух пластин 2 и 3, до заслонки 4. Открывается заслонка 4 и одновременно засекается время. Фуражное зерно непрерывным потоком проходит между двух пластин. По полному истечению из бункера 1 зерно взвешивали. Далее выставлялся другой зазор между двух пластин, и опыт проводился повторно. Результаты вносили в журнал экспериментального исследования. Приложение Л.

Опыт проводился в трехкратной повторности для достоверности результатов.

4.2.3. Методика определения критерия микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла

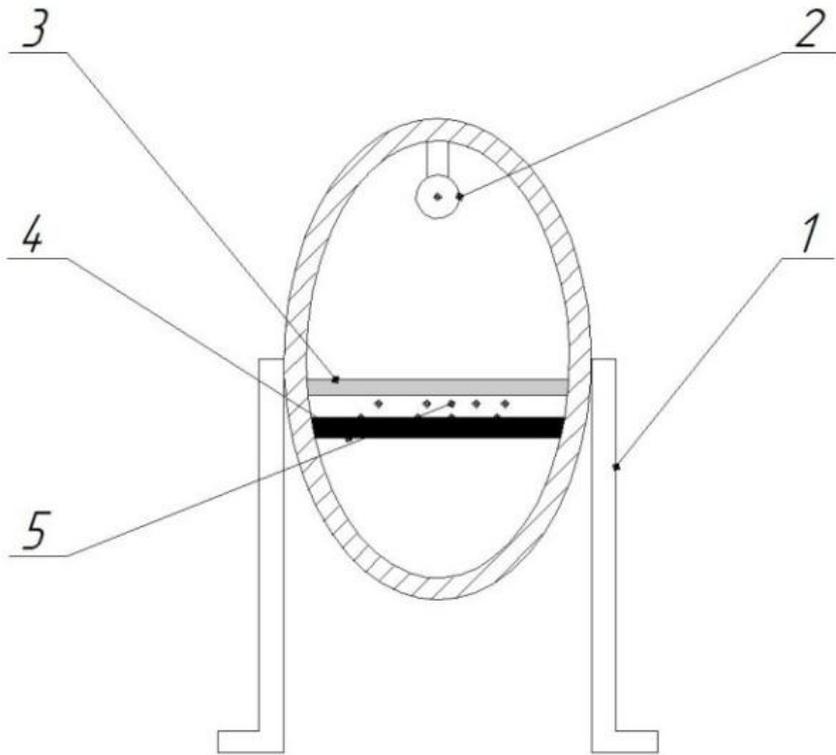
При рассмотрении предмета и условий испытания было получено, что может свести круг опытов к исследованиям критерия микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла.

Влияние толщины кварцевого стекла на эффективность микронизации фуражного зерна исследовали при следующих параметрах. Зазор между кварцевым стеклом и металлическим листом составлял для пшеницы, ячменя и овса соответственно 9 мм, 10 мм и 8 мм соответственно. Высота расположения ламп ИК-излучения составляла 9 см. Мощность лампы КГТ-220-1000 1 кВт. Толщины кварцевого стекла, использованные при эксперименте, составляли 4 мм, 6 мм, 8 мм [48].

В качестве зернофуража была использована пшеница, овес и ячмень с 15% влажностью, также очищенна от всех видов примесей.

Эксперимент проводили на экспериментальной установке для микронизации фуражного зерна (рис. 4.6).

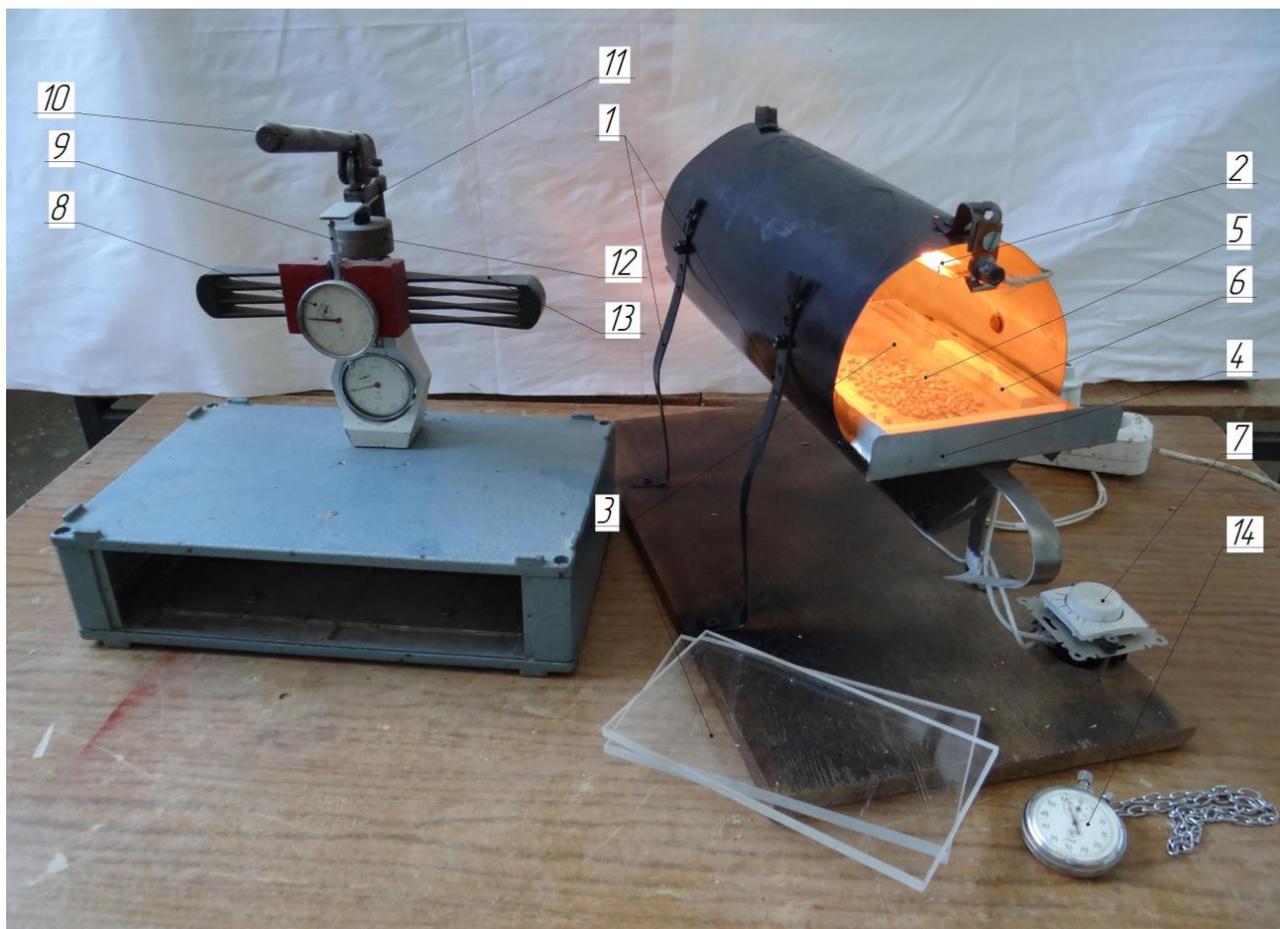
Установка (рис. 4.6) состоит из металлического листа 4, над ним располагается кварцевое стекло 3. Между металлическим листом 4 и кварцевым стеклом 3 располагается фуражное зерно 5. Над кварцевым стеклом 3 расположена лампа 2 ИК-излучения. Металлический лист 3 закреплен на опорных стойках 1.



1 – опорные стойки; 2 – ИК-излучатель (лампа КГТ-220-1000); 3 – кварцевое стекло; 4 – металлический лист; 5 – зерно;

Рисунок 4.6 – Схема экспериментальной установки для микронизации зерна

Эксперимент проходил следующим образом. Было выставлено расстояние между кварцевым стеклом и ИК-излучателем. Далее насыпалось зерно между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем. Включали ИК-излучатель – лампу КГТ-220-1000 и одновременно засекали время. Отбор проб 50 зерен проводился через каждые 5 секунд. После чего зерно подвергалось разрушению на установке, представленной на рисунке 4.2. Затем менялось кварцевое стекло, ставилось стекло другой толщины, и опыт проводился в той же последовательности. Полученные данные были занесены в таблицу (приложение М).



1 – опорные стойки; 2 – ИК-излучатель (лампа КГТ-220-1000); 3 – кварцевое стекло; 4 – металлический лист; 5 – зерно; 6 – планки меняющие зазор между кварцевым стеклом и металлическим листом; 7 – димер; 8 – индикатор; 9 – шток; 10 – рукоятка; 11 – пуасон; 12 – пресс форма; 13 – динамометрическая пружина; 14 – секундомер «556»;

Рисунок 4.7 – Общий вид экспериментальной установки для микронизации зерна

4.2.4. Методика определения критерия достаточности микронизации зерна в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом и изменения мощности светового потока и от толщины кварцевого стекла

С целью выявления оптимальной высоты расположения ламп ИК-излучения над кварцевым стеклом и выявления необходимой мощности светового потока был проведен факторный эксперимент [76,78,89,91] Полученные данные занесены в приложение Н.

Эксперимент проводили на экспериментальной установке для

микронизации зерна (рис. 4.6), оборудованной диммером «Легранд», с помощью которого меняли мощность излучения лампы КГТ-220-1000.

Влияние ИК-излучения на критерий достаточности микронизации фуражного зерна исследовали при следующих параметрах. Зазор между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем составлял для пшеницы, ячменя и овса соответственно 9 мм, 10 мм и 8 мм соответственно. Зазор между кварцевым стеклом и ИК-излучателем для пшеницы, ячменя и овса составлял: 9 см; 7 см; 5 см. Толщина кварцевого стекла составляла: 4 мм; 6 мм; 8 мм. Мощность светового потока ИК-излучения составляла: 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 кВт. Интервал временных отрезков для сбора данных составлял 5 секунд.

Наиболее существенное влияние на процесс микронизации фуражного зерна оказывают такие параметры установки для микронизации, как толщина кварцевого стекла, высота расположения ламп и мощность ИК-излучателя. Для установления влияния данных факторов на эффективность микронизации зернофуража был проделан многофакторный эксперимент.

В ходе поисковых опытов выявляли диапазоны варьирования определенных факторов, а так же экспериментов где определяли влияние параметров на критерий достаточности микронизации зернофуража. Для осуществления эксперимента из каталогов планов [80,95,100] нами был подобран рототабельный, композиционный, симметричный, план третьего порядка, трехуровневый Бокса-Бенкина [89, 90], который представлен в приложении П. Интервалы и уровни варьирования факторов эксперимента представлены в таблице 4.1. Чтобы устранить влияние случайных ошибок, которые связаны с неоднородностью микронизации зерна и также другими факторами, проведена была рандомизация экспериментов по ГОСТ 11.003-71 [26,59]. Опыты проходил с использованием зерен овса, ячменя и пшеницы. Опыт проводился в трехкратной повторности для достоверности полученных результатов.

Таблица 4.1 – Уровни и факторы их варьирования.

Уровни и интервалы варьирования факторов	Факторы			
	Толщина кварцевого стекла l , <i>мм</i>	Высота расположени я ламп h , мм	Мощность лампы N , кВт	Время микронизации t , с
	X_1	X_2	X_3	Y
Верхний уровень (+1)	8	90	1	–
Основной уровень (0)	6	70	0,75	–
Нижний уровень (-1)	4	50	0,5	–
Интервал варьирования	2	20	0,25	–

Априорные данные показывают, что в качестве выражения, которая аппроксимирует экспериментальную информацию по анализу влияния упомянутых выше факторов [103,104] на процесс микронизации фуражного зерна, достаточно использование полинома второго порядка:

$$y = b_0 + \sum_1^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (4.2)$$

где Y – значение отклика среднее (критерий для оптимизации);

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты для уравнения регрессии;

x_i, x_j – независимые переменные (факторы);

k – число независимых переменных.

Так, как вид формулы известен, то испытания проводились с целью сбора оценок коэффициентов полинома (4.2) [32], вычисления которых производился с помощью методики наименьших квадратов [12, 124]. В результате проведенных измерений обследовались критерии однородности дисперсии, предопределенной ошибками опытов. Лишь при использовании этого условия с

данными полученными экспериментально, можно провести регрессионный анализ [15,31,48]. Чтобы проверить однородность дисперсии необходимо:

а) в каждом опыте вычислить дисперсию по формуле

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_{нов}} (z_i - \bar{z}_i)^2}{n_{нов} - 1}, \quad (4.3)$$

где $n_{нов}$ – число повторений опыта;

z_i – значение в каждом повторении критерия оптимизации;

\bar{z}_i – значение критерия оптимизации среднее.

б) с помощью критерия Кохрена исследовать однородность по формуле

$$G_{РАСЧ} = \frac{S_{\partial\max}^2}{\sum_{i=1}^{N_{он}} S_i^2}, \quad (4.4)$$

где $S_{\partial\max}^2$ – дисперсия опытов максимальная;

$\sum_{i=1}^{N_{он}} S_i^2$ – сумма дисперсий.

Вычисляя с помощью формулы (4.3) полученное значение критерия Кохрена сравниваем с его табличным значением[48]. Следовательно, если полученное значение критерия Кохрена $G_{РАСЧ} < G_{ТАБЛ}$ то получается, что дисперсии однородны. Или же обратном варианте остается согласиться с невозпроизводимостью эксперимента, что с заданным числом относительно параметров изучаемого процесса, которые управляемы, вследствие присутствия неуправляемых переменных, создающие большой уровень «шума» на выходе. А если дисперсии получаются однородными, то вычисляется усредненная единица дисперсии воспроизводимости эксперимента с помощью формулы:

$$S_z^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_{он}} S_i^2}{N_{он}}, \quad (4.5)$$

где: N_{on} – число проведенных опытов.

Для проверки соответствия выбранной модели и описания рассматриваемой зависимости исследуемого процесса используется значение S_z^2 .

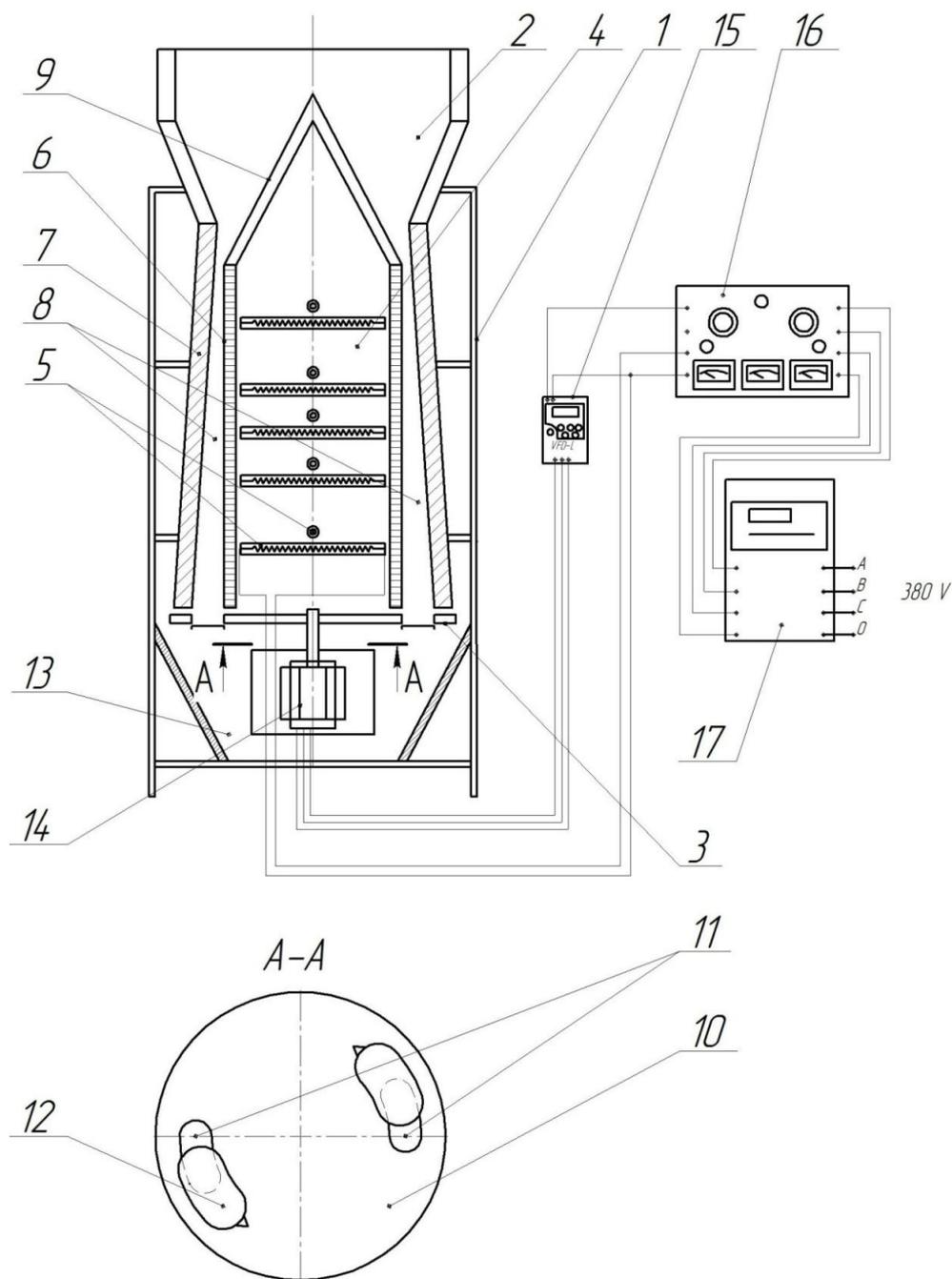
Обработка данных производилась в соответствии с приведенной методикой программы статистики (Statistica 6.0) с применением персонального компьютера ПЭВМ РС.

4.2.5. Методика определения производительности устройства для микронизации фуражного зерна

Определение производительности устройства для микронизации фуражного зерна проводили на экспериментальной устройстве для микронизации зернофуража (рис. 4.8). Влияние подачи фуражного зерна на эффективность пропускной способности исследовали при следующих параметрах: кварцевый цилиндр имел высоту 0,55 м и наружный диаметр 0,26 м. Был определен оптимальный зазор между цилиндром, выполненным из кварцевого стекла, и металлическим кожухом-отражателем, выполненном в виде усеченного конуса. Внутренний диаметр вершины усеченного конуса был выбран из оптимальных условий прохождения фуражного зерна через зазор лабораторной установки: 0,288 м, а внутренний диаметр основания усеченного конуса кожуха-отражателя 0,294 м. Определение пропускной способности диска-дозатора проверялось по следующим площадям отверстия диска-дозатора: $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$; $0,542 \times 10^{-3} \text{ м}^2$; $0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$.

Устройство для микронизации зернофуража [102] (рис. 4.8) «состоит из корпуса 1, загрузочного бункера 2, камеры облучения 4 с ИК-излучателями 5» [102]. Между собой внутренний цилиндр 6 и кожух-отражатель 7 образуют полость 8, где перемещается зернофураж. В камере облучения 4 расположены ИК-излучатели 5, которые закрыты сверху конусом направляющим 9. ИК-излучатели 5 установлены на определенном расстоянии от цилиндра 6.

Выгрузное устройство 3 выполнено в виде диска – дозатора 10. Диск-дозатор 10 расположен ниже внутреннего цилиндра 6 и внешнего цилиндра 7 [85].



1 – корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – выгрузное устройство; 4 – камера облучения; 5 – ИК-излучатели; 6 – внутренний цилиндр (кварцевое стекло); 7 – наружный цилиндр (кожух-отражатель); 8 – полость облучения материала; 9 – направляющий конус; 10 – диск-дозатор; 11 – выгрузные отверстия; 12 – заслонки; 13 – бункер для готовой продукции; 14 – электродвигатель; 15 – преобразователь частоты VFD 007L 21B; 16 – измерительный прибор К-50; 17 – счетчик трехфазного тока;

Рисунок 4.8 – Схема устройства для микронизации зернофуража

Внизу корпуса 1 устройства для микронизации зерна под выгрузным устройством установлен бункер 13. Диск-дозатор 10 соединен приводом с электродвигателем 14, который в свою очередь соединен с преобразователем частоты 15, с измерительным прибором К-50 16 и счетчиком трехфазного тока (СА4У-И672М) 17. [82]

Эксперимент проводился следующим образом. В загрузочный бункер (рис. 4.8) засыпалось зерно, предварительно очищенное от примесей и пыли, которое под собственным весом ссыпалось в полость 8 между внутренним цилиндром 6 и наружным цилиндром 7 до выгрузного диска-дозатора 10, выгрузные отверстия 11 которого закрыты. После заполнения полости 8, сквозь счетчик электроэнергии 17, от электросети 380В, регулятор частоты 15 и измерительный прибор 16 включался в работу электродвигатель 14 выгрузного диска 10, предварительно открыв выгрузные отверстия 11 на величину необходимой производительности и одновременно засекалось время секундомером «556». Далее через выгрузные отверстия 11 зерно ссыпалось в приемный бункер 13. После опустошения бункера 2 и полости 8 между цилиндрами отключалось электропитание и записывалось время. Опыт проводился с трехкратной повторностью, и данные заносились в журнал исследований, в приложение Р. По полученным данным подсчитывалась производительность микронизатора.

4.3. Результаты проведенных опытов

4.3.1. Результаты определения критерия достаточности микронизации фуражного зерна

Результаты, полученные в ходе лабораторных исследований, представлены в приложении К. В таблице 4.2 представлены данные по усилию разрушению 50 зерен пшеницы.

Из таблицы 4.2 следует, что для того, чтобы разрушить 50 не микронизированных зерен пшеницы усилие разрушения равно 702,34 Н, а при

микронизации в течение 10 секунд на установке, при высоте ламп ИК-излучения равной 0,1 м усилие равняется 688,38 Н, а при высоте 0,04 м соответственно 621,35 Н [103].

Таблица 4.2 – Изменение усилия разрушения пшеницы (50 зерен) в зависимости от времени микронизации и высоты размещения лампы ИК-излучения

Культура – Пшеница							
Время t, c	Высота, м						
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
	Усилие разрушения, Н						
0	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34
10	688,38	680,69	678,49	673,01	647,72	631,24	621,35
15	673	669,71	658,71	644,42	623,54	609,26	563,12
20	640,03	633,43	624,64	602,66	587,28	551,01	537,82
25	637,83	618,05	607,06	572,98	523,53	514,74	516,94
30	587,28	575,19	563,11	552,11	502,65	423,52	394,95
35	579,58	553,21	544,42	523,53	427,92	398,25	315,82
40	572,97	542,22	526,83	505,95	357,59	350,98	269,67
45	527,93	525,73	497,16	424,62	267,47	255,38	218,01
50	375,17	369,67	359,78	352,09	193,83	192,74	171,85
55	349,89	345,51	336,71	330,11	-	-	-
60	308,13	302,64	291,65	276,26	-	-	-
65	281,75	278,46	272,96	265,27	-	-	-
70	229	226,81	223,51	193,83	-	-	-
75	211,42	218,02	214,72	-	-	-	-
80	188,34	181,75	179,55	-	-	-	-

*  - зона достаточной микронизации зерна.

С увеличением времени микронизации, усилие разрушения зерен пшеницы уменьшается. Так при обработке в течение 50 секунд усилие разрушения составляет 375,17 Н при высоте равной 0,1 м, а при высоте равной

0,04 м 171,85 Н соответственно. Выявлено, что на расстоянии 0,1 м, 0,09 , 0,08 и 0,07 м для пшеницы, время выдержки равным 50-55 секунд, но при высоте равной 0,06 м, 0,05 м, 0,04 м, достаточно 40 секунд, 35 секунд и 30 секунд соответственно.

В результате осуществленного эксперимента с культурой пшеница, также была получена графическая зависимость (рис 4.9)[103].

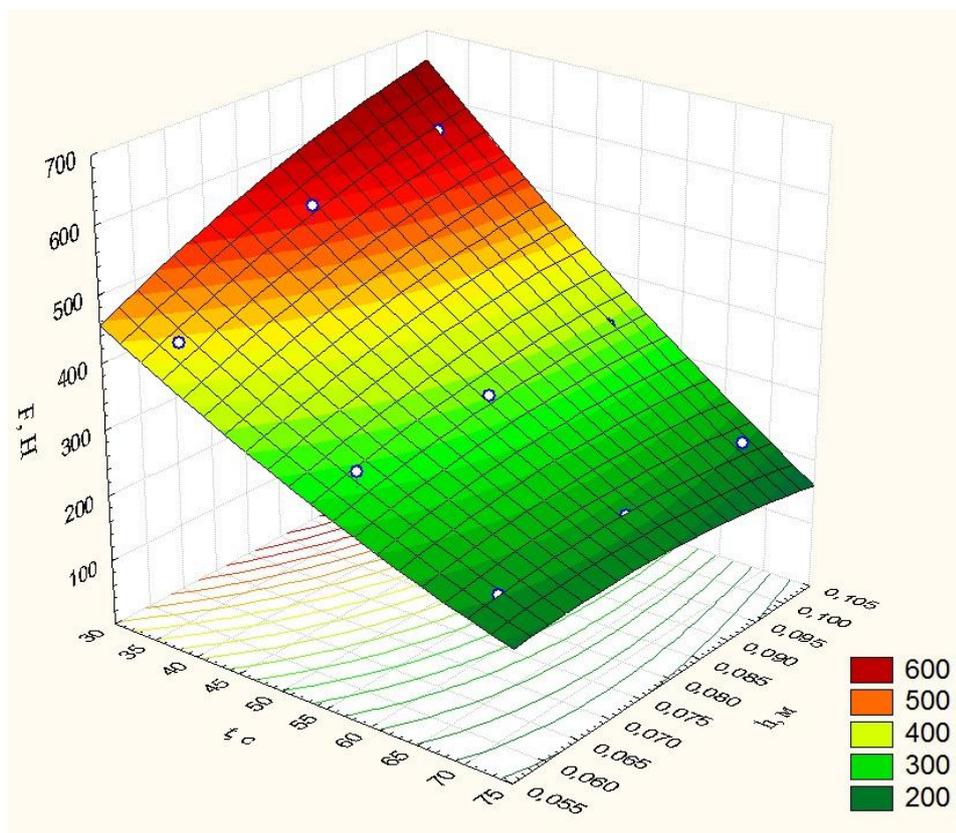


Рисунок 4.9 – Графическая зависимость усилия разрушения 50 зерен (культура-пшеница) в зависимости от времени микронизации и от высоты расположения ламп ИК-излучения.

Полученная графическая зависимость представляется формулой:

$$F = 139,9326 - 4,3221t + 12374,6883y + 0,0402t^2 - 103,6729th - 33044,1667h^2 \quad (4.6)$$

где, h – высота расположения ламп ИК-излучателей, м;

t – время микронизации зена, с;

Данную формулу (4.6) можно использовать для определения усилия разрушения в зависимости от высоты размещения ламп ИК-излучения и от времени микронизации зернофуража.

Отсюда следует, что критерий достаточности микронизации для пшеницы

составляет усилие разрушения 50 зерен пшеницы равным 350 – 450 Н. Это усилие можно применять для оценки критерия достаточности микронизации зернофуража в условиях производства.

4.3.2. Результаты определения оптимального зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем

Результаты, которые получили в ходе проведения лабораторных опытов, представлены в приложении Л. Показана графическая зависимость времени истечения фуражного зерна от зазора (мм) между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем на рисунке 4.10.

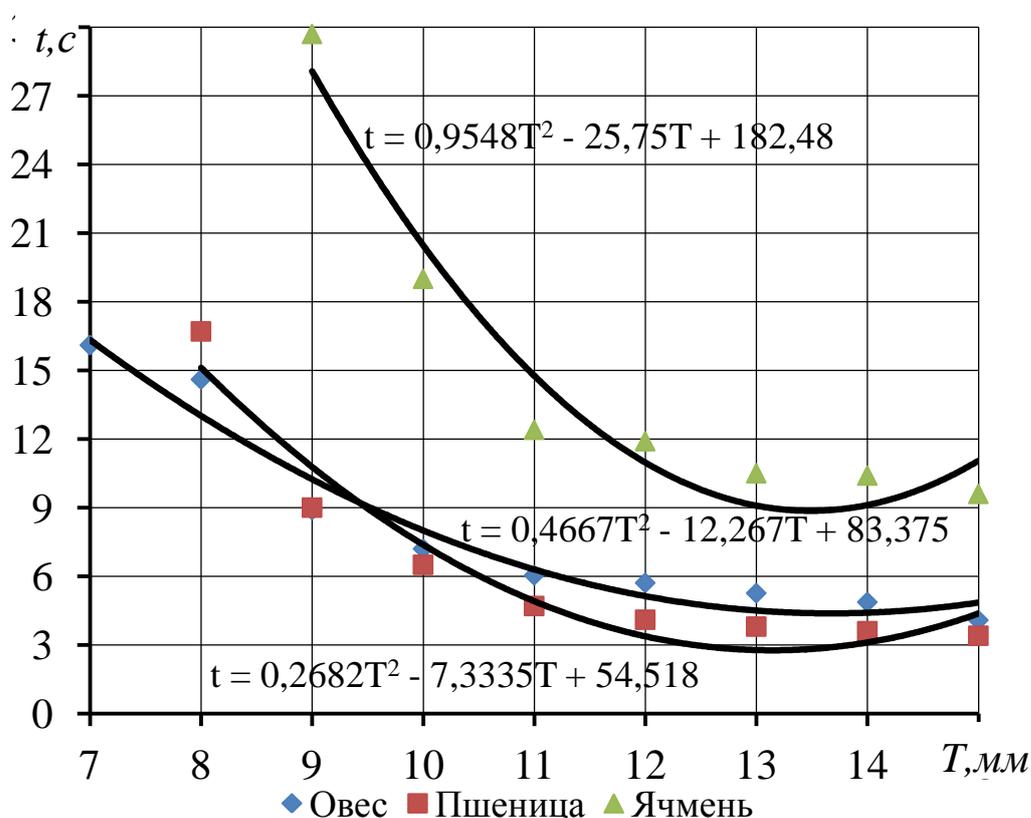


Рисунок 4.10 – Графическая зависимость времени истечения фуражного зерна от зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателя

Делая анализ данной зависимости, можно сделать нижеприведенные выводы. Увеличение величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем влечет за собой уменьшение времени истечения зерна по полиномиальной зависимости второй степени. Из графической зависимости

(рис. 4.10) видно, что с увеличением величины зазора с 5 до 15 мм время прохождения уменьшается для зерен пшеницы с 16,7 до 3,4 с, для зерен овса уменьшается с 16,1 до 4,08 с, а для зерен ячменя снижается с 29,7 до 9,6 с. Также происходило прекращение прохождения зерна через зазор для овса начиная с 6 мм и меньше, для пшеницы с 7 мм и для ячменя с 8 мм. Это объясняется тем, что геометрические параметры зерна не позволяют свободному прохождению зернового материала через зазор между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем.

Анализ экспериментальных данных показал, что эффективность прохождения зерна с увеличением величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем повышается для всех видов зерна, принятых к исследованию [48,89,95].

Рациональной величиной зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем является для пшеницы 9 мм, ячменя 10 мм и овса 8 мм. При таких зазорах может свободно истекать зернофураж из бункера микронизатора.

4.3.3. Результаты определения расхода фуражного зерна в зависимости от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем

Результаты, которые получили в ходе лабораторных опытов, представлены в приложении М. Графические зависимости пропускной способности фуражного зерна (пшеница, ячмень и овес) Q (кг/с) в зависимости от величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем (мм) представлены на рисунке 4.11

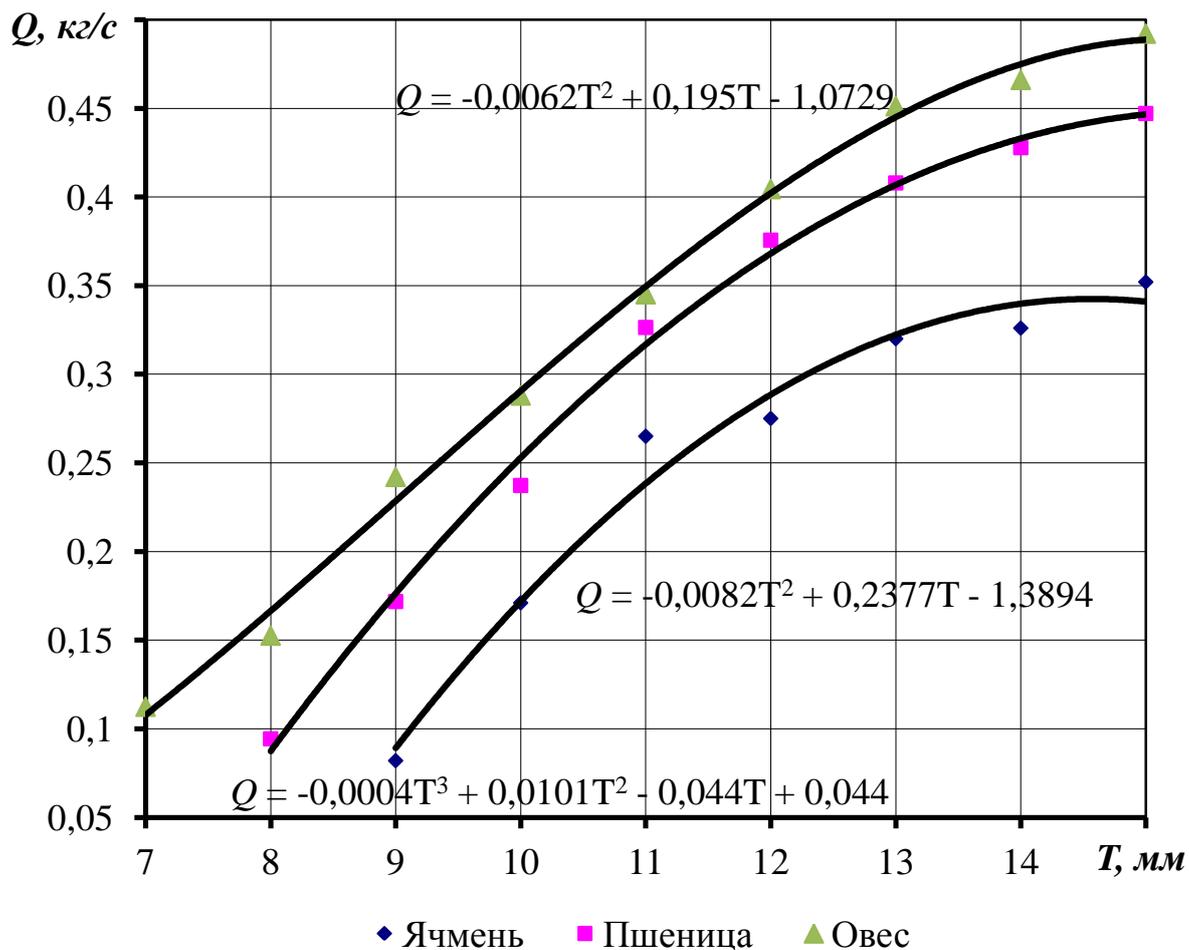
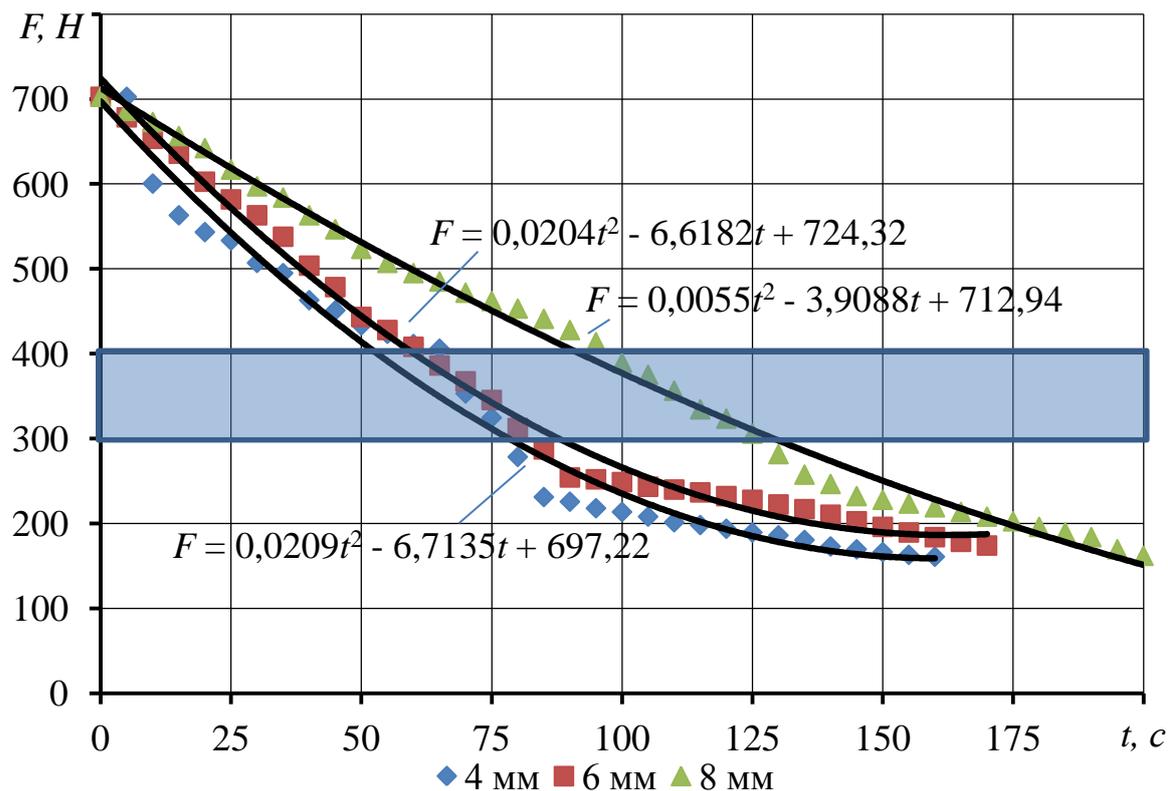


Рисунок 4.11 – Графическая зависимость пропускной способности фуражного зерна Q (кг/с) от величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем T (мм).

Анализируя данные графические зависимости, можно сделать следующие выводы. С возрастанием величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем производительность увеличивается по полиномиальной зависимости. Но при этом у пшеницы производительность выше, чем овса или ячменя. Из графической зависимости видно, что с изменением ширины зазора с 5 до 15 мм увеличивается производительность для овса пшеницы и ячменя соответственно с 0,112 до 0,492 кг/с, с 0,094 до 0,447 кг/с, с 0,082 до 0,352 кг/с.

4.3.4. Результаты определения критерия достаточности микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла

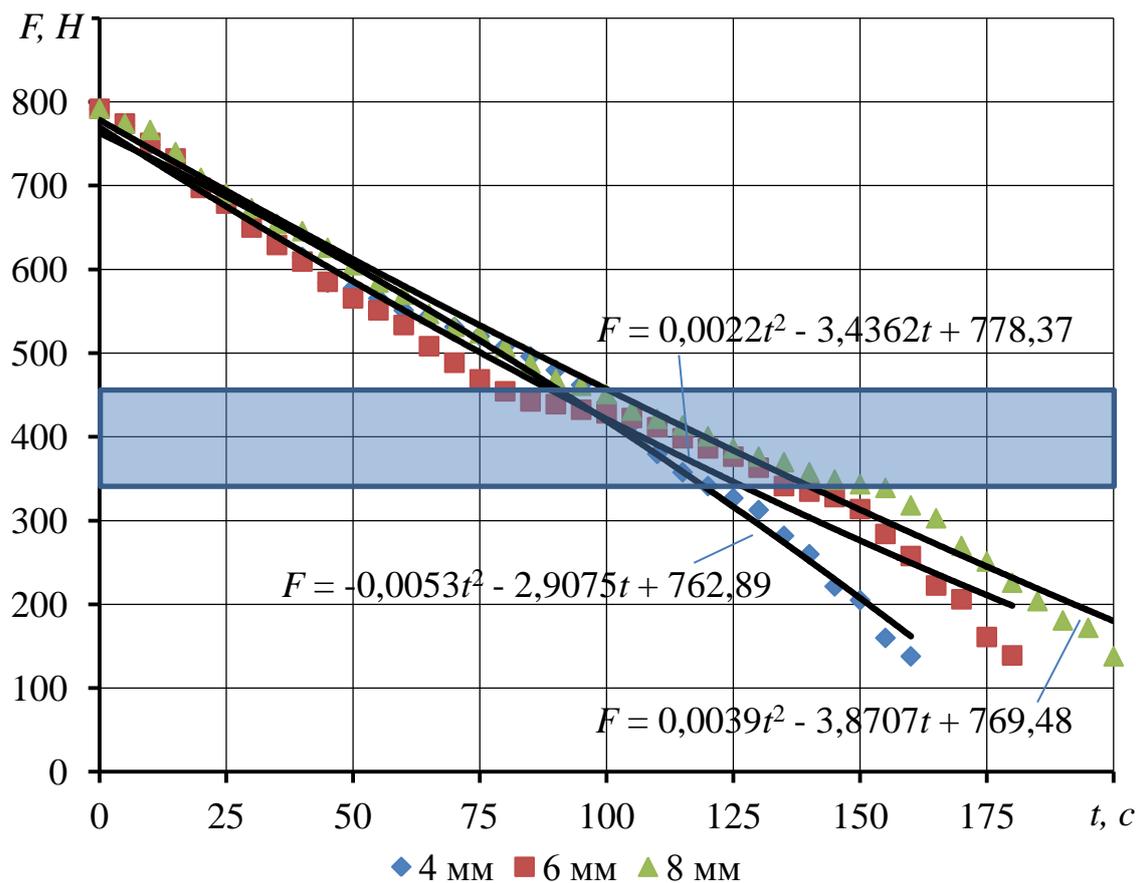
Полученные результаты в ходе лабораторных опытов, представлены в приложении Н. Графические зависимости влияния толщины кварцевого стекла на эффективность тепловой обработки фуражного зерна (пшеница, ячмень и овес) представлены на рисунке 4.12 – 4.14.



— зона, где усилие разрушения соответствует микронизированному зерну.

Рисунок 4.12 – Графическая зависимость влияния времени при различной толщине кварцевого стекла на усилие разрушения 50 зерен пшеницы.

Результаты экспериментов по изучению влияния толщины кварцевого стекла на усилие разрушения 50 зерен овса, ячменя и пшеницы, представленные соответственно на рисунках 4.12 - 4.14. Полученные результаты в ходе лабораторных опытов, представлены в приложении Н.



– зона, где усилие разрушения соответствует микронизированному зерну.

Рисунок 4.13 – Графическая зависимость влияния времени при различной толщине кварцевого стекла на усилие разрушения 50 зерен ячменя.

Исследования о влиянии толщины кварцевого цилиндра при микронизации фуражного зерна показали, что при изменении толщины кварцевого стекла эффективность тепловой обработки меняется и так же меняется усилие разрушения. Причем при толщине кварцевого стекла, равной 4 мм, наблюдалось неравномерное распределение ИК-лучей на зерно, а при толщине кварцевого стекла равной 6 мм тепловая обработка зерна проходила стабильно по отношению к толщине стекла равной 8 мм.

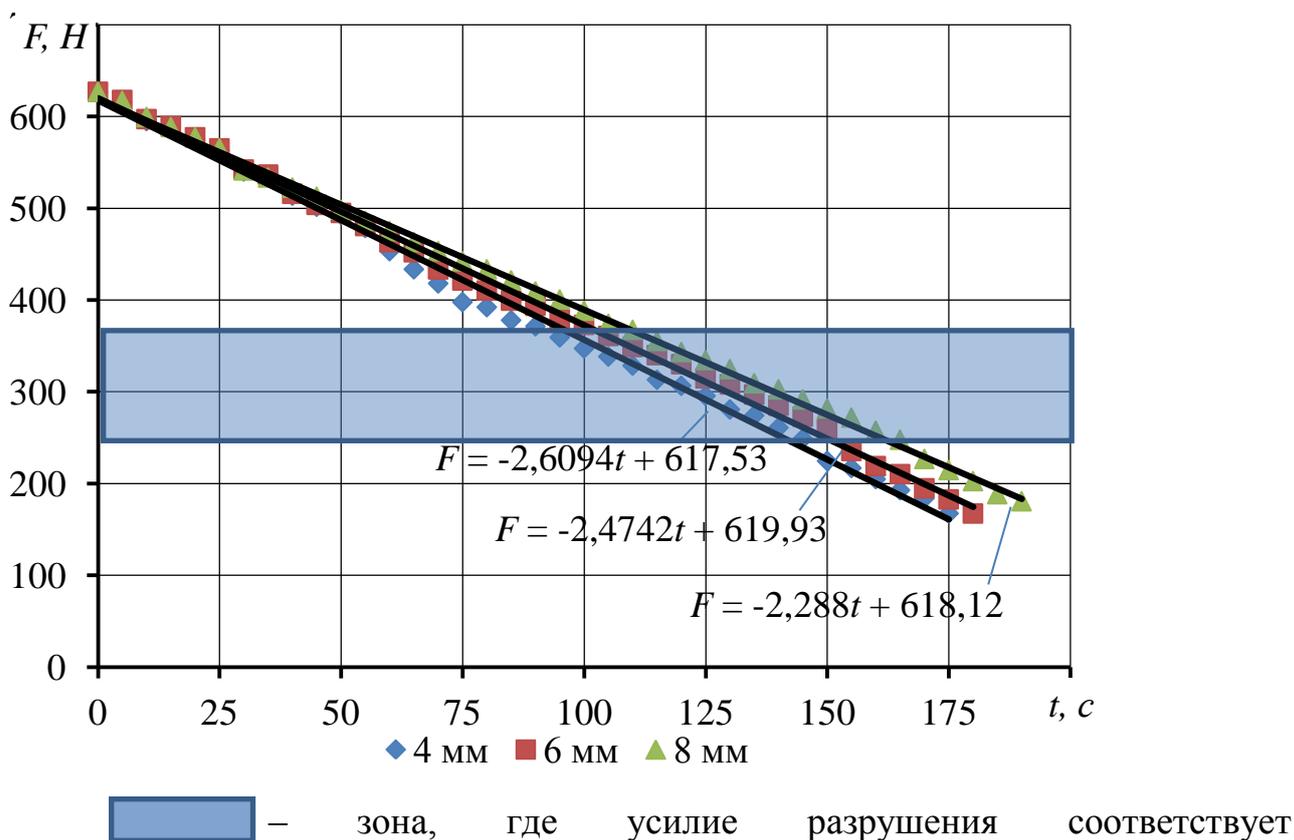


Рисунок 4.14 – Графическая зависимость влияния времени при различной толщине кварцевого стекла на усилие разрушения 50 зерен овса.

В последнем же случае, где толщина кварцевого стекла равна 8 мм время на процесс микронизации требуется больше, что ведет к дополнительным энергетическим затратам.

4.3.5. Результаты определения критерия достаточности микронизации в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом, изменения мощности светового потока и толщины кварцевого стекла

Для установления совместного влияния выбранных параметров установки для микронизации фуражного зерна на эффективность прохождения теплового процесса нами была проведена ряд многофакторных экспериментов. Поиски проводились с применением методики планирования эксперимента [1,2,11,24,31,48,50].

В качестве критерия оптимизации было выбрано время окончания растрескивания зерна при его микронизации. В ходе поисковых опытов выбраны диапазоны факторов варьирования (табл. 4.1).

Был выбран для проведения опытов ротатабельный композиционный симметричный план второго порядка Бокса-Бенкина [48,89,91]. В результате исследований полученные матрицы планов и данные опытов, которые приведены в приложение П. Исследования проводились на зерне овса, ячменя и пшеницы.

В результате эксперимента влияния толщины кварцевого стекла l и высоты расположения ИК-излучателя (лампы КГТ-220-1000) на время микронизации t , построена графическая зависимость (рис. 4.15). Мощность ИК-излучателя (КГТ-220-1000) была принята 1 кВт.

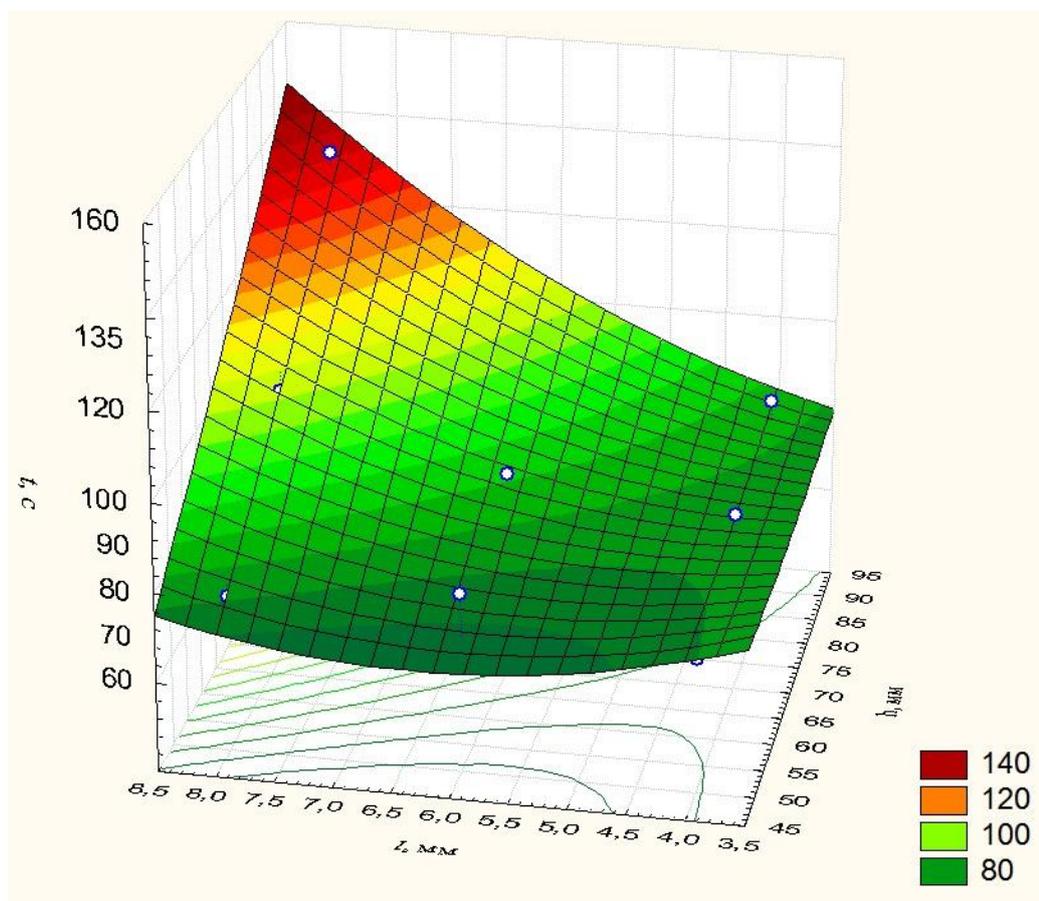


Рисунок 4.15 – Графическая зависимость влияния толщины кварцевого стекла l и высоты расположения h ИК-излучателя на время микронизации t зерен пшеницы.

В ходе статистической обработки полученных экспериментальных данных

получена математическая форма зависимости влияния толщины кварцевого стекла l и высоты расположения h ИК-излучателя (лампы КГТ-220-1000) на время микронизации t :

$$t = 178,1944 - 1,2708 l - 30,9375 h + 0,0021 l^2 + 0,2813 l h + 1,4583 h^2 \quad (4.7)$$

Статистический анализ этого уравнения, включает в себя проверку воспроизводимости исследования, в результате которого определены значимости коэффициенты модели и дана оценка адекватности выявленной формулы по критерию Фишера, которая показала, что полученное уравнение в достаточной степени точно описывает исследуемую зависимость, а следовательно, подходит для практического использования.

Из полученной графической зависимости (рис. 4.15) следует, что для микронизации оптимальными параметрами при мощности ИК-излучателя 1кВт является толщина кварцевого стекла 6 мм и высота расположения ИК-излучателя 50 мм. Время, необходимое для микронизации пшеницы, 80 с.

По результатам эксперимента совместного влияния толщины кварцевого стекла l и мощности ИК-излучения N на время микронизации t построена графическая зависимость (рис. 4.16). Высота расположения лампы ИК-излучения была принята равной 50 мм.

В ходе статистической обработки опытных данных получена математическая формула, зависимости влияния толщины кварцевого стекла l и мощности ИК-излучения N (лампы КГТ-220-1000) на время микронизации t :

$$t = 597,9167 + 25,2083l - 1305N - 0,625l^2 - 17,5lN + 760N^2 \quad (4.8)$$

Полученное уравнение (4.8) естественно описывает исследуемый тепловой процесс, а также пригодно для использования на практике.

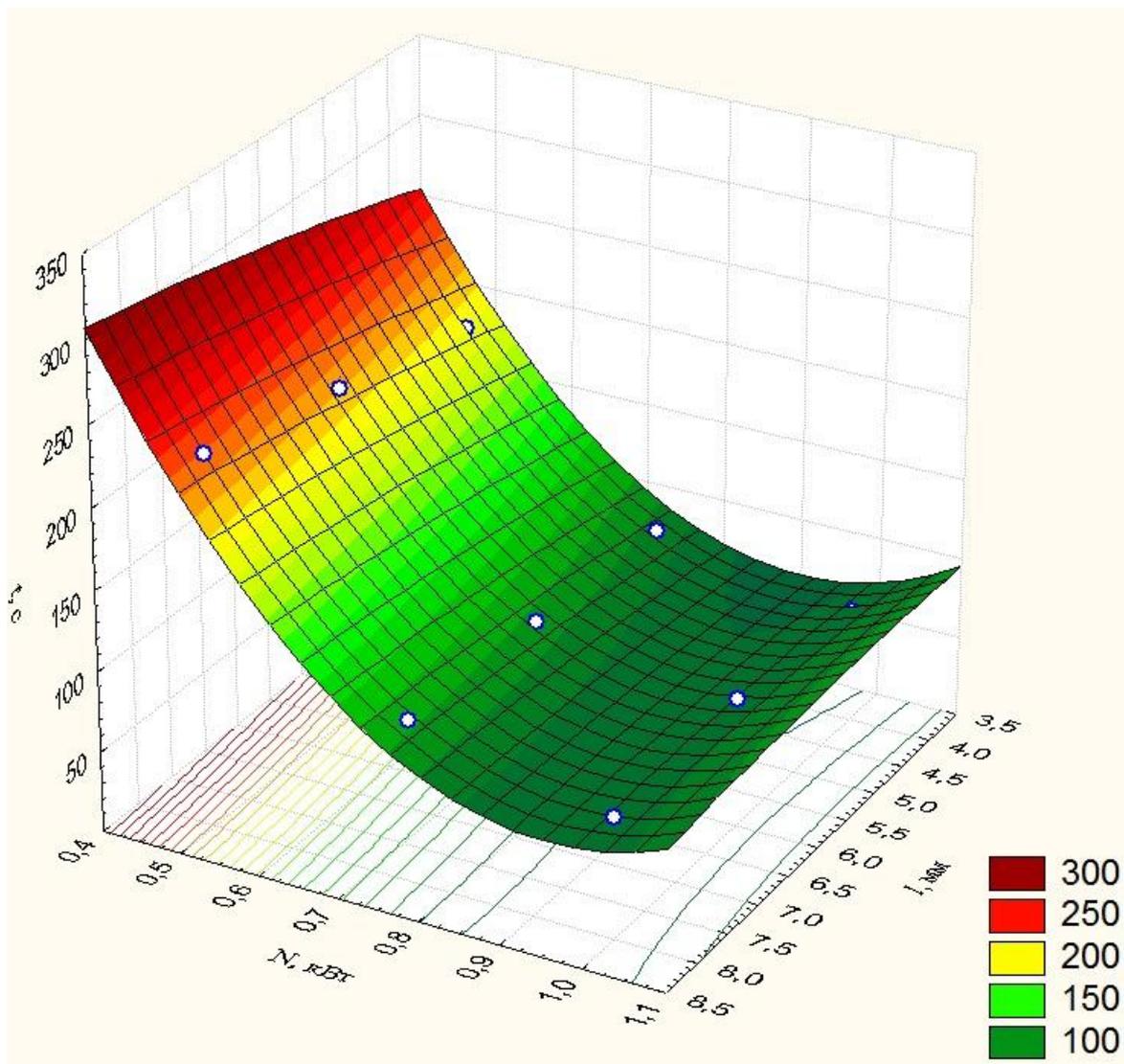


Рисунок 4.16 – Графическая зависимость эффективности совместного влияния толщины кварцевого стекла l и мощности ИК-излучения N на время t микронизации зерен пшеницы.

Из графической зависимости (рис. 4.16) видно, что оптимальные параметры для микронизации зерна пшеницы достигаются при толщине кварцевого стекла l равной 6 мм, а мощности ИК-излучения N равной 1 кВт.

По результатам эксперимента совместного влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время микронизации t , построена графическая зависимость (рис. 4.17). Толщина кварцевого стекла l была принята 6 мм.

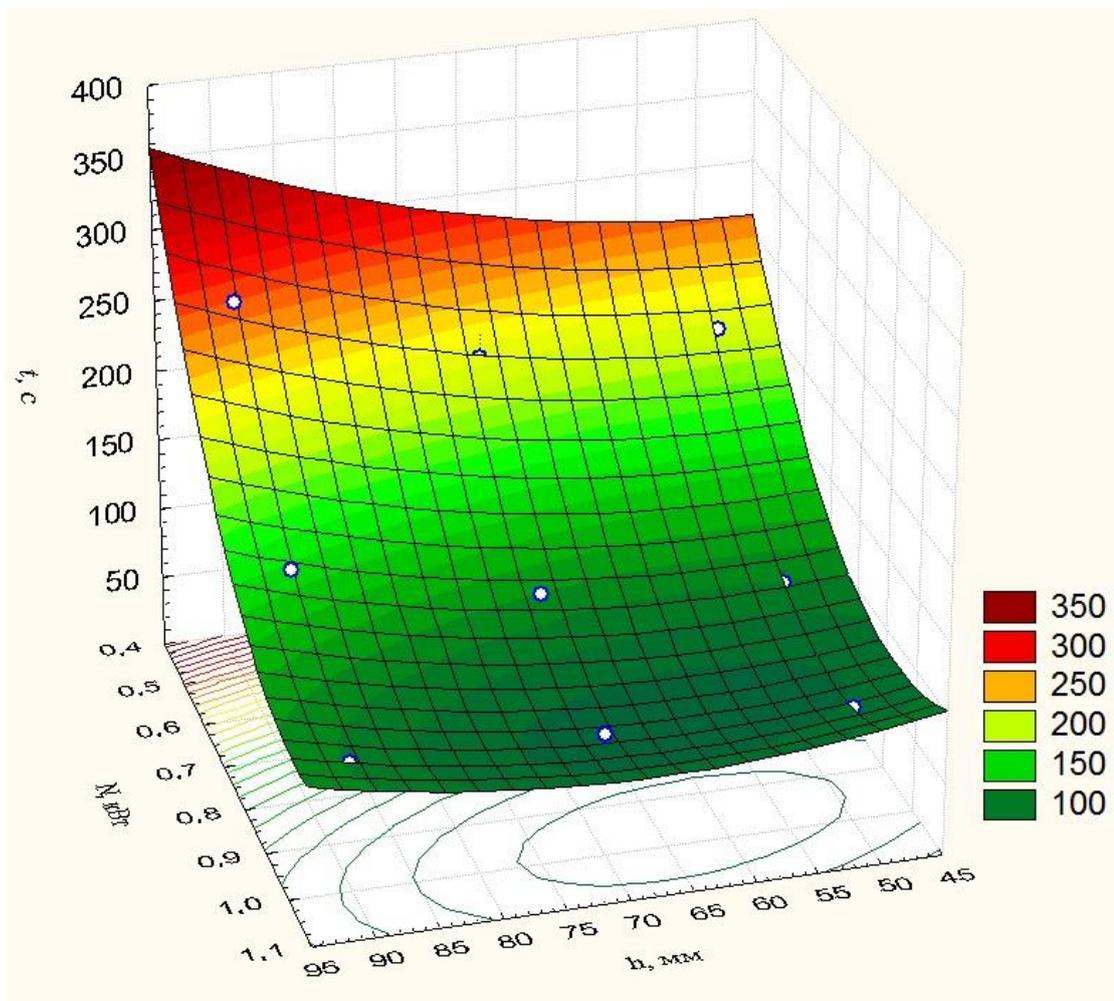


Рисунок 4.17 – Графическая зависимость эффективности совместного влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время t микронизации зерен пшеницы.

В ходе статистической обработки данных эксперимента получили математическую формулу зависимости влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время микронизации t :

$$t = 648,2639 - 2,0417h - 1055N + 0,0354h^2 - 2,5hN + 626,6667N^2 \quad (4.9)$$

Полученное уравнение (4.9) естественно описывает исследуемый тепловой процесс, а также пригодно для использования на практике.

Из полученной графической зависимости представленной на рисунке 4.17 хорошо видно, что оптимальные параметры для микронизации зерна пшеницы достигается при высоте расположения ИК-излучателя равной 70 мм, а мощности ИК-излучения N равной 1 кВт.

4.3.6. Результаты определения производительности устройства для микронизации фуражного зёна

Результаты, которые получили в процессе лабораторных исследований, также представлены в приложениях Р, С. Представлена графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна в зависимости от частоты вращения диска-дозатора на рисунке 4.18.

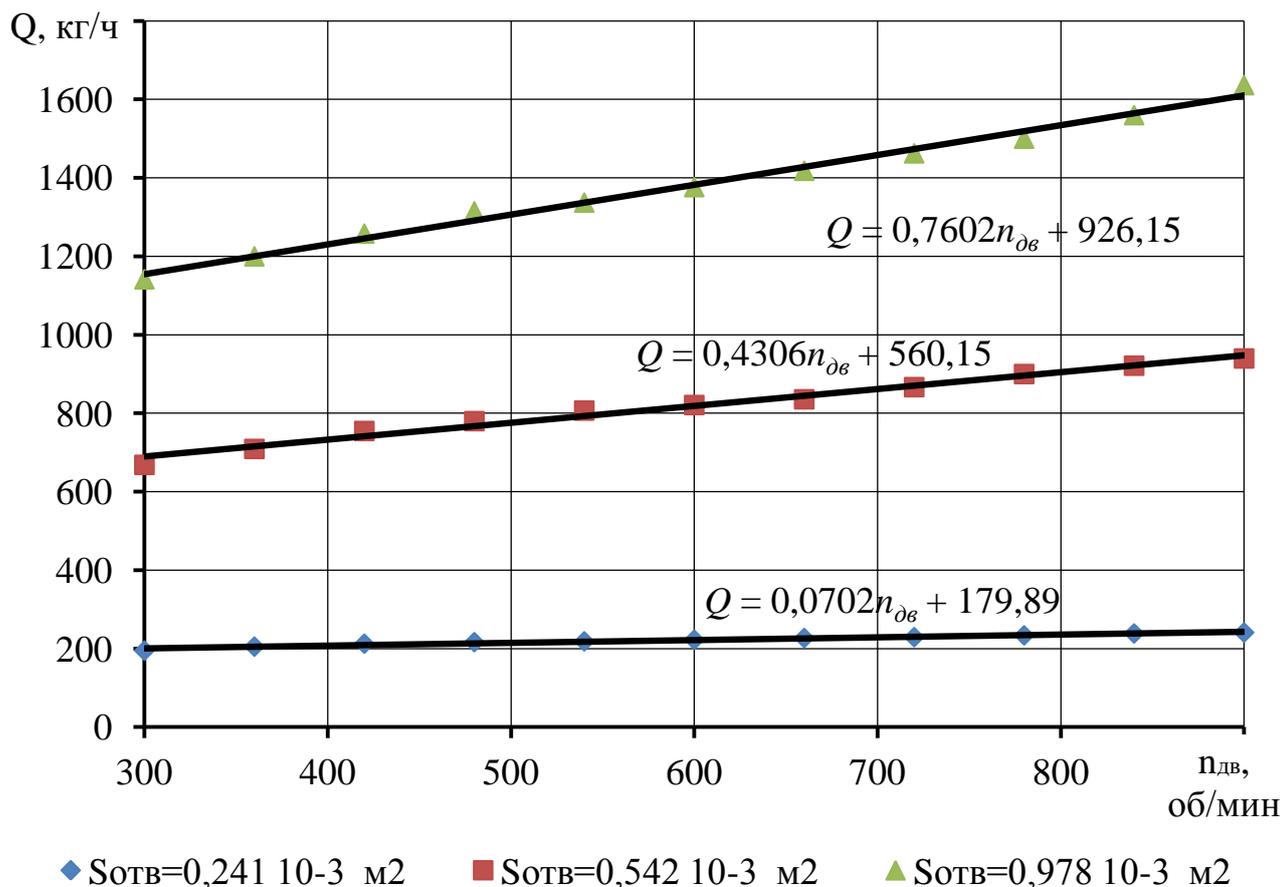


Рисунок 4.18 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна в зависимости от частоты вращения на пшенице.

Из данной графической зависимости рис. 4.18 можно сделать следующие выводы. При увеличении частоты вращения диска-дозатора с 300 до 900 об/мин при площади сечения выходного отверстия $S_{отв} = 0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ производительность для пшеницы увеличивается с 195 до 241,3 кг/ч, для $S_{отв} = 0,542 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ производительность увеличивается с 668,6 до 939,7 кг/ч и для $S_{отв} = 0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ производительность увеличивается с 1141,4 до 1636,4 кг/ч.

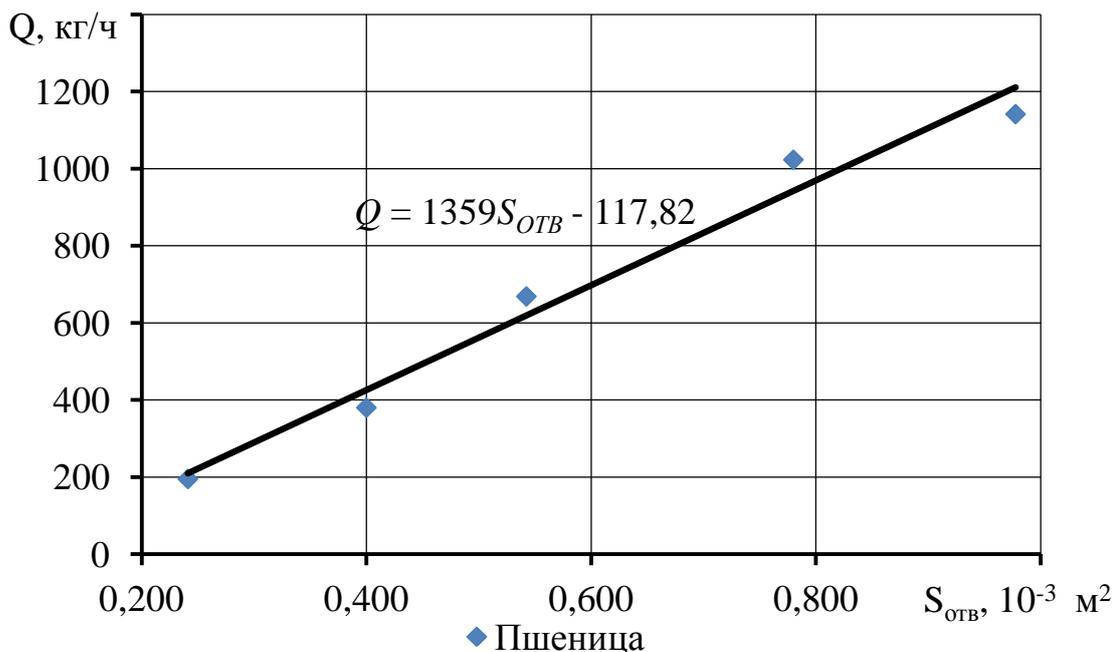


Рисунок 4.19 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна от площади сечения отверстия диска-дозатора на пшенице при частоте вращения $n_{\text{доз}}=118,75$ об/мин.

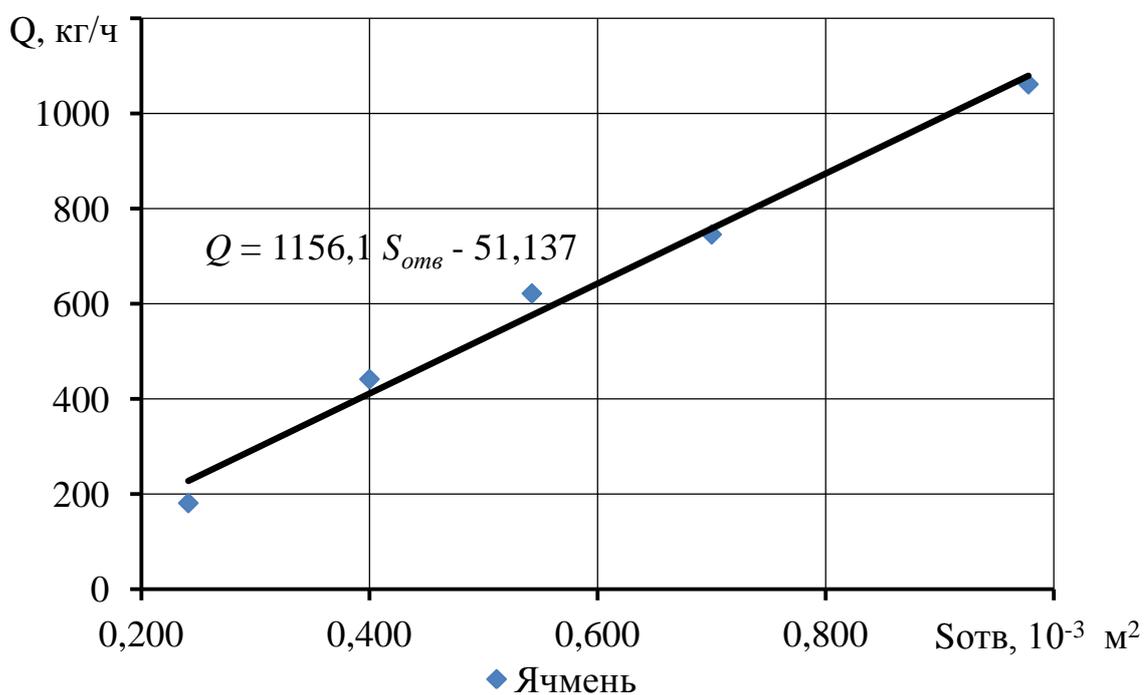


Рисунок 4.20 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна от площади сечения отверстия диска-дозатора на ячмене при частоте вращения $n_{\text{доз}}=118,75$ об/мин.

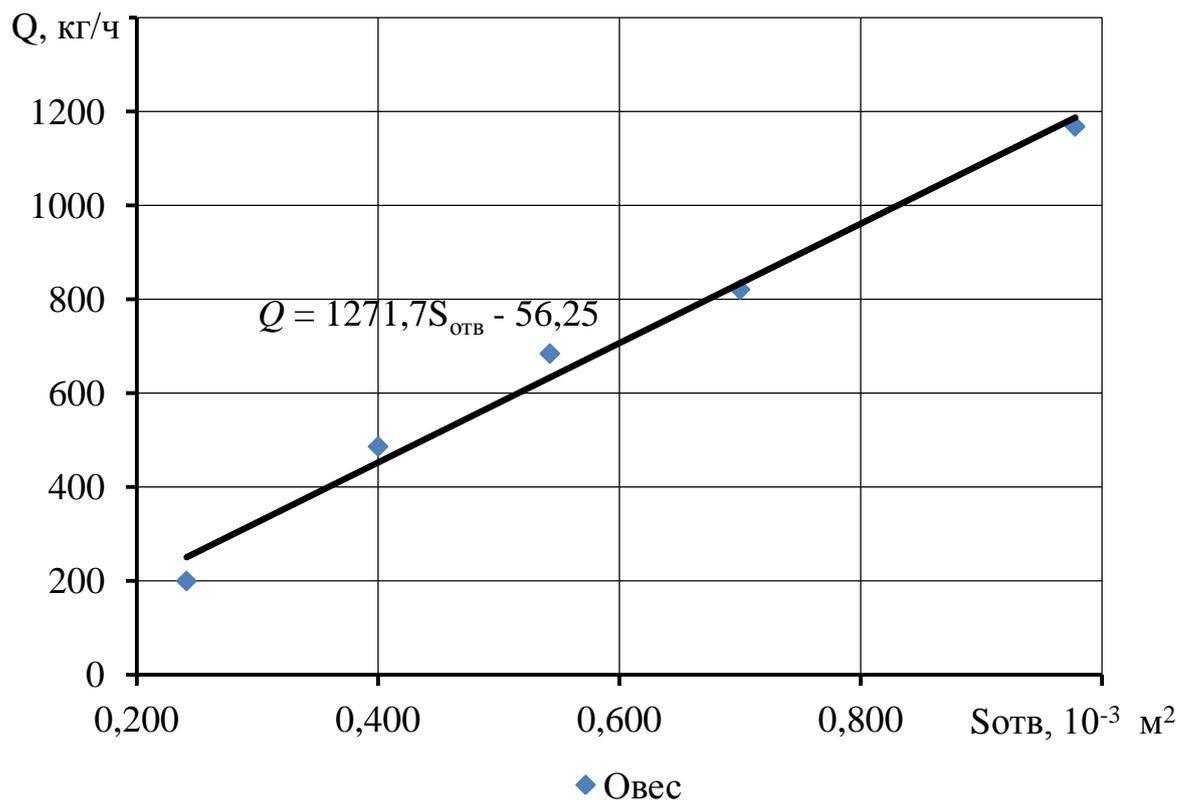


Рисунок 4.21 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна от площади сечения отверстия диска-дозатора овса при частоте вращения $n_{доз}=118,75$ об/мин.

Анализируя графические зависимости (рис. 4.19 – 4.21), наблюдаем, что при увеличении площади сечения с $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ до $0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ при частоте вращения диска-дозатора равной 118,75 об/мин производительность на пшенице возрастает с 195 до 1141,5 кг/ч; на ячмене возрастает с 181,35 до 1061,56 кг/ч; на овсе возрастает с 199,48 до 1167,71 кг/ч.

При дальнейшем увеличении площади сечения отверстия диска-дозатора пропускная способность интенсивно падает. Это связано с тем, что зерно должно находиться в зазоре между кварцевым цилиндром и металлическим кожухом-отражателем от 40 до 70 секунд, а с быстрым увеличением скорости движения зерна в зазоре значительно уменьшается время нахождения зерна в области, где происходит тепловая обработка материала. Наибольшая эффективность процесса микронизации зерна в установке для микронизации зерна будет достигаться в диапазоне площади сечения выходного отверстия

диска-дозатора микронизатора зерна равной $0,241 \times 10^{-3} - 0,542 \times 10^{-3} \text{ м}^2$.

Аналогичные результаты получены для овса и ячменя. Данные приведены в приложениях Р, С.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных лабораторных исследований процесса микронизации фуражного зерна на разработанной установке сделаны следующие выводы:

1. С увеличением величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем время прохождения зерна уменьшается по полиномиальной зависимости второй степени. С увеличением величины зазора с 5 до 15 мм время прохождения уменьшается для овса с 16,1 до 3,8 с, для пшеницы с 16,7 до 3,4 с и уменьшается для ячменя 29,7 до 9,6 с. Также происходит прекращение прохождения зерна через зазор для овса при зазоре – 6 мм, для пшеницы – 7 мм и для ячменя – 8 мм и меньше.

2. При возрастании величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем производительность возрастает по полиномиальной зависимости. Но при этом производительность овса выше, чем пшеницы или ячменя. С изменением ширины зазора с 5 до 15 мм увеличивается производительность для овса, пшеницы и ячменя соответственно с 0,11 до 0,4 кг/с, с 0,09 до 0,44 кг/с и с 0,08 до 0,35 кг/с.

3. Исследования влияния толщины кварцевого цилиндра на процесс микронизации фуражного зерна показали, что при толщине кварцевого стекла равной 4 мм наблюдается неравномерное распределение ИК-лучей, при толщине кварцевого стекла равной 6 мм тепловая обработка зерна проходила стабильно по всей поверхности облучения. При толщине кварцевого стекла 8 мм время на процесс микронизации требуется больше, что ведет к дополнительным энергетическим затратам.

4. При повышении частоты вращения диска-дозатора с 118,75 до 356,25 об/мин при площади сечения выходного отверстия $S_{\text{отв}}=0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ производительность на пшенице увеличивается с 195 до 241,3 кг/ч при $S_{\text{отв}}=0,542 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ с 668,6 до 939,7 кг/ч и при $S_{\text{отв}}=0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ производительность увеличивается с 1141,4 до 1636,4 кг/ч. Наблюдается, что при увеличении площади сечения с $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ до $0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ при частоте

вращения диска-дозатора равной 118,75 об/мин производительность возрастает с 195 до 1141,5 кг/ч.

5. Оптимальными параметрами для микронизации пшеницы при мощности ИК-излучателя 1 кВт является толщина кварцевого стекла 6 мм и высота расположения ИК-излучателя 50 мм. При этом время, необходимое для микронизации пшеницы, составляет 80 с.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ, РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

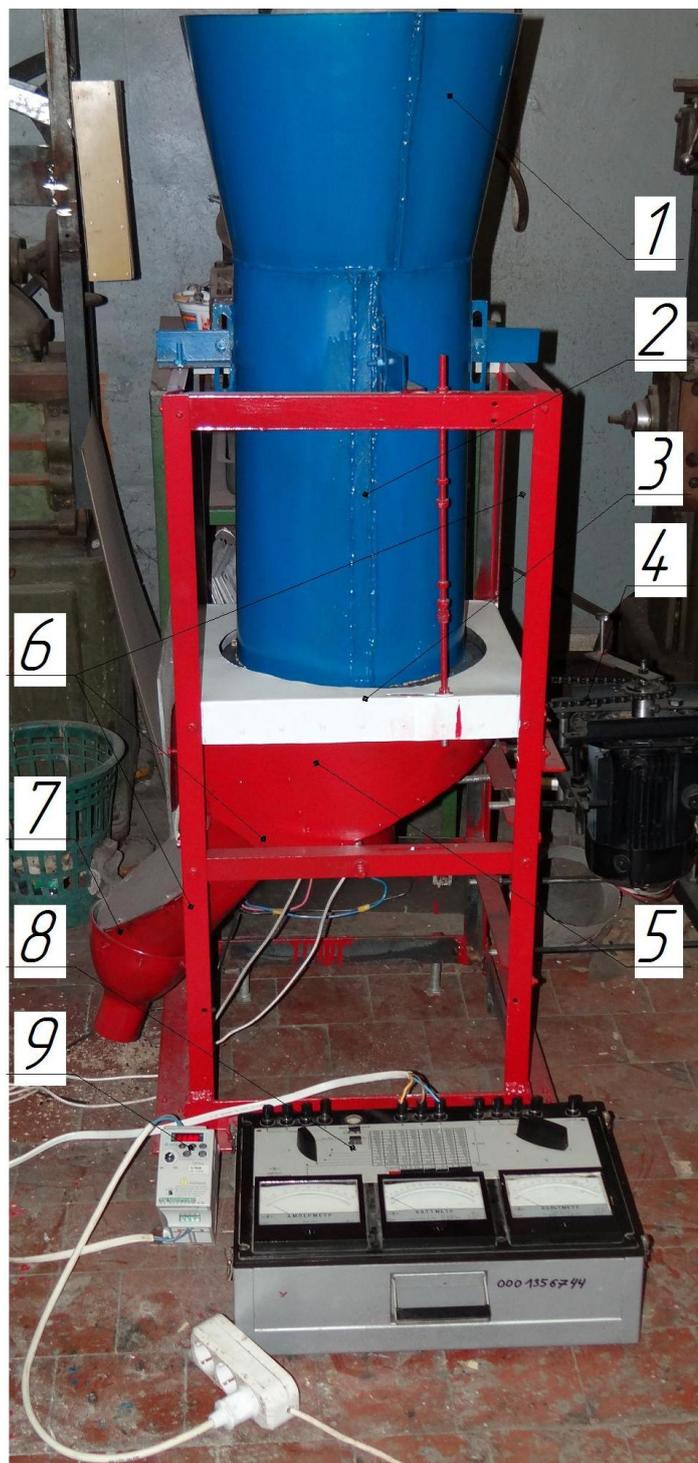
5.1. Методика и программа исследования и результаты процесса микронизации зернофуража

Задача исследований заключается в определении конкурентоспособности конструкции установки для микронизации зерна и определении её технико-экономических показателей при подготовке фуражного зерна к скармливанию.

Программа производственных испытаний установки для микронизации зерна предусматривает определение её производительности, энергоёмкости процесса микронизации фуражного зерна и качества получаемого продукта.

С использованием данных полученных опытным путем в лаборатории ФГБОУ ВО РГАТУ «Инновационные энерго-ресурсосберегающие технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве» был изготовлен производственный образец установки для микронизации зерна, который был испытан на фуражном зерне, представленном хозяйствами Рязанской области: ЗАО «Шацкий свинокомплекс» Шацкого района и ООО «Азеевское» Ермишинского района. Справки о предоставлении фуражного зерна для проведения испытаний установки для микронизации зерна представлены в приложениях У, Ф. Общий вид производственного образца установки для микронизации зерна представлен на рисунке 5.1 [85].

Микронизатор работает следующим образом. В загрузочный бункер засыпают предварительно очищенное от примесей и пыли зерно, которое под собственным весом ссыпается в полость между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем, выгрузные отверстия диска-дозатора которого закрыты. После заполнения полости включают ИК-излучатели и при достижении требуемой экспозиции, в зависимости от вида обрабатываемого зерна, включают электродвигатель, предварительно открыв выгрузные отверстия диска-дозатора на величину необходимой производительности.



1 – загрузочный бункер; 2 – кожух-отражатель; 3 – выгрузное устройство;
 4 – привод диска-дозатора; 5 – бункер микронизированного зерна; 6 – рама;
 7 – выгрузной рукав; 8 – провода;

Рисунок 5.1 – Общий вид производственного образца установки для микронизации зерна.

Обработанное зерно сыпается в загрузочный бункер, откуда в последующем через выгрузной рукав удаляется из установки для микронизации зерна.

Основываясь на лабораторные исследования, были найдены рациональные параметры установки для микронизации зерна, позволяющие обеспечить эффективность процесса тепловой обработки зернового материала в процессе микронизации. Данные параметры представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Параметры установки для микронизации зерна, полученные при производственных испытаниях.

Показатель	Параметр
Производительность, т/ч :	
пшеница	0,21
ячмень	0,2
овес	0,22
Энергоемкость процесса, кВт·ч/т	28,5
Частота вращения диска-дозатора, об/мин	118,75 ... 213,75
Междуцилиндровый зазор, мм:	
пшеница	9
ячмень	10
овес	8
Толщина стекла кварцевого цилиндра, мм	6
Площадь отверстия диска-дозатора, м ²	$0,241 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
Мощность ИК-излучателя, кВт	6

В программу исследований в производственных условиях установки для микронизации зерна входило определение производительности и эффективности процесса обработки материала.

Исследования проводились в соответствии с современными методиками [1,2,20,48,85,95] следующим образом. Перед процессом тепловой микронизации зерна зерно было отчищено от примесей всех видов. Далее зерно микронизировалось за счет включения ламп ИК-излучения. По достижении требуемой экспозиции происходило включение в работу электродвигателя, подключенного к частотному преобразователю, который в свою очередь приводил в движение диск-дозатор установки, далее зерно поступало в бункер для микронизированного зерна.

После получения микронизированного зерна производился отбор проб, на которых проводили биохимические исследования в ГБУ Рязанской области

«Рязанская областная ветеринарная лаборатория» (таблица 5.2). В ходе исследований было выявлено, что процентное содержание сырого протеина в пшенице после микронизации увеличивается на 14,9 %, обменной энергии на 13,5 % и кормовой единицы на 27,3 %; в ячмене также содержание сырого протеина после микронизации увеличивается на 32,8 %, обменной энергии на 23,2 % и кормовых единиц на 47 %; у овса содержание сырого протеина после микронизации увеличивается на 16,7 %, обменной энергии на 40 % и кормовой единицы на 96 %. Результаты проведенного биохимического исследования представлены в приложении X.

Таблица 5.2 – Результаты биохимической экспертизы пшеницы, ячменя и овса.

Наименование показателя	НД на метод испытания	Результат испытания					
		Пшеница		Ячмень		Овес	
		Исходное	Микронизированное	Исходное	Микронизированное	Исходное	Микронизированное
Сырой протеин, %	ГОСТ 13496.4-93	14,7	16,9	13,1	17,4	14,0	16,34
Обменная энергия, кДж/кг	ГОСТ Р5185-2001	11,8	13,4	11,2	13,8	9,0	12,65
Кормовая единица	ГОСТ Р5185-2001	1,1	1,4	1,02	1,5	1	1,3

За период исследований установка микронизации зерна показала себя конкурентоспособной и эффективной, готовой к использованию в качестве агрегата для подготовки зерна к скармливанию сельскохозяйственным животным. Также в ходе испытаний было установлено, что кожух-отражатель в процессе микронизации нагревается до 180 °С, для этого необходимо сделать теплоизоляцию во избежании тепловых потерь и исключения теплового травматизма обслуживающего персонала.

Было выявлено в процессе производственных испытаний, что при тепловой обработке зерна овса, ячменя и пшеницы устройством для микронизации зерна обеспечивается достаточная сходимость результатов с лабораторными опытами, которая составляет более 95% [48,73,91,101].

Производительность установки для микронизации зерна составила: на пшенице – 0,21 т/ч, на ячмене – 0,2 т/ч и овсе – 0,22 т/ч, а затраты энергии на на пшенице 28,57 кВт·ч/т, ячмене 30 кВт·ч/т, овсе 27,3 кВт·ч/т, что на 74 % меньше, чем на установке УТЗ-4.

5.2. Экономическая эффективность

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований процесса микронизации зерна различных культур на установке для микронизации зерна свидетельствуют о достаточно высокой эффективности использования её для тепловой обработки зернофуража при подготовке его к дальнейшему скармливанию полученного окрма сельскохозяйственным животным.

Ниже дана технико-экономическая оценка применения установки для микронизации зерна.

В качестве сравнения была принята аналогичная установка для микронизации зерна УТЗ-4. В таблице 5.3 представлены технические данные сравниваемых микронизаторов.

Таблица 5.3 – Сравнительные характеристики микронизаторов.

Показатели	Размерность	Предлагаемая установка для микронизации зерна	Микронизатор УТЗ-4
Производительность	т/ч	0,21...0,22	0,2...0,3
Цена машин	тыс.руб.	81	290
Балансовая стоимость машин	тыс.руб.	97,2	348
Установленная мощность электродвигателей	кВт	0,75	0,5
Установленная мощность инфракрасных излучателей	кВт	28,5	33
Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1
Масса машин	кг	85	350
Габаритные размеры:			
длина	мм	910	2620
ширина		460	1150
высота		1810	1280

5.3 Основные расчеты технико-экономических показателей микронизатора

Расчет основных технико-экономических значений микронизатора фуражного зерна были использованы типовые методики [25,72,81,124,127,128].

5.3.1. Расчет удельных приведенных затрат на 1 т

Расчет удельных приведённых затрат на 1 тонну комбикорма $ПЗ_{уд}$ (руб/т) находилось с помощью выражения [25]

$$ПЗ_{уд} = Э_{зуд} + KB_{уд} \cdot E_H \quad (5.1)$$

где $Э_{зуд}$ – прямые удельные эксплуатационные затраты, руб/т;

$KB_{уд}$ – удельные капитальные вложения, руб/т;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, ($E_H=0,1$).

5.3.2. Расчет удельных прямых эксплуатационных затрат

Расчет удельных прямых эксплуатационных затрат $\mathcal{E}_{зуд}$ (руб/т) находился по формуле

$$\mathcal{E}_{зуд} = \mathcal{Z} + \mathcal{E} + \mathcal{Z}_{ТОиТР} + A \quad (5.2)$$

где \mathcal{Z} – затраты труда по оплате, руб/т;

\mathcal{E} – затраты на электроэнергию, руб/т;

$\mathcal{Z}_{ТОиТР}$ – затраты на текущий ремонт и техобслуживание, руб/т;

A – амортизационные отчисления, руб/т;

5.3.3. Расчет затрат на оплату труда

Расчет затрат на оплату труда \mathcal{Z} (руб/т) находили по формуле

$$\mathcal{Z} = \frac{Ч_c \cdot t \cdot n \cdot z \cdot u}{Q_q \cdot T_q} \quad (5.3)$$

где $Ч_c$ – тарифная часовая ставка работника, руб;

t – количество часов работы в смену, ч;

n – число смен, шт;

z – число рабочих, чел;

u – число рабочих дней в году;

Q_q – часовая производительность машины, т/ч;

T_q – годовая загрузка агрегата, ч.

Расчет затрат на оплату труда для микронизатора УТЗ – 4

$$\mathcal{Z}_c = \frac{50 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 260}{0,25 \cdot 2080} = 200 \text{ руб/т.}$$

Расчет затрат на оплату труда для нового микронизатора

$$\mathcal{Z}_H = \frac{50 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 260}{0,215 \cdot 2080} = 233 \text{ руб/т.}$$

5.3.4. Расчет затрат на электроэнергию

Расчет затрат на электроэнергию \mathcal{E} (руб/т) находили по формуле

$$\mathcal{E} = U \cdot C, \quad (5.4)$$

где U – электроэнергия, расходуемая на приготовление 1 т комбикорма, кВт·ч/т;

C – цена 1 кВт часов электроэнергии, руб.

Расчет затрат на электроэнергию для базового варианта

$$\mathcal{E}_B = 33 \cdot 4,8 = 158,4 \text{ руб/т.}$$

Расчет затрат на электроэнергию для новой машины

$$\mathcal{E}_H = 28,5 \cdot 4,8 = 136,8 \text{ руб / т.}$$

5.3.5. Расчет балансовой стоимости микронизатора

$$C_{\bar{o}} = C_o \cdot 1,2, \quad (5.5)$$

где 1,2 – коэффициент преобразования оптовой цены в его балансовую цену для с/х машин, которые необходимо монтировать [91].

Балансовая стоимость микронизатора УТЗ – 4

$$C_{\bar{o}} = 290000 \cdot 1,2 = 348000 \text{ руб}$$

Балансовая стоимость нового микронизатора

$$C_{\bar{o}} = 81 \cdot 1,2 = 97200 \text{ руб}$$

5.3.6. Расчет затрат на текущий ремонт и техобслуживание

Расчет затрат на текущий ремонт и техобслуживание по нормативам отчислений от балансовой стоимости машины $Z_{ТО}$ и T_P (руб/т) находим по формуле

$$Z_{ТОиТР} = \frac{C_{\bar{o}} \cdot k}{Q_{ч} \cdot T_{ч}}, \quad (5.6)$$

где $C_{\bar{o}}$ – балансовая стоимость машины, руб;

k – коэффициент отчислений на текущий ремонт и техобслуживание.

Расчет затрат на текущий ремонт и техобслуживание базового варианта

$$Z_{\text{ТОиТР}} = \frac{348000 \cdot 0,18}{0,25 \cdot 2080} = 120,5, \text{ руб/т.}$$

Расчет затрат на текущий ремонт и техобслуживание нового варианта

$$Z_{\text{ТОиТР}} = \frac{97200 \cdot 0,18}{0,215 \cdot 2080} = 39,2, \text{ руб/т.}$$

5.3.7. Расчет на амортизацию

Расчет затрат на амортизацию A (руб/т) вычисляем из выражения

$$A = \frac{Ц_{\delta} \cdot K_A}{Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ч}}} \quad (5.7)$$

где K_A - коэффициент отчислений на амортизацию.

Расчет затрат на амортизацию для базового варианта

$$A_C = \frac{348000 \cdot 0,125}{0,25 \cdot 2080} = 83,65 \text{ руб/т.}$$

Расчет затрат на амортизацию для нового варианта

$$A_H = \frac{97200 \cdot 0,125}{0,215 \cdot 2080} = 27,17 \text{ руб/т.}$$

5.3.8. Расчет удельных капиталовложений

Расчет затрат на удельные капиталовложения $KB_{\text{уд}}$ (руб/т) находим по формуле

$$KB_{\text{уд}} = \frac{Ц_{\delta}}{Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ч}}} \quad (5.8)$$

Расчет затрат на удельные капиталовложения для базового варианта

$$KB_{\text{уд}C} = \frac{348000}{0,25 \cdot 2080} = 669,23 \text{ руб/т.}$$

Расчет затрат на удельные капиталовложения для нового варианта

$$KB_{\text{уд}H} = \frac{97200}{0,215 \cdot 2080} = 217,35 \text{ руб/т.}$$

В итоге расчет удельных приведённых затрат для базового варианта

составляет

$$ПЗ_{удС} = 200 + 158,4 + 120,5 + 83,65 + (669,23 \cdot 0,1) = 629,47 \text{ руб/т.}$$

Расчет удельных приведённых затрат для нового варианта составит

$$ПЗ_{удН} = 233 + 136,8 + 39,2 + 27,17 + (217,35 \cdot 0,1) = 457,9 \text{ руб/т.}$$

5.3.9. Расчет годового экономического эффекта

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = H_Г (ПЗ_{удУТЗ-4} - ПЗ_{удН}) \quad (5.9)$$

где $H_Г$ – годовая наработка новой машины, т;

$ПЗ_{уд\ утз-4}$ – приведённые затраты микронизатора УТЗ – 4, руб/т;

$ПЗ_{удН}$ – приведённые затраты новой машины, руб/т.

5.3.10 Годовая выработка микронизатора

Годовая выработка микронизатора определяется из выражения:

$$H_Г = H \cdot t_Г \cdot K \quad (5.10)$$

Годовая выработка микронизатора УТЗ-4:

$$H_{ГС} = H \cdot t_Г \cdot K = 0,25 \cdot 2080 \cdot 0,85 = 442 \text{ т}$$

Годовая выработка предлагаемого микронизатора:

$$H_{ГН} = H \cdot t_Г \cdot K = 0,215 \cdot 2080 \cdot 0,85 = 380,12 \text{ т}$$

Тогда годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_Г = 2080 \cdot (629,47 - 457,9) = 356865,6 \text{ руб}$$

5.3.11. Расчет экономического эффекта

Расчет экономического эффекта за весь срок эксплуатации микронизатора определяется из формулы:

$$\mathcal{E}_{СС} = \frac{\mathcal{E}_Г}{K_A \cdot E_H} \quad (5.11)$$

Отсюда находим

$$\mathcal{E}_{cc} = \frac{356865,6}{0,125 + 0,1} = 1586069,4 \text{ руб}$$

Расчет срока окупаемости C_o (лет) новой машины находится по формуле

$$C_o = \frac{Ц_{\bar{e}}}{\mathcal{E}_r} \quad (5.12)$$

Подставим численные значения в формулу (5.12) вычислим:

$$C_o = \frac{97200}{356865,6} = 0,27 \text{ года}$$

Отсюда следует, что срок окупаемости микронизатора составляет около 3,2 месяцев.

Результат расчетов представлен в таблице 5.4. Полученные данные показывают нам, что применение устройства для микронизации при подготовке зернофуража к скармливанию сельскохозяйственным животным экономически выгодно. Годовой экономический эффект при этом составит 1586069,4 рублей, в результате внедрения в производство устройства для микронизации зернофуража производительностью 0,215 т/ч при объеме микронизации 380,12 т. При этом уменьшаются следующие показатели:

- удельные эксплуатационные затраты на 27%;
- расходы на электроэнергию на 14 %;
- удельные капиталовложения на 67,5%.

Таблица 5.4 – Расчет основных технико-экономических показателей.

Показатели	Размерность	Установка для микронизации зерна	Базовая машина УТЗ-4
Балансовая стоимость машин	тыс.руб.	97,2	348
Годовая выработка	т	380,12	442
Затраты на оплату труда	руб./т	233	200
Затраты на электроэнергию	руб./т	136,8	158,4
Амортизационные отчисления на реновацию	руб./т	27,17	83,65
Затраты на ремонт и техническое обслуживание	руб./т	39,2	120,5
Удельные прямые эксплуатационные затраты	руб./т	457,9	629,47
Удельные капиталовложения	руб./т	217,35	669,23
Годовой экономический эффект	руб.	1586069,4	–
Срок окупаемости	год	0,27	–

Годовой экономический эффект, который получен в результате расчетов, не включает эффекта от повышения продуктивности сельскохозяйственных животных при скармливании им микронизированного зерна.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для получения производительности устройства для микронизации зерна на пшенице – 0,21 т/ч, на ячмене – 0,2 т/ч, на овсе – 0,22 т/ч со следующими параметрами: толщина стекла кварцевого цилиндра 6 мм; диаметр кварцевого цилиндра 260 мм; частота вращения диска-дозатора 118,75 об/мин; междуцилиндровый зазор для пшеницы – 9 мм, ячменя – 10 мм, овса – 8 мм; площадь отверстия диска-дозатора $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$; мощность ИК-излучателей (лампы КГТ-220-1000) 6 кВт.

2. Исследования процесса микронизации зерна на установке для микронизации зерна в производственных условиях показали, что в целом установка для микронизации показала себя конкурентоспособной и эффективной при тепловой обработке пшеницы, ячменя и овса. Микронизированное зерно, получаемое в результате микронизации, имеет увеличение содержания сырого протеина в пшенице на 14,9 %, обменной энергии на 13,5 % и кормовых единиц на 27,3 %; содержание сырого протеина в ячмене на 32,8 %, обменной энергии на 23,2 % и кормовых единиц на 47 %; у овса содержание сырого протеина на 16,7 %, обменной энергии на 40 % и кормовых единиц на 96 %.

3. В ходе расчета экономической эффективности выявлено, что годовой экономический эффект при внедрении в производство устройства для микронизации зернофуража составит 1586069,4 руб, соответственно при объеме годовой переработки равной 380,12 т. Так же снижаются такие показатели как: эксплуатационные затраты на 27 %; расходы на электроэнергию на 14 %; удельные капиталовложения в 67,5 %. Срок окупаемости установки для микронизации зерна составляет 0,27 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ современных технологий подготовки фуражного зерна к скармливанию и практический опыт показывают, что технология приготовления комбикорма должна включать микронизацию.
2. На основании лабораторных исследований установлено:
 - коэффициент трения по кварцевому стеклу уменьшается при повышении температуры от 20 до 180 °С, соответственно: у пшеницы с 0,296 до 0,264, у ячменя с 0,401 до 0,253, у овса с 0,334 до 0,284.
 - при повышении температуры от 70 до 150 °С происходит уменьшение коэффициента температуропроводности соответственно: для ячменя с 4,48 до 3,46, для пшеницы с 3,72 до 2,16 и для овса с 4,4 до 2,1 м²/с.
 - при повышении температуры микронизированного зерна от 70 до 150 °С происходит уменьшение теплопроводности соответственно: ячменя с 7,77 до 5,425, пшеницы с 6,31 до 3,301 и овса с 7,149 до 2,994 Вт/(м·°С).
 - теплоёмкость микронизированного зерна при повышении температуры от 70 до 150 °С уменьшается соответственно у ячменя с 1,24 до 1,12, у пшеницы с 1,17 до 1,054 и у овса с 1,186 до 1,041 Дж/(кг·°С).
3. Теоретически установлено, что производительность микронизатора (патент №117268) зависит от радиуса внутреннего цилиндра, его длины, мощности ламп ИК-излучения, времени пребывания фуражного зерна в полости между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем.
4. За критерий достаточности микронизации для пшеницы следует принять усилие разрушения ее 50 зерен равным 350 – 450 Н.
5. В результате проведенных лабораторных исследований процесса микронизации фуражного зерна установлено, что:
 - величина зазора для свободного прохождения фуражного зерна между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем (патент №117268) должна быть больше для пшеницы 8 мм, для ячменя 9 мм и для овса 7 мм;

– толщина кварцевого стекла внутреннего цилиндра должна быть 6 мм, а ИК-излучатели должны быть размещены на расстоянии 50 мм от внутренней стенки кварцевого цилиндра;

– для получения производительности микронизатора на пшенице 0,21 т/ч, на ячмене 0,2 т/ч и на овсе 0,22 т/ч частота вращения диска-дозатора должна составлять 118,75 об/мин, площадь отверстия на нем $0,241 \times 10^{-3}$ м² и мощность ламп КГТ-220-1000 6 кВт;

6. Установлено, что при микронизации пшеницы с производительностью 0,2-0,22 т/ч, затраты энергии снижены на 14% на тонну микронизированного зерна по сравнению с микронизатором УТЗ-4. Годовой экономический эффект от внедрения микронизатора зерна (патент №117268) при годовом объеме переработки 380,12 т составляет 158669,4 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю.П. Адлер. - М. : Металлургия, 1969. – 157 с.
2. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский.. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Анго, М.А. Инфракрасные излучения [Текст] / М.А. Анго. - М.: Госэнергоиздат. - 1957. - 80 с
4. Андонов, К.И. Технология и оборудования для тепловой обработки зерна [Текст] / К.И. Андонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1991. - № 7. – С. 64-68.
5. Анискин, В.И. К созданию перспективного оборудования для производства зерна [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. - № 5. – С. 13-15.
6. Анискин, В.И. Механизация уборки и послеуборочной обработки зерновых культур [Текст] / В.И. Анискин, Э.В. Жалнин. – М. : Об-во «Знание» РСФСР, 1976. – 46 с.
7. Артемьев, В.Г. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / В.Г. Артемьев. – Ульяновск. - 2003. – 320 с.
8. Баум, А.Е. Прогрессивная технология хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / А.Е. Баум. – М. : Колос, 1978. – 192 с.
9. Беляев, Н.М. Основы теплопередачи [Текст] / Н.М. Беляев. – Киев: Высшая школа, 1989. – 342 с.
10. Бойко, Л.П. Экструзионная технология переработки семян сои [Электронный ресурс] / Л.П. Бойко, Л.А. Трунова. - Режим доступа : URL: <http://www.eks-bio.ru/stati/page21/index.html> (дата обращения: 30.09.2009 г.)

11. Боровиков, В. STATISTICA 8.0. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов [Текст] / В. Боровиков. – 2-е изд. - СПб.: Питер. 2003. – 688 с.
12. Борхерд, Р. Техника инфракрасного нагрева [Текст] / Р. Борхерд, В.М. Юбиц. - М.: Госэнергоиздат. - 1963. - 312 с.
13. Брагинец, Н.В. Микронизация зерна [Текст] / Н.В. Брагинец, В.А. Рабштына // Комбикормовая промышленность. – 1989. - № 4. – С. 55-67.
14. Будников, Д.А. Постановка задачи теплопроводности при СВЧ нагреве зерна для обеззараживания / Д.А. Будников, А.Н. Васильев, А.А. Васильев // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №1 (13) – С. 56-63.
15. Вейник, А. И. Приближенный расчет процессов теплопроводности [Текст] / А.И. Вейник. – М. – Л.: Госэнергоиздат. - 1959. – 228 с.
16. Гинзбург, А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности [Текст] / А.С. Гинзбург. - М.: Пищевая промышленность. - 1966. - 407 с.
17. Гинзбург, А.С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы [Текст] / А.С. Гинзбург, М. А. Громов. - М.: Сельхозгиз. - 1984. - 317 с.
18. Гинзбург, А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности [Текст] / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность.- 1973. – 527 с.
19. Горохов, Г.А. Технология переработки зерна [Текст] / Г. А. Горохов. - М.: Колос. - 1972. – 265 с.
20. Горский, В.Г. Планирование промышленных экспериментов [Текст] / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер. - М.: Металлургия, 1974. - 274 с.
21. ГОСТ 13496.3 – 92. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. [Текст]. Введ. 1993-01-01. М. : Гос. ком. Стандартизации и метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1992. – 4 с.
22. ГОСТ 28254 – 89. Комбикорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. [Текст]. Введ. 1991-01-01. М.: Гос. ком. СССР по упр. качеством продукции: Изд-во стандартов, 1989. – 3 с.: ил.
23. ГОСТ 13586.3 – 93. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. [Текст]. Введ. 1993-01-01. М.: Гос. ком. Стандартизации и

метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1993. – 4 с.

24. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. Э. К. Лецкого. - М.: Мир, 1980. - 510 с.

25. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта [Текст] / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

26. Драгайцев, В.И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве [Текст] / В.И. Драгайцев. - М.: ВНИИЭСХ, 2010. - 147 с.

27. Драганов, Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве [Текст] / Б.Х. Драганов, А.В. Кузнецов, С.П. Рудобашта. - М.: Агропромиздат, 1990. - 463 с.

28. Егоров, Г.А. Технология переработки зерна [Текст] / Г.А. Егоров. - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1977. – 376 с.

29. Егоров, Г.А. Технологические свойства зерна [Текст] / Г.А. Егоров. - М.: Агропромиздат, 1985. – 334 с.

30. Егоров, Б.В. Изменение микроструктуры зерна при тепловой обработке [Текст] / Б.В. Егоров, М.В. Кузнецов, Н.Н. Новиков // Известия вузов. Сер. Пищевая технология. - 1992. - № 5-6.

31. Елисеева, И.И. Общая теория статистики [Текст] / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. чл.- корр. РАН И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. - 480 с.

32. Епифанцев, Д.А. Технология подготовки фуражного зерна к плющению с использованием универсального гравитационного сепаратора / [Текст]: дис. к-та. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Епифанцев – Рязань, 2012. – 139 с.

33. Жуковский, В.С. Основы теории теплопередачи [Текст] / В.С. Жуковский - Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1969. - 455 с.

34. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка семян [Текст] / И.В. Захарченко. - М.: Заготиздат, 1984. - 267 с.

35. Зверев, С.В. ИК излучение при переработке фуражного зерна [Текст] / С.В. Зверев, Е.П. Тюрёв // Комбикормовая промышленность. - 1994. - № 6. - С.

9-11.

36. Зверев, С.В. Высокотемпературная микронизация зерна [Текст] / С.В. Зверев, Е.П. Тюрев // Обзорная информация. – Сер. Мукомольно-крупяная промышленность. - М.: ЦНИИТЭИ хлебпродинформ, 1996. - 50 с.

37. Зверев, С.В. Высокотемпературная микронизация зерна некоторых бобовых культур Судана [Текст] / С.В. Зверев, Али Осман Магди // Модернизация существующего и разработка новых видов оборудования для пищевой промышленности: сб науч. трудов Воронежского ВГТА. – Воронеж, 1999. - С. 68-69.

38. Зверев, С.В. Моделирование процесса ИК нагрева зерна [Текст] / С.В. Зверев // Хранение и переработка сельхозпродукции. – 2005. - № 11.

39. Зверев, С.В. Потемнение крупы в процессе высокотемпературной микронизации (ВТМ) [Текст] / С.В. Зверев, Е.В. Козин // Хранение и переработка зерна. — 2009. - № 1. - С. 15-21.

40. Зверев, С.В. Моделирование процесса дегидратации зернопродуктов. Часть 1. Конвективная сушка [Текст] / С. В. Зверев // Хранение и переработка зерна. – 2010. - № 4. - С. 19-23.

41. Зоотехнический анализ кормов [Текст] / Е.А. Петухова, Р.Ф. Бессарабова, Л.Д. Халенева, О.А. Антонова. - М.: Агропромиздат, 1989. - 239 с.

42. Зотов, Е.И. Поточные линии перерабатывающих отраслей АПК [Текст] / Е.И. Зотов. - Ульяновск: УГСХА, 2005. - 80 с.

43. Зюлин, А.Н. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / А.Н. Зюлин, А.Г. Чижиков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2002. - № 6. - С. 10-14.

44. Иванов, Ю.А. Основные положения стратегии развития механизации и автоматизации животноводства / Ю.А. Иванов, Н.М. Морозов // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. - №2 (18) – С. 4-13.

45. Ильясов, С.Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов [Текст] / С.Г. Ильясов, В.В. Красников. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 359 с.

46. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осина, А.С. Сукомел. - М.: Энергоиздат, 1981. - 417 с.
47. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст] / Б.А. Карпов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 288 с.
48. Касандрова, О.Н. Обработка результатов измерений [Текст] / О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев. - М.: Наука, 1970. - 103 с.
49. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. - М.: Колос, 1994. - 751 с.
50. Клименок, А.В. Выбор метода и параметров термообработки фуражного зерна перед плющением [Текст] / А.В. Клименок // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Респуб. межвед. тематический науч.-техн. сб. - 1988. - Вып. 68. - С. 125-137.
51. Кондратьев, Г.М. Тепловые измерения [Текст] / Г.М. Кондратьев. - М.-Л.: Машгиз, 1957. - 280 с.
52. Кормление свиней [Текст] / И.С. Трончук, Б.Е. Фесина, Г.М. Почерняева [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1990. - 175 с.
53. Корнилов, С.В. Результаты испытания микронизатора зерна на пропускную способность [Текст] / С.В. Корнилов, П.А. Силушин // Сб. науч. тр. преподавателей и аспирантов РГАТУ : материалы науч.-практич. конф. 2012 года. - Рязань, 2012. - С. 89-92.
54. Кришер, О. Научные основы техники сушки [Текст] / О. Кришер. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. - 213 с.
55. Кудрина, В.Н. Практикум по хранению и переработке сельскохозяйственной продукции [Текст] / В.Н. Кудрина, Н.М. Лычко. - М.: Колос. 1992. - 176 с.
56. Кулагин, М.С. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / М.С. Кулагин. - М.: Колос, 1979. - 256 с.
57. Купреенко, А.И. Модернизация аккумулятора теплоты барабанной гелиосушки / А.И. Купреенко, А.Н. Ченин // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - №4. - С. 10-11.
58. Купреенко, А.И. Теплотехника в вопросах и ответах / А.И. Купреенко,

В.И. Чащинов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Брянск, 2010г.

59. Купреенко, А.И. Математическая модель процесса нагрева зерна при его сушке / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев // «Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК» Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Брянск. – 2011. – С. 82-86.

60. Курдюмов, В.И. Разработка и исследование машин для механизации животноводства и их рабочих органов [Текст] / В.И. Курдюмов. - Ульяновск, 2002. - 159 с.

61. Курдюмов, В.И. Особенности процесса сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.В. Журавлев // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: УГСХА, – 2015. – С. 54 – 56.

62. Лебедев, П.Д. Сушка инфракрасными лучами [Текст] / П.Д. Лебедев. - М.: Госэнергоиздат, 1955. - 241 с.

63. Лебедев, П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки [Текст] / П. Д. Лебедев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1972. - 320 с.

64. Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества [Текст] / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск : Изд-во Акад. Наук БССР, 1954. - 357 с.

65. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. - М.: Энергия, 1968. - 425 с.

66. Лыков, А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. - М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

67. Лыков, А.В. Тепло и массообмен в процессах сушки [Текст] / А.В. Лыков. - М.-Л. : Госэнергоиздат, 1956. - 464 с.

68. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса [Текст] / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 536 с.

69. Мальтри, В.М. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения [Текст] / сокр. пер. с нем. В.М. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер ; пер.

В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер ; под ред. В.Г. Евдокимова. - М.: Машиностроение, 1979. - 525 с.

70. Манасян, С.К. Моделирование и интенсификация процесса сушки зерна [Текст] / С.К. Манасян // Механизация уборки, послеуборочной обработки и хранения: научные труды ВИМ. - М.: ВИМ, 2004. - 148 с.

71. Машины и оборудование для цехов предприятий малой мощности по переработке сельскохозяйственного сырья [Текст]: в 2-х частях. - М.: Информагротех, 1995. - 256 с.

72. Мельник, Б.Е. Техничко-экономическая эффективность вентилирования зерна [Текст] / Б.Е. Мельник. - М.: Колос, 1975. - 191 с.

73. Мельник, Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна [Текст] / Б.Е. Мельник, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников. - М.: Агропромиздат, 1990. - 367 с.

74. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Рощин. - Л.: Колос, Ленингр. отделение, 1980. - 168 с.

75. Механизация и технология производства продукции животноводства [Текст] / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - М.: Колос, 1999. - 528 с.

76. Микроволновая (СВЧ) установка большой производительности для высокоинтенсивной тепловой обработки зерна и зерновых продуктов / В.П. Требух [и др.] // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №1 (13) – С. 63-72.

77. Мишуров, Н.П. Перспективная технология производства комбикормов с микронизированными зерновыми компонентами / Н.П. Мишуров // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №1 (13) – С. 12-20.

78. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. - 327 с.

79. Новиков, П.А. Установка термического обеззараживания и сушки семян [Текст] / П.А. Новиков // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института зернового хозяйства. - 1977. - Т. 5. - С. 157-164.

80. Обработка и хранение зерна [Текст] / пер. с нем. А.М. Мазурицкого; под ред. А.Е. Юкиша. - М.: Агропромиздат, 1985. - 320 с.
81. Орлов, И.В. Экономико-математические методы и модели. Выполнение расчетов в среде EXCEL : практикум [Текст] / И.В. Орлов. - М.: ЗАО «Финстатинформ», 2000. - 136 с.
82. Осипов, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] / В. А. Осипов. - М.: Энергия, 1969. - 392 с.
83. Пат. 2327367 Российская Федерация, МПК А23L1/025, F26B3/30, F26B17/12. Установка для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Кипарисов Н.Г., Афиногенов Н.Ю.; заявитель и патентообладатель Рязанская гос. с.-х. академия. – № 2006125889/13; заявл. 17.07.06 ; опубл. 27.06.08, Бюл. № 18. – 7 с. : ил.
84. Пат. 132953 Российская Федерация, МПК А 23 L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Воробьева И. В., Силушин П.А., Липин В. Д. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 2013112057/13; заявл. 18.03.13 ; опубл. 10.10.13, Бюл. № 28. – 2 с. : ил.
85. Пат. 117268 Российская Федерация, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Силушин П.А., Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Мамонов Р.А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 2012103206/13; заявл. 30.01.12; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. – 3 с.: ил.
86. Пат. 152887 Российская Федерация, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Глушакова О.Д., Силушин П.А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 201503489/13; заявл. 03.02.15; опубл. 20.06.15, Бюл. № 17. – 3 с.: ил.
87. Петражицкий, Г.Б. Инженерные методы расчетов нестационарных процессов теплопроводности в тонких многослойных стенках [Текст] / Г.Б. Петражицкий, И. Полежаев // Теплоэнергетика. - 1962. - № 2. - С. 48-51.
88. Питание свиней: Теория и практика [Текст] / пер. с англ. Н. М. Тепера. -

М. : Агропромиздат, 1987. - 313 с.

89. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман [и др.]. - М.: Мир, 1977. - 552 с.

90. Пустильник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И. Пустильник. - М.: Наука, 1968. - 288 с.

91. Пятков, И.Ф. Перспективы и преимущества электротермической обработки семян перед посевом [Текст] / И.Ф. Пятков // Пути повышения эффективности и рационального использования электрической и тепловой энергии в сельском хозяйстве. - Киев, 1977. - С. 33-34.

92. Рогов, И.А. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 210 с.

93. Рудобашта, С.П. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. 12 «Машины и аппараты химических производств»; Раздел 5. Машины и аппараты для массообменных процессов [Текст] // Энциклопедия «Машиностроение». - М. : Машиностроение, 2004. - С. 468-486-487 ; 504-510.

94. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов [Текст] / Л. З. Румшинский. - М.: Наука, 1971. - 192 с.

95. Савиных, П.А. Обоснование конструкционно-технологических параметров ленточного смесителя / П.А. Савиных, Н.В. Турубанов, Д.А. Зырянов // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. - №3 (19) – С. 76-81.

96. Сельскохозяйственная техника и оборудование для фермерских хозяйств [Текст] : в 2-х томах. - М.: Информагротех, 1994. - 384 с.

97. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г. Е. Листопад, Г. К. Демидов, Б. Д. Зонов [и др.] ; под общ. ред. Г. Е. Листопада. - М.: Агропромиздат, 1986. - 688 с.

98. Сизов, О.А. Роль совмещенного посева для получения сбалансированных кормов / О.А. Сизов, Р.Р. Беликова // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. - №3 (19) – С. 151-154.

99. Силушин, П. А. Результаты определения коэффициента трения зерна в

зависимости от температуры [Текст] / П. А. Силушин, В. Ф. Некрашевич, Р. А. Мамонов // Сборник научных работ студентов РГАТУ: материалы науч.-практ. конф. 2011 г. - Рязань, 2011. - Т. 1. - С. 230-232.

100. Силушин, П.А. Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна [Текст] / П.А. Силушин // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2013. – С. 85-86.

101. Силушин, П.А. Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна [Текст] / П.А. Силушин // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы второй региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2014. – С. 78-80.

102. Силушин, П.А. Результаты определения усилия разрушения зерна в зависимости от времени микронизации [Текст] / В.Ф. Некрашевич, П.А. Силушин // «Молодежь и инновации – 2013» материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. - г. Горки, РБ. 2013. – С. 292-294.

103. Силушин, П.А. Показатель для оценки достаточности микронизации зерна и определение его величины для пшеницы [Текст] / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. - 2013. - № 2 (18). – С. 66-68.

104. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А. А. Спиридонов. - М.: Машиностроение, 1981. - 184 с.

105. Статистические методы в инженерных исследованиях [Текст] / В. П. Бородюк, А. П. Вошинин, А. З. Иванов [и др.]; под ред. Г. К. Круга. - М.: Высшая школа, 1983. - 216 с.

106. Сушка дисперсных термочувствительных материалов [Текст] / И. Л. Любошиц [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1969. - 214 с.

107. Сыроватка, В.И. Стратегия развития машинных технологий производства

комбикормов / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. - №2 (18) – С. 22-28.

108. Сыроватка, В.И. Тепловой баланс сублимационной установки / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. - №1 (17) – С. 27-32.

109. Сыроватка, В.И. Микронизация фуражного зерна / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №4 (16) – С. 204-211.

110. Сыроватка, В.И. Инновационные технологии производства комбикормов / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №2 (14) – С. 35-49.

111. Сыроватка, В.И. Совершенствование технологических процессов производства комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. - №1 (13) – С. 4-12.

112. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок [Текст] : пер. с англ. / Дж. Тейлор. - М.: Мир, 1985. - 272 с.

113. Теоретические основы сохранения зерновой массы [Текст] / под ред. В. И. Анискина. - М.: Колос, 1981. - 118 с.

114. Теплофизические свойства веществ [Текст] / под ред. Н. Б. Варгафтика. - М.-Л. : Госэнергоиздат, 1956. - 367 с.

115. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочное пособие [Текст] / под ред. А. С. Гинзбурга. - М.: Пищевая промышленность, 1975. - 223 с.

116. Терехов, М. Б. Технология переработки зерна и зернопродуктов [Текст] / М. Б. Терехов, Р. А. Каримов. - Н.- Новгород, 1999. - 341 с.

117. Терпиловский, К. Ф. Механизация процессов тепловой обработки кормов [Текст] / К. Ф. Терпиловский. – Минск: Ураджай, 1973. - 127 с.

118. Трисвятский, Л. А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки [Текст] / Л. А. Трисвятский, Б. Е. Мельник. - М.: Колос, 1983. - 351 с.

119. Тюрёв, Е. П. Методы получения модифицированных крахмалов и их применение [Текст] / Е. П. Тюрёв, С. В. Зверев // Обзорная информация /

АгроНИИТЭИП. М., 1993. - Вып. 1. - 24 с.

120. Тюрев, Е. П. Термообработка зерна ИК излучением [Текст] / Е. П. Тюрев, С. В. Зверев, О. В. Цыгулев // Обзорная информация / ЦНИИТЭИ хлебопродуктов. – М., 1993. - 28 с.

121. Тюрев, Е. П. Инфракрасная термообработка зерна [Текст] / Е. П. Тюрев, С. В. Зверев // Комбикормовая промышленность. - 1993. - № 4. - С. 26 - 27.

122. Установка для микронизации зерна [Текст] / В. Ф. Некрашевич, С. В. Корнилов, И. В. Воробьева, П. А. Силушин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : материалы междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 55-летию института механики и энергетики. – Саранск. – 2012. – С. 135-139.

123. Установка для микронизации зерна [Текст] / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Сб. науч. тр. по мат. междунар. науч.-практич. конф. «Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве». - Рязань, 2011. - С. 155-159.

124. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины [Текст] / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. - М.: Колос, 2003. - 624 с.

125. Халафян, А. А. Статистический анализ данных. STATISTICA 6.0. [Текст] / А. А. Халафян. - Краснодар: КубГУ, 2005. - 307 с.

126. Чижиков, А. Г. Состояние и перспективы развития механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / А. Г. Чижиков // Достижения науки и техники АПК. - 2001. - № 11. - С. 17-20.

127. Чудновский, А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А. Ф. Чудновский. - М.: Физматгиз. – 1962. - 456 с.

128. Шустер, А. И. Проблема экономической эффективности капитальных вложений [Текст] / А. И. Шустер // Методы и практика определения эффективности капитальных вложений и новой техники. - М.: Наука, 1967. - Вып. 13. - С. 58-61.

129. Экономическая оценка инженерных проектов: методика и примеры расчетов на ЭВМ [Текст] / Н. А. Волкова, В. В. Коновалов, И. А. Спицын, А. С.

Иванов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2002. - 242 с.

130. Электропривод и электрооборудование [Текст] / А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, С. И. Юран. - М.: КолосС. – 2006. - 328 с.

131. Электротехническая обработка зерна [Текст] / П. С. Авраменко [и др.] // Животноводство. - 1985. - № 1. - С. 53-56.

132. Ahmend, A. Utilization of maerized sorghum grain by dairi calves // Gyornal Dairi Science. - 1976. - V. 25. - № 4. - P. 708-711.

133. ARC. The Nutrient Requirements of Liverstock. Suplement I., C.A.B. - London, 1984. - P. 88.

134. Berglund, R. Scientistsanalyze grain processing // Feed stuffs. - 1965. - V. 37. - № 38. - P. 98-100.

135. Bockholt, H. A. De oplosbaarheid von ciwillen en NPN verbindingen en de betekems dauevan in de rund veevoodmg // Bedryfsontiwikkeling. - 1979. - № 2. - P. 127-132.

136. Boer, F. Livestock feed resources and feed evaluation in Europe / Boer F., Bickel H. - 1988. - P. 331-350.

137. Booth, A. N. Effect of raw soybean meal andomino acids on pancreatic hypertrophy in rats / Booth A.N., Sobbins D.J. Kibelin W.E // Proc. Soc. Exp. Biol. Med. - 960. - V. 104. - P. 681-683.

138. Caisford M. Cheaper broiler feeding with "cooked" whole grain // Farmers Weekly. - 1975. - P. 81.

139. Carpenter, K. Concepts and Determination of Amino Acid A Availability // Controde. - 1973. - 24 th. May. - P. 65-68.

140. Cornett, C. D. Effect of methods of processing upon digestibility of a new wheat by sheep and cattle / Cornett C.D., Sherrod L.B., Albin R.C. // Journal Animal Science. - 1971. - V.44. - № 2. - P. 234-241. Denain, Ph. Lextrusion a sec : efects et interet en alimentation, son application a la graine de soja // Rev. mod. vet. - 1986. - V. 187. - P. 409-416.

141. Ellhiney, R. Perspective on pelleting // Feed International. - 1989. - V.10. - № 5. - P. 24-32.

142. Ferlin, S. Effects of processing grain for cattle feedlot rations // *Animal Nutrition and Health*. - 1975. - № 20. - P. 307-310.
143. Krogdahl, A. Soybean proteinase inhibitors and human proteolytic enzymes / Krogdahl A., Holt H. // *Selective inactivation of inhibitors by treatment with human gastric juice*. - *J. Nutr.* 1981. - Vol. III. - P. 2045-2051.
144. Kunitz M., Crystalline soybean trypsin inhibitor. II General properties // *J. Gen. Physiol.* - 1947. - № 30. - P. 342-346.
145. Lawrence, T. An evaluation of the micronization process for preparing cereals for the growing pig. Effects of digestibility and nitrogen retention // *Journal Animal Production*. - 1973. - V. 16. - № 2. - P. 99-107.
146. Lawrence, T. Effects of micronization on the digestibility of whole soya beans and rapeseeds for the growing pig // *Animal Feed Science and Technology*. - 1978. - V. 3. - № 2. - P. 179-189.
147. Leitgeb, K. Zum Futterwert der Erbse (*pisum sativum* L.) und ihre Einsatzmöglichkeiten in der praktischen Tierernährung / Leitgeb K., Christine IREN // *Tierernährg.* - 1988. - Bd.16. - № 1. - P. 1-22.
148. Lucas, J. A. The nutrition of young pig. - London, 1961. - P. 85-93.
149. Management for better feed efficiency / Lucas J. A., Lodge J. A // *Pig International*. - 1989. - V. 19. - № 6. - P. 28-29.
150. Nioolic J. Uticay mikrozacija zrna tri osnovna tipa kukuruza na svojivost hrljivine materija i bilans dzota u teladi // *Zbornik Rad.Poljoprivr.Fak AJnix.* - Beograd. - 1983. - № 587. - P. 15-21.
151. Privalov P. L. // *Pure Appl. Chem.* - 1980. - Vol. 52. - P. 479-497.
152. Privalov P. L., Potekhin S.A. // *Meth. Enzymol.* - 1986. - Vol. 131. - P. 451.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты опытов нахождения объёмной массы зернофуража (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица А.1 – Объёмная масса (γ , кг/м³) зерен пшеницы, ячменя и овса.

Культура	Влажность				
	10%	12%	14%	16%	18%
Пшеница	790,1	779,4	765,4	752,16	749,6
Ячмень	705	692,4	692,1	687,3	683,4
Овес	510	505,8	503,5	499,2	497

Результаты опытов нахождения угла естественного откоса зернофуража (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица Б.1 – Угол естественного откоса ($\alpha_{\text{отк}}$, град) зерен пшеницы, ячменя и овса от температуры.

Культура	Температура, $t^{\circ}\text{C}$								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Пшеница	33,4	32,8	31,2	30,4	29,7	28,6	26,7	25,6	25,4
Ячмень	30,7	30,1	29,7	28,2	27,4	26,7	24,65	23,8	22,5
Овес	30,2	29,3	28,7	28,1	27,7	27,2	26,6	26,2	25,7

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты опытов нахождения коэффициента истечения зернофуража (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица В.1 – Коэффициент истечения (λ) зерен пшеницы, ячменя и овса.

Культура	Влажность				
	10%	12%	14%	16%	18%
Пшеница	0,73	0,75	0,82	0,91	0,97
Ячмень	0,85	0,87	0,89	0,94	0,98
Овес	0,54	0,56	0,58	0,59	0,62

Результаты опытов нахождения коэффициента трения по металлической поверхности (сталь) f_{cm} в зависимости от температуры зерна (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица Г.1 – Коэффициент трения по металлическому листу (сталь) f_{cm} зерен пшеницы, ячменя и овса.

Культура	Температура, t °C								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Пшеница	0,2962	0,2931	0,2918	0,2907	0,289	0,2882	0,2765	0,2666	0,2593
Ячмень	0,4048	0,4015	0,3515	0,3349	0,3166	0,3032	0,2863	0,2632	0,2582
Овес	0,3431	0,3349	0,3345	0,3338	0,3314	0,3249	0,2965	0,2946	0,291

Результаты опытов нахождения коэффициента трения по кварцевому стеклу $f_{кв}$ в зависимости от температуры зерна (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица Д.1 – Коэффициент трения по кварцевому стеклу $f_{кв}$ зерен пшеницы, ячменя и овса.

Культура	Температура, $t^{\circ}C$								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Пшеница	0,2968	0,2964	0,2959	0,2938	0,2904	0,2882	0,2765	0,2656	0,2642
Ячмень	0,4015	0,3515	0,3349	0,3166	0,3032	0,2863	0,2632	0,2582	0,2537
Овес	0,3349	0,3345	0,3238	0,3114	0,3049	0,2965	0,2946	0,2927	0,2848

Результаты опытов теплофизических свойств микронизированного зерна (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица Ж.1 – Коэффициент температуропроводности в зависимости от температуры зерна.

t °C	Коэффициент температуропроводности, $10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$											
	ячмень				пшеница				овес			
	a_1	a_2	a_3	\bar{a}	a_1	a_2	a_3	\bar{a}	a_1	a_2	a_3	\bar{a}
70	4,5	4,52	4,42	4,48	3,8	3,69	3,67	3,72	4,5	4,4	4,6	4,4
90	4,19	4,2	4,12	4,17	3,46	3,41	3,36	3,41	4,03	4,01	4,05	4,03
110	3,68	3,65	3,8	3,71	2,41	2,34	2,36	2,37	3,46	3,44	3,45	3,45
130	3,55	3,54	3,47	3,52	2,2	2,31	2,27	2,26	2,46	2,44	2,42	2,42
150	3,41	3,45	3,52	3,46	2,1	2,14	2,24	2,16	2,1	2	2,2	2,1

Таблица Ж.2 – Удельная теплоемкость в зависимости от температуры зерна

t °C	Удельная теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$											
	Ячмень				Пшеница				Овес			
	c_1	c_2	c_3	\bar{c}	c_1	c_2	c_3	\bar{c}	c_1	c_2	c_3	\bar{c}
70	1,22	1,25	1,25	1,24	1,18	1,19	1,14	1,17	1,185	1,186	1,187	1,186
90	1,15	1,19	1,2	1,18	1,15	1,14	1,19	1,16	1,163	1,167	1,171	1,167
110	1,19	1,16	1,13	1,16	1,077	1,082	1,078	1,079	1,142	1,143	1,138	1,141
130	1,16	1,11	1,12	1,13	1,062	1,057	1,058	1,059	1,055	1,058	1,058	1,057
150	1,12	1,1	1,14	1,12	1,054	1,056	1,052	1,054	1,041	1,04	1,042	1,041

Таблица Ж.3 – Коэффициент теплопроводности в зависимости от температуры зерна.

t , °C	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$											
	Ячмень				Пшеница				Овес			
	λ_1	λ_2	λ_3	$\bar{\lambda}$	λ_1	λ_2	λ_3	$\bar{\lambda}$	λ_1	λ_2	λ_3	$\bar{\lambda}$
70	7,686	7,91	7,735	7,777	6,502	6,367	6,067	6,312	7,306	7,149	7,481	7,312
90	6,746	6,997	6,922	6,888	5,77	5,637	5,798	5,735	6,421	6,411	6,497	6,443
110	6,131	5,928	6,012	6,025	3,764	3,671	3,689	3,708	5,413	5,387	5,379	5,393
130	5,765	5,501	5,441	5,568	3,388	3,54	3,482	3,47	3,556	3,537	3,508	3,533
150	5,347	5,313	5,618	5,425	3,209	3,277	3,417	3,301	2,995	2,85	3,141	2,995

Интеграл в первом слагаемом (3.24) (глава 3).

$$\int_{H_0}^H \frac{dH}{\sqrt{L+H}} = \int_{H_0}^H \frac{d(H+L)}{\sqrt{L+H}} = 2 \cdot (\sqrt{H+L} - \sqrt{H_0+L}) \quad (\text{И.1})$$

Интеграл во втором слагаемом

$$\begin{aligned} \int_{H_0}^H \frac{HdH}{\sqrt{L+H}} &= \int_{H_0}^H \frac{(H+L-L)dH}{\sqrt{L+H}} = \int_{H_0}^H \sqrt{L+H} dH - L \cdot \int_{H_0}^H \frac{dH}{\sqrt{L+H}} = \\ &= \frac{2}{3} \cdot \left((H+L)^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right) - 2 \cdot L \cdot (\sqrt{L+H} - \sqrt{H_0+L}) \end{aligned} \quad (\text{И.2})$$

где учтено выражение интеграла (И.1).

Интеграл в третьем слагаемом преобразуем к виду

$$\begin{aligned} \int_{H_0}^H \frac{H^2 \cdot dH}{\sqrt{L+H}} &= \int_{H_0}^H \frac{\left((H+L)^2 \cdot 2 \cdot H \cdot L - L^2 \right) dH}{\sqrt{L+H}} = \\ &= \int_{H_0}^H (H+L)^{\frac{3}{2}} dH - 2 \cdot L \cdot \int_{H_0}^H \frac{HdH}{\sqrt{L+H}} - L^2 \cdot \int_{H_0}^H \frac{dH}{\sqrt{L+H}} \end{aligned} \quad (\text{И.3})$$

Два последних интеграла (И.3) вычислены в (И.1) и (И.2). Вычислим первый интеграл. Он получился табличным

$$\int_{H_0}^H (H+L)^{\frac{3}{2}} dH = \frac{2}{5} \cdot \left((H+L)^{\frac{5}{2}} - (H_0+L)^{\frac{5}{2}} \right)$$

В результате имеем

$$\int_{H_0}^H \frac{H^2 dH}{\sqrt{L+H}} = \frac{2}{5} \cdot \left((H+L)^{\frac{5}{2}} - (H_0+L)^{\frac{5}{2}} \right) -$$

$$\begin{aligned}
& -2 \cdot L \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \left((H+L)^{\frac{3}{2}} - (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right) - 2 \cdot L \cdot \left(\sqrt{L+H} - \sqrt{H_0+L} \right) \right) - \\
& -2 \cdot L^2 \cdot \left(\sqrt{L+H} - \sqrt{H_0+L} \right) = \frac{2}{5} \cdot \left((H+L)^{\frac{5}{2}} - (H_0+L)^{\frac{5}{2}} \right) - \\
& -\frac{4}{3} \cdot L \cdot \left[(H+L)^{\frac{3}{2}} - 2 \cdot (H_0+L)^{\frac{3}{2}} \right] + 2 \cdot L^2 \cdot \left(\sqrt{H+L} - \sqrt{H_0+L} \right) \quad (\text{И.4})
\end{aligned}$$

Интеграл $\int_0^H \frac{dH}{a - \sqrt{L+H}}$ заменой переменной $H+L=U^2$ приводиться к виду

$$-\int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{2 \cdot U \cdot dU}{U-a} = -2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{(U-a+a)dU}{U-a} = -2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} dU - 2 \cdot a \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{U-a}$$

В итоге имеем

$$\begin{aligned}
\int_0^H \frac{dH}{a - \sqrt{H+L}} &= -2 \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \left(\ln(\sqrt{H+L}-a) - \ln(\sqrt{L}-a) \right) \right] = \\
&= -2 \cdot \left(\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right) \quad (\text{И.5})
\end{aligned}$$

Интеграл от второго слагаемого

$$\int_0^H \frac{H \cdot dH}{a - \sqrt{H+L}} = \int_0^H \frac{(H+L-L)dH}{a - \sqrt{H+L}} = \int_0^H \frac{(H+L)d(H+L)}{a - \sqrt{H+L}} - L \cdot \int_0^H \frac{dH}{a - \sqrt{H+L}} \quad (\text{И.6})$$

Интеграл от второго слагаемого в (И.6) уже вычислен в (И.5). Первый интеграл с помощью подстановки $H+L=U^2$ приведем к виду

$$-2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^3 dU}{U-a} = -2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{\left((U-a)^3 + 3 \cdot U^2 \cdot a - 3 \cdot U \cdot a^2 + a^3 \right) dU}{U-a} =$$

$$= -2 \cdot \left[\int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^2 dU + 3 \cdot a \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^2 dU}{U-a} - 3 \cdot a^2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U dU}{U-a} + a^3 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{U-a} \right]$$

Интеграл в первом слагаемом

$$\int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^2 dU = \frac{1}{3} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^3 - (\sqrt{L}-a)^3 \right] \quad (\text{И.7})$$

Интеграл во втором слагаемом преобразуем к виду

$$\begin{aligned} \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^2 dU}{U-a} &= \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{[(U-a)^2 + 2 \cdot U \cdot a - a^2] dU}{U-a} = \\ &= \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a) dU + 2 \cdot a \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U dU}{U-a} - a^2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{U-a} \end{aligned}$$

Где каждый из интегралов является табличным

$$\begin{aligned} \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a) dU &= \frac{1}{2} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^2 - (\sqrt{L}-a)^2 \right] \\ \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U dU}{U-a} &= \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{(U-a+a) dU}{U-a} = \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} dU + a \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{U-a} = \\ &= \sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \end{aligned} \quad (\text{И.8})$$

В итоге получим

$$\begin{aligned} \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^2 dU}{U-a} &= \frac{1}{2} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^2 - (\sqrt{L}-a)^2 \right] + \\ &+ 2 \cdot a \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] - a^2 \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \end{aligned} \quad (\text{И.9})$$

Подставим (И.5), (И.7), (И.8), (И.9) в (И.6), в результате получим

$$\begin{aligned} \int_0^H \frac{HdH}{a-\sqrt{H+L}} = & -2 \cdot \left\{ \frac{1}{3} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^3 - (\sqrt{L}-a)^3 \right] + \right. \\ & 3 \cdot a \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^2 - (\sqrt{L}-a)^2 \right] + 2 \cdot a \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] - \right. \\ & \left. \left. - a^2 \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right\} - 3 \cdot a^2 \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] + a^3 \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right\} + \\ & \left. + 2 \cdot L \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] \right\} \end{aligned}$$

После приведения подобных членов окончательно имеем

$$\begin{aligned} \int_0^H \frac{HdH}{a-\sqrt{H+L}} = & -2 \cdot \left\{ \frac{1}{3} \cdot \left[(\sqrt{H+L}-a)^3 - (\sqrt{L}-a)^3 \right] + 3 \cdot a \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left((\sqrt{H+L}-a)^2 - (\sqrt{L}-a)^2 \right) \right] + \right. \\ & \left. + 3 \cdot a^2 \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] - 2 \cdot a^3 \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} - \right. \\ & \left. - L \cdot \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \cdot \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] \right\} \end{aligned} \quad (\text{И.10})$$

Интеграл от третьего слагаемого в (3.33) (глава 3)

$$\begin{aligned} \int_0^H \frac{H^2 dH}{a-\sqrt{H+L}} = & \int_0^H \frac{[(H+L)^2 - 2 \cdot H \cdot L - L^2] dH}{a-\sqrt{H+L}} = \\ = & \int_0^H \frac{(H+L)^2 d(H+L)}{a-\sqrt{H+L}} - 2L \int \frac{HdH}{a-\sqrt{H+L}} - L^2 \int \frac{dH}{a-\sqrt{H+L}} \end{aligned} \quad (\text{И.11})$$

В (И.11) 2-ой и 3-ий интегралы вычислены выше. Первый интеграл подстановкой $H+L=U^2$ приводится к виду:

$$\begin{aligned}
-2 \cdot \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^5 dU}{U-a} &= -2 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{\left((U-a)^5 + 5 \cdot U^4 \cdot a - 10 \cdot U^3 \cdot a^2 + 10 \cdot U^2 \cdot a^3 - 5 \cdot U \cdot a^4 + a^5 \right) dU}{U-a} = \\
&= -2 \cdot \left\{ \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^4 dU + \right. \\
&+ \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{\left(5a \left[(U-a)^4 + 4U^3 a - 6U^2 a^2 + 4U a^3 - a^4 \right] - 10U^3 a^2 + 10U^2 a^3 - 5U a^4 + a^5 \right) dU}{U-a} \left. \right\} \\
&= -2 \left\{ \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^4 dU + 5a \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^3 dU + 10a^2 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^3 dU}{U-a} - \right. \\
&\quad \left. - 20a^3 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^2 dU}{U-a} + 15a^4 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U dU}{U-a} - 4a^5 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{U-a} \right\} \quad (\text{И.12})
\end{aligned}$$

Используя равенства (И.7 – И.9) имеем

$$\int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^3 dU}{U-a} = \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} (U-a)^2 dU + 3a \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^2 dU}{U-a} - 3a^2 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U dU}{U-a} + a^3 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{dU}{u-a} =$$

$$\begin{aligned}
\int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^3 dU}{U-a} &= \frac{1}{3} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^3 - \left(\sqrt{L} - a \right)^3 \right] + 3a \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] + \right. \\
&+ 2a \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right] - a^2 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \left. \right\} - \\
&- 3a^2 \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right] + a^3 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} =
\end{aligned}$$

$$\frac{1}{3} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^3 - \left(\sqrt{L} - a \right)^3 \right] + \frac{3}{2} a \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] +$$

$$+3a^2 \left(\sqrt{H+L} - \sqrt{L} \right) + a^3 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \quad (\text{И.13})$$

Полученные выражения интегралов (И.8), (И.9), (И.13) подставим в (И.12)

$$\begin{aligned} -2 \int_{\sqrt{L}}^{\sqrt{H+L}} \frac{U^5 dU}{U-a} = & -2 \left\{ \frac{1}{5} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^5 - \left(\sqrt{L} - a \right)^5 \right] + \frac{5}{4} a \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^4 - \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(\sqrt{L} - a \right)^4 \right] + 10a^2 \left\{ \frac{1}{3} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^3 - \left(\sqrt{L} - a \right)^3 \right] + \frac{3}{2} a \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] + 3a^2 \left(\sqrt{H+L} - \sqrt{L} \right) + a^3 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right\} - 20a^3 \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] + 2a \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} \right] + a^2 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right\} + 15a^4 \left\{ \sqrt{H+L} - \sqrt{L} + \right. \\ & \left. + a \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right\} - 4a^5 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \quad (\text{И.14}) \end{aligned}$$

Подставим (И.14), (И.10) и (И.6) в (И.11). В результате получим

$$\begin{aligned} \int_0^H \frac{H^2 dH}{a - \sqrt{H+L}} = & -2 \left\{ \frac{1}{5} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^5 - \left(\sqrt{L} - a \right)^5 \right] + \right. \\ & \frac{5}{4} a \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^4 - \left(\sqrt{L} - a \right)^4 \right] + \frac{10}{3} a^2 \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^3 - \left(\sqrt{L} - a \right)^3 \right] + \\ & 5a^3 \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] + 5a^4 \left(\sqrt{H+L} - \sqrt{L} \right) + a^5 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} + a} - \\ & -2L \left\{ \frac{1}{3} \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^3 - \left(\sqrt{L} - a \right)^3 \right] + \frac{3}{2} a \left[\left(\sqrt{H+L} - a \right)^2 - \left(\sqrt{L} - a \right)^2 \right] + \right. \\ & \left. + 3a^2 \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} \right] - 2a^3 \ln \frac{\sqrt{H+L} - a}{\sqrt{L} - a} - \right. \end{aligned}$$

$$-L \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] - L^2 \left[\sqrt{H+L} - \sqrt{L} + a \ln \frac{\sqrt{H+L}-a}{\sqrt{L}-a} \right] \quad (\text{И.15})$$

$$\begin{aligned} \int_0^L \rho(y) dy &= \frac{1}{L} \int_0^L (\rho_0(L-y) + \rho_\kappa y) dy = \\ &= \frac{1}{L} \left[\rho_0 \left(L^2 - \frac{1}{2} L^2 \right) + \rho_\kappa \frac{1}{2} L^2 \right] = \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} L \end{aligned} \quad (\text{И.16})$$

$$\begin{aligned} \int_y^L \rho(\xi) d\xi &= \frac{1}{L} \int_y^L (\rho_0(L-\xi) + \rho_\kappa \xi) d\xi = \\ &= \frac{1}{L} \left[\rho_0 \left(L(L-y) - \frac{1}{2} (L^2 - y^2) \right) + \rho_\kappa \frac{1}{2} (L^2 - y^2) \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} L^2 - \rho_0 Ly + \frac{\rho_0 - \rho_\kappa}{2} y^2 \right] \end{aligned} \quad (\text{И.17})$$

Разрешив равенство (3.8) (глава 3) относительно y получим

$$y = \frac{L\rho_0}{\rho_0 - \rho_\kappa} \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} \quad (\text{И.18})$$

Подставим (И.18) в (И.17)

$$\begin{aligned} \int_y^L \rho(\xi) d\xi &= \frac{1}{L} \left[\frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} L^2 - \frac{\rho_0^2 L^2}{\rho_0 - \rho_\kappa} \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} + \frac{\rho_0 - \rho_\kappa}{2} \frac{L^2 \rho_0^2}{(\rho_0 - \rho_\kappa)^2} \frac{(r^2 - r_0^2)^2}{(r^2 - R^2)^2} \right] = \\ &= L \left[\frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} - \frac{\rho_0^2}{\rho_0 - \rho_\kappa} \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} + \frac{\rho_0^2}{2(\rho_0 - \rho_\kappa)} \frac{(r^2 - r_0^2)^2}{(r^2 - R^2)^2} \right] \end{aligned} \quad (\text{И.19})$$

$$M_2 = f 2\pi g L \int_{r_0}^{r_\kappa} r^2 \left[\frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} - \frac{\rho_0^2}{\rho_0 - \rho_\kappa} \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} + \frac{\rho_0^2}{2(\rho_0 - \rho_\kappa)} \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} \right] dr =$$

$$= f 2\pi g L \left\{ \frac{\rho_0 + \rho_\kappa}{2} \frac{1}{3} (r_\kappa^3 - r_0^3) - m \int_{r_0}^{r_\kappa} r^2 \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} dr + \frac{m}{2} \int_{r_0}^{r_\kappa} r^2 \left(\frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} \right)^2 dr \right\} \quad (\text{И.20})$$

где, $m = \frac{\rho_0^2}{\rho_0 - \rho_\kappa}$

Вычислим интегралы $\int_{r_0}^{r_\kappa} r^2 \left(\frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} \right)^2 dr = \int_{r_0}^{r_\kappa} r^2 \left(1 - \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 - R^2} \right)^2 dr =$

$$= \int_{r_0}^{r_\kappa} \left[r^2 - 2a \frac{r^2}{r^2 - R^2} + \frac{a^2 r^2}{(r^2 - R^2)^2} \right] dr =$$

$$= \int_{r_0}^{r_\kappa} \left[r^2 - 2a \left(1 + \frac{R^2}{r^2 - R^2} \right) + a^2 \left(\frac{1}{r^2 - R^2} + \frac{R^2}{(r^2 - R^2)^2} \right) \right] dr =$$

$$= \frac{1}{3} (r_\kappa^3 - r_0^3) - 2a (r_\kappa - r_0) - a (2R^2 - a) \int_{r_0}^{r_\kappa} \frac{dr}{(r^2 - R^2)} + a^2 R^2 \int_{r_0}^{r_\kappa} \frac{dr}{(r^2 - R^2)^2} \quad (\text{И.21})$$

где, $a = r_0^2 - R^2$

Известно, что

$$\int_{r_0}^{r_\kappa} \frac{dr}{(r^2 - R^2)} = \frac{1}{2R} \ln \frac{(r_\kappa - R)(r_0 + R)}{(r_0 - R)(r_\kappa + R)} \quad (\text{И.22})$$

Во втором интеграле сделаем замену переменной

$$r = R \operatorname{tg} \varphi, \quad dr = R \frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi}, \quad \text{отсюда находим } r_0 = R \operatorname{tg} \varphi_0, \quad \varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R},$$

$$\varphi_\kappa = \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R}, \quad r^2 - R^2 = R^2 (\operatorname{tg}^2 \varphi - 1) = -\frac{\cos 2\varphi}{\cos^2 \varphi} R^2$$

Тогда

$$\int_{r_0}^{r_\kappa} \frac{dr}{(r^2 - R^2)^2} = \frac{1}{R^3} \int_{\varphi_0}^{\varphi_\kappa} \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 2\varphi} d\varphi = \frac{1}{2R^3} \int_{\varphi_0}^{\varphi_\kappa} \frac{(1 + \cos 2\varphi) d\varphi}{\cos^2 2\varphi} =$$

$$= \frac{1}{2R^3} \left[\int_{\varphi_0}^{\varphi_\kappa} \frac{d2\varphi}{2 \cos^2 2\varphi} + \int_{\varphi_0}^{\varphi_\kappa} \frac{d2\varphi}{2 \cos 2\varphi} \right] = \frac{1}{4R^3} \left[\operatorname{tg} 2\varphi_\kappa - \operatorname{tg} 2\varphi_0 + \ln \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \varphi_\kappa \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \varphi_0 \right)} \right] =$$

$$= \frac{1}{4R^3} \left[\operatorname{tg} \left(2 \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right) - \operatorname{tg} \left(2 \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right) + \ln \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_\kappa}{R} \right)}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{r_0}{R} \right)} \right] \quad (\text{И.23})$$

Результаты исследований по определению критерия достаточности микронизации фуражного зерна. Критерий достаточности микронизации определяли по усилию разрушения 50 зерен (пшеница, сорт «Московская – 39»; ячмень, сорт «Данута»; овес, сорт «Скакун»).

Таблица К.1 – Изменение усилия разрушения 50 зерен пшеницы от времени микронизации и высоты расположения лампы ИК-излучения.

Культура – Пшеница							
Время t, с	Высота, м						
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
Усилие разрушения, Н							
0	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34
10	688,38	680,69	678,49	673,01	647,72	631,24	621,35
15	673	669,71	658,71	644,42	623,54	609,26	563,12
20	640,03	633,43	624,64	602,66	587,28	551,01	537,82
25	637,83	618,05	607,06	572,98	523,53	514,74	516,94
30	587,28	575,19	563,11	552,11	502,65	423,52	394,95
35	579,58	553,21	544,42	523,53	427,92	398,25	315,82
40	572,97	542,22	526,83	505,95	357,59	350,98	269,67
45	527,93	525,73	497,16	424,62	267,47	255,38	218,01
50	375,17	369,67	359,78	352,09	193,83	192,74	171,85
55	349,89	345,51	336,71	330,11	-	-	-
60	308,13	302,64	291,65	276,26	-	-	-
65	281,75	278,46	272,96	265,27	-	-	-
70	229	226,81	223,51	193,83	-	-	-
75	211,42	218,02	214,72	-	-	-	-
80	188,34	181,75	179,55	-	-	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица К.2 – Изменение усилия разрушения 50 зерен ячменя от времени микронизации и высоты расположения лампы ИК-излучения.

Культура – Ячмень							
Время t, с	Высота, м						
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
Усилие разрушения, Н							
0	801,505	801,505	801,505	801,505	801,505	801,505	801,505
10	794,32	793,614	792,216	791,111	790,301	788,845	754,015
15	789,256	774,659	765,684	762,259	755,367	750,026	632,674
20	782,903	757,626	745,537	742,24	740,042	736,745	576,291
25	745,537	742,24	734,547	716,963	714,765	572,994	511,45
30	719,161	662,013	679,597	673,003	620,251	520,242	487,272
35	642,231	631,241	619,152	607,063	596,073	453,203	448,807
40	616,954	594,974	585,083	563,103	527,935	430,124	401,55
45	575,192	563,103	530,133	525,737	430,124	358,689	332,313
50	556,509	551,014	437,817	414,738	382,867	331,214	305,937
55	545,519	514,747	353,194	350,996	318,026	270,769	236,7
60	530,133	498,262	348,798	278,462	267,472	193,839	149,879
65	520,242	454,302	337,808	234,502	225,71	148,78	-
70	497,163	434,52	331,214	213,621	204,829	-	-
75	463,094	400,451	323,521	191,641	167,463	-	-
80	434,52	376,273	277,363	168,562	139,988	-	-
85	379,57	343,303	239,997	-	-	-	-
90	345,501	305,937	192,74	-	-	-	-
95	324,62	278,462	-	-	-	-	-
100	276,264	219,116	-	-	-	-	-
105	216,918	203,73	-	-	-	-	-
110	160,869	149,879	-	-	-	-	-
115	135,592	757,626	-	-	-	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица К.3 – Изменение усилия разрушения 50 зерен овса от времени микронизации и высоты расположения лампы ИК-излучения.

Культура – Овес							
Время t, с	Высота, м						
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
Усилие разрушения, Н							
0	654,348	654,348	654,348	654,348	654,348	654,348	654,348
10	648,326	646,235	644,228	641,15	637,287	630,287	621,684
15	640,948	624,269	608,277	602,975	597,017	587,285	551,649
20	637,835	613,657	587,281	591,677	576,291	576,291	527,935
25	593,875	580,687	558,707	585,083	544,42	523,539	429,025
30	589,479	576,291	498,262	493,866	488,371	461,995	422,431
35	583,984	572,994	453,203	443,312	445,51	419,134	327,917
40	571,895	569,697	437,817	421,332	423,53	321,323	247,69
45	527,935	525,737	382,867	364,184	327,917	279,561	188,344
50	501,559	492,767	353,194	324,62	231,205	229,007	-
55	497,163	485,074	313,63	267,472	212,522	208,126	-
60	486,173	478,48	286,373	250,987	193,839	191,641	-
65	408,144	400,451	252,086	243,294	-	-	-
70	323,521	315,828	236,7	204,829	-	-	-
75	302,64	298,244	203,73	-	-	-	-
80	288,353	283,957	-	-	-	-	-
85	212,522	210,324	-	-	-	-	-
90	192,74	-	-	-	-	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Результаты исследований по определению оптимального зазора и производительность между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателя.

Таблица Л.1 – Определение оптимального зазора, от времени истечения фуражного зерна в зазоре между кварцевым стеклом и металлическим кожухом отражателя.

Расстояние зазора, мм	Ячмень			Пшеница			Овес		
	Пропускаемая масса, кг	Время прохождения, с	Производитель ность, кг/с	Пропускаемая масса, кг	Время прохождения, с	Производитель ность, кг/с	Пропускаемая масса, кг	Время прохождения, с	Производитель ность, кг/с
15	3,385	9,6	0,352	1,52	3,4	0,447	1,87	3,8	0,492
14	3,393	10,4	0,326	1,54	3,6	0,427	1,92	4,12	0,466
13	3,368	10,5	0,32	1,55	3,8	0,407	1,94	4,3	0,451
12	3,28	11,9	0,275	1,54	4,1	0,375	1,82	4,5	0,404
11	3,298	12,4	0,265	1,534	4,7	0,326	1,76	5,1	0,345
10	3,25	19	0,171	1,542	6,5	0,237	1,82	6,32	0,287
9	2,45	29,7	0,082	1,546	9	0,171	1,84	7,6	0,242
8	Прекращается попадание зерна в зазор			1,575	16,7	0,0943	1,8	11,8	0,152
7				Прекращается попадание зерна в зазор			1,81	16,1	0,112
6	-	-	-	-	-	-	Прекращается попадание зерна в зазор		

Результаты исследований по определению критерию достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости от толщины кварцевого стекла.

Таблица М.1 – Критерий достаточности микронизации (F , H) пшеницы в зависимости от толщины кварцевого стекла.

t, сек	Пластина 4 мм	Пластина 6 мм	Пластина 8 мм
0	702,34	702,676	702,676
5	702,676	678,498	686,191
10	600,469	653,221	673,003
15	563,103	635,637	656,518
20	543,321	602,667	642,231
25	533,43	581,786	616,954
30	507,054	563,103	597,172
35	494,965	537,826	583,984
40	463,094	503,757	563,103
45	451,005	478,48	546,618
50	433,421	443,312	523,539
55	423,53	427,926	507,054
60	411,441	408,144	494,965
65	405,946	386,164	485,074
70	353,194	367,481	471,886
75	324,62	345,501	461,995
80	278,462	312,531	453,203
85	231,205	287,254	441,114
90	225,71	254,284	427,926
95	218,017	252,086	413,639
100	213,621	248,789	389,461
105	208,126	243,294	375,174
110	201,532	239,997	356,491
115	198,235	236,7	334,511
120	193,839	232,304	323,521
125	189,443	227,908	305,937
130	186,146	222,413	281,759
135	180,651	216,918	257,581
140	172,958	210,324	246,591
145	169,661	202,631	232,304
150	166,364	196,037	227,908
155	163,067	189,443	223,512
160	160,869	183,948	219,116

Продолжение таблицы М.1.

165	-	178,453	213,621
170	-	174,057	208,126
175	-	-	202,631
180	-	-	196,037
185	-	-	189,443
190	-	-	183,948
195	-	-	169,661
200	-	-	161,968

Таблица М.2 – Критерий достаточности микронизации (F , H) ячменя в зависимости от толщины кварцевого стекла.

t, сек	Пластина 4 мм	Пластина 6 мм	Пластина 8 мм
0	791,695	791,695	791,695
5	771,913	774,111	774,111
10	748,834	751,032	766,418
15	727,953	732,349	740,042
20	700,478	697,181	709,27
25	680,696	678,498	690,587
30	654,32	649,924	673,003
35	631,241	629,043	654,32
40	614,756	609,261	645,528
45	583,984	585,083	625,746
50	566,4	565,301	604,865
55	552,113	551,014	583,984
60	533,43	533,43	569,697
65	507,054	508,153	546,618
70	487,272	488,371	531,232
75	461,995	468,589	523,539
80	508,153	454,302	507,054
85	496,064	442,213	487,272
90	479,579	438,916	468,589
95	461,995	432,322	460,896
100	441,114	427,926	451,005
105	415,837	422,431	431,223
110	379,57	411,441	421,332
115	357,59	398,253	413,639
120	341,105	386,164	400,451
125	326,818	376,273	386,164
130	312,531	363,085	376,273
135	281,759	341,105	369,679
140	259,779	334,511	357,59
145	221,314	327,917	348,798
150	204,829	313,63	343,303

Продолжение таблицы М.2.

155	159,77	283,957	338,907
160	137,79	257,581	318,026
165	202	275	302,64
170	-	205,928	269,67
175	-	160,869	250,987
180	-	138,889	225,71
185	-	0,415	203,73
190	-	-	180,651
195	-	-	171,859
200	-	-	137,79

Таблица М.3. – Критерий достаточности микронизации (F , H) овса в зависимости от толщины кварцевого стекла.

t, сек	Пластина 4 мм	Пластина 6 мм	Пластина 8 мм
0	626,845	626,845	626,845
5	615,855	617,935	616,954
10	594,974	597,054	599,37
15	587,281	589,361	588,38
20	575,192	577,272	577,39
25	563,103	565,183	565,301
30	540,024	542,104	541,123
35	534,529	536,609	533,43
40	513,648	515,728	522,44
45	501,559	503,639	512,549
50	492,767	494,847	498,262
55	478,48	480,56	486,173
60	453,203	462,976	475,183
65	433,421	451,986	463,094
70	418,035	433,303	453,203
75	397,7035	421,214	442,213
80	392,2085	410,224	433,421
85	377,9215	399,234	421,332
90	371,3275	393,739	409,243
95	359,2385	379,452	400,451
100	347,1495	372,858	388,362
105	338,3575	360,769	374,075
110	328,4665	348,68	367,481
115	313,0805	339,888	355,392
120	306,4865	329,997	343,303
125	295,4965	314,611	334,511
130	280,66	308,017	324,62
135	274,066	297,027	309,234
140	260,878	284,938	302,64

Продолжение таблицы М.3.

145	248,789	272,849	291,65
150	224,611	259,661	281,759
155	216,918	235,483	271,868
160	204,829	218,998	257,581
165	192,74	210,206	247,69
170	183,948	194,82	226,809
175	167,463	182,731	214,72
180	-	167,345	202,631
185	-	-	188,344
190	-	-	180,651

Результаты исследований по определению критерия достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом, изменением мощности светового потока и от толщины кварцевого стекла. (пшеница, сорт «Московская – 39»).

Таблица Н.1 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной $1кВт$.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	702,34	702,34	702,34	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676
5	702,676	644,429	642,231	678,498	673,003	655,419	686,191	681,795	679,597
10	600,469	616,954	618,053	653,221	633,439	608,162	673,003	662,013	658,716
15	563,103	570,796	563,103	635,637	587,281	572,994	656,518	645,528	594,974
20	543,321	534,529	534,529	602,667	551,014	553,212	642,231	593,875	572,994
25	533,43	511,45	502,658	581,786	523,539	534,529	616,954	575,192	537,826
30	507,054	496,064	481,777	563,103	499,361	468,589	597,172	546,618	514,747
35	494,965	479,579	460,896	537,826	474,084	433,421	583,984	523,539	465,292
40	463,094	463,094	437,817	503,757	453,203	422,431	563,103	515,846	441,114
45	451,005	441,114	409,243	478,48	438,916	412,54	546,618	503,757	405,946
50	433,421	425,728	389,461	443,312	423,53	397,154	523,539	477,381	389,461
55	423,53	409,243	331,214	427,926	383,966	353,194	507,054	453,203	354,293
60	411,441	391,659	310,333	408,144	364,184	332,313	494,965	433,421	331,214
65	405,946	356,491	279,561	386,164	350,996	312,531	485,074	405,946	311,432
70	353,194	327,917	259,779	367,481	329,016	290,551	471,886	393,857	279,561
75	324,62	294,947	245,492	345,501	312,531	272,967	461,995	379,57	246,591
80	278,462	246,591	233,403	312,531	283,957	263,076	453,203	353,194	238,898
85	231,205	241,096	222,413	287,254	265,274	248,789	441,114	336,709	227,908
90	225,71	236,7	213,621	254,284	258,68	235,601	427,926	315,828	221,314
95	218,017	233,403	208,126	252,086	248,789	229,007	413,639	285,056	216,918
100	213,621	226,809	202,631	248,789	236,7	223,512	389,461	258,68	211,423
105	208,126	221,314	197,136	243,294	230,106	216,918	375,174	241,096	199,334
110	201,532	216,918	190,542	239,997	221,314	211,423	356,491	226,809	196,037
115	198,235	213,621	185,047	236,7	208,126	202,631	334,511	213,621	190,542
120	193,839	208,126	175,156	232,304	199,334	190,542	323,521	205,928	186,146

Продолжение таблицы Н.1.

125	189,443	203,73	165,265	227,908	196,037	177,354	305,937	200,433	183,948
130	186,146	197,136	-	222,413	190,542	-	281,759	196,037	175,156
135	180,651	190,542	-	216,918	185,047	-	257,581	190,542	169,661
140	172,958	185,047	-	210,324	180,651	-	246,591	185,047	164,166
145	169,661	178,453	-	202,631	176,255	-	232,304	177,354	-
150	166,364	174,057	-	196,037	172,958	-	227,908	175,156	-
155	163,067	171,859	-	189,443	167,463	-	223,512	169,661	-
160	160,869	-	-	183,948	160,869	-	219,116	159,77	-
165	-	-	-	178,453	-	-	213,621	-	-
170	-	-	-	174,057	-	-	208,126	-	-
175	-	-	-	-	-	-	202,631	-	-
180	-	-	-	-	-	-	196,037	-	-
185	-	-	-	-	-	-	189,443	-	-
190	-	-	-	-	-	-	183,948	-	-
195	-	-	-	-	-	-	169,661	-	-
200	-	-	-	-	-	-	161,968	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.2 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной 0,75 кВт.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676
5	687,29	682,894	673,003	683,993	682,894	681,795	679,597	673,003	683,993
10	677,399	670,805	646,627	662,013	660,914	659,815	658,716	657,617	659,815
15	660,914	651,023	616,954	655,419	653,221	644,429	653,221	631,241	653,221
20	642,231	620,251	591,677	652,122	647,726	629,043	636,736	616,954	633,439
25	624,647	590,578	562,004	644,429	642,231	613,657	624,647	608,162	603,766
30	611,459	560,905	544,42	638,934	633,439	603,766	616,954	594,974	589,479
35	596,073	537,826	531,232	635,637	603,766	578,489	611,459	572,994	559,806
40	591,677	512,549	511,45	627,944	589,479	551,014	602,667	552,113	546,618
45	578,489	486,173	487,272	616,954	574,093	523,539	596,073	537,826	534,529
50	563,103	460,896	455,401	596,073	556,509	478,48	583,984	521,341	489,47
55	556,509	440,015	433,421	583,984	536,727	436,718	576,291	511,45	441,114
60	546,618	430,124	390,56	563,103	514,747	418,035	563,103	497,163	422,431
65	533,43	422,431	356,491	548,816	478,48	379,57	551,014	485,074	374,075
70	493,866	415,837	316,927	541,123	453,203	332,313	547,717	463,094	323,521
75	467,49	380,669	270,769	529,034	429,025	314,729	540,024	451,005	298,244
80	448,807	343,303	225,71	513,648	390,56	269,67	534,529	442,213	283,957
85	437,817	315,828	219,116	504,856	358,689	244,393	522,44	433,421	265,274

Продолжение таблицы Н.2.

90	423,53	279,561	202,631	490,569	329,016	218,017	514,747	422,431	246,591
95	356,491	244,393	192,74	465,292	303,739	204,829	503,757	374,075	234,502
100	319,125	234,502	190,542	438,916	275,165	191,641	489,47	329,016	221,314
105	291,65	221,314	186,146	423,53	266,373	177,354	478,48	312,531	216,918
110	257,581	216,918	180,651	402,649	254,284	175,156	467,49	294,947	205,928
115	236,7	210,324	174,057	363,085	236,7	169,661	453,203	279,561	198,235
120	225,71	202,631	166,364	318,026	216,918	164,166	441,114	254,284	190,542
125	214,72	187,245	-	279,561	208,126	1259,869	426,827	241,096	185,047
130	211,423	185,047	-	242,195	193,839	153,176	413,639	225,71	172,958
135	209,225	179,552	-	236,7	183,948	-	386,164	216,918	159,77
140	205,928	175,156	-	230,106	179,552	-	357,59	202,631	152,077
145	203,73	169,661	-	223,512	175,156	-	330,115	197,136	-
150	201,532	-	-	219,116	171,859	-	307,036	189,443	-
155	197,136	-	-	213,621	160,869	-	290,551	185,047	-
160	196,037	-	-	209,225	159,77	-	267,472	177,354	-
165	190,542	-	-	207,027	-	-	243,294	174,057	-
170	186,146	-	-	203,73	-	-	230,106	169,661	-
175	180,651	-	-	200,433	-	-	221,314	164,166	-
180	174,057	-	-	198,235	-	-	209,225	157,572	-
185	159,77	-	-	192,74	-	-	207,027	-	-
190	156,473	-	-	188,344	-	-	203,73	-	-
195	-	-	-	186,146	-	-	199,334	-	-
200	-	-	-	183,948	-	-	197,136	-	-
205	-	-	-	178,453	-	-	194,938	-	-
210	-	-	-	172,958	-	-	193,839	-	-
215	-	-	-	167,463	-	-	191,641	-	-
220	-	-	-	164,166	-	-	190,542	-	-
225	-	-	-	159,77	-	-	186,146	-	-
230	-	-	-	156,473	-	-	181,75	-	-
235	-	-	-	-	-	-	178,453	-	-
240	-	-	-	-	-	-	175,156	-	-
245	-	-	-	-	-	-	171,859	-	-
250	-	-	-	-	-	-	166,364	-	-
255	-	-	-	-	-	-	164,166	-	-
260	-	-	-	-	-	-	160,869	-	-
265	-	-	-	-	-	-	155,374	-	-
270	-	-	-	-	-	-	152,077	-	-
275	-	-	-	-	-	-	147,681	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.3 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной $0,5 \text{ кВт}$.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676	702,676
5	686,191	676,3	669,706	670,805	668,607	665,31	676,3	673,003	670,805
10	679,597	656,518	649,924	653,221	654,32	651,023	662,013	659,815	657,617
15	673,003	653,221	645,528	642,231	647,726	642,231	657,617	655,419	651,023
20	663,112	647,726	638,934	631,241	626,845	625,746	653,221	649,924	315,828
25	656,518	635,637	626,845	618,053	616,954	615,855	645,528	644,429	310,333
30	649,924	620,251	618,053	610,36	604,865	602,667	641,132	640,033	633,439
35	642,231	599,37	594,974	590,578	583,984	577,39	636,736	632,34	629,043
40	634,538	586,182	582,885	576,291	571,895	566,4	631,241	629,043	626,845
45	623,548	571,895	570,796	570,796	566,4	563,103	625,746	623,548	621,35
50	610,36	551,014	549,915	565,301	557,608	554,311	618,053	618,053	615,855
55	603,766	538,925	536,727	559,806	552,113	551,014	613,657	612,558	607,063
60	596,073	531,232	531,232	554,311	537,826	534,529	608,162	605,964	602,667
65	587,281	525,737	525,737	552,113	533,43	522,44	602,667	599,37	593,875
70	576,291	520,242	498,262	547,717	483,975	482,876	594,974	591,677	585,083
75	567,499	515,846	493,866	544,42	481,777	478,48	590,578	588,38	576,291
80	556,509	513,648	489,47	541,123	479,579	475,183	582,885	579,588	570,796
85	549,915	507,054	483,4255	536,727	475,183	470,787	568,598	564,202	560,905
90	544,42	502,658	478,48	530,133	471,886	465,292	551,014	546,618	544,42
95	534,529	498,262	474,084	520,242	467,49	456,5	541,123	540,024	534,529
100	525,737	493,866	470,787	514,747	463,094	441,114	530,133	536,727	526,836
105	520,242	489,47	465,292	508,153	460,896	437,817	526,836	513,648	498,262
110	507,054	483,975	460,896	497,163	456,5	432,322	522,44	504,856	492,767
115	501,559	479,579	453,203	493,866	452,104	426,827	519,143	501,559	489,47
120	493,866	474,084	446,609	491,668	448,807	424,629	514,747	493,866	485,074
125	486,173	470,787	438,916	486,173	441,114	420,233	511,45	489,47	481,777
130	478,48	465,292	434,52	482,876	436,718	416,936	508,153	485,074	478,48
135	469,688	459,797	432,322	478,48	430,124	412,54	504,856	481,777	472,985
140	461,995	454,302	427,926	474,084	427,926	409,243	502,658	477,381	470,787
145	454,302	448,807	422,431	471,886	424,629	405,946	497,163	471,886	464,193
150	448,807	442,213	404,847	467,49	420,233	401,55	493,866	467,49	458,698
155	438,916	440,015	376,273	463,094	416,936	398,253	489,47	459,797	453,203
160	433,421	426,827	363,085	459,797	412,54	392,758	483,975	453,203	440,015
165	427,926	423,53	335,61	453,203	404,847	375,174	472,985	446,609	424,629
170	422,431	418,035	321,323	448,807	385,065	350,996	459,797	441,114	398,253
175	415,837	392,758	302,64	441,114	375,174	314,729	440,015	434,52	392,758
180	407,045	358,689	265,274	436,718	350,996	300,442	426,827	426,827	381,768

Продолжение таблицы Н.3

185	393,857	325,719	239,997	430,124	331,214	277,363	422,431	412,54	374,075
190	382,867	309,234	221,314	424,629	316,927	260,878	412,54	398,253	363,085
195	369,679	274,066	215,819	412,54	301,541	245,492	409,243	392,758	350,996
200	353,194	259,779	208,126	407,045	286,155	238,898	400,451	376,273	330,115
205	346,6	241,096	203,73	390,56	266,373	225,71	397,154	368,58	313,63
210	332,313	224,611	198,235	481,777	253,185	219,116	386,164	349,897	301,541
215	322,422	219,6655	194,938	360,887	243,294	211,423	376,273	327,917	286,155
220	305,937	218,017	187,245	330,115	235,601	202,631	374,075	310,333	253,185
225	293,848	213,621	185,047	319,125	224,611	200,433	354,293	298,244	243,294
230	277,363	209,225	181,75	302,64	213,621	197,136	346,6	277,363	225,71
235	261,977	205,928	177,354	288,353	210,324	196,037	333,412	245,492	221,314
240	242,195	203,73	172,958	279,561	208,126	192,74	324,62	229,007	216,918
245	225,71	200,433	170,76	267,472	205,928	190,542	314,729	220,215	212,522
250	218,017	198,235	168,562	257,581	203,73	187,245	302,64	219,116	207,027
255	216,918	197,136	164,166	250,987	200,433	183,948	297,145	216,918	200,433
260	213,621	193,839	158,671	242,195	197,136	179,552	286,155	213,621	193,839
265	210,324	190,542	154,275	233,403	194,938	176,255	269,67	211,423	190,542
270	209,225	188,344	-	229,007	191,641	172,958	257,581	207,027	186,146
275	208,126	186,146	-	223,512	188,344	170,76	245,492	203,73	180,651
280	204,829	181,75	-	220,215	187,245	167,463	239,997	201,532	174,057
285	202,631	177,354	-	218,017	185,047	161,968	230,106	194,938	167,463
290	200,433	176,255	-	216,918	179,552	158,671	224,611	189,443	163,067
295	196,037	171,859	-	214,72	175,156	154,275	222,413	185,047	157,572
300	193,839	167,463	-	209,225	172,958	-	219,116	179,552	155,374
305	192,74	159,77	-	207,027	170,76	-	216,918	178,453	150,978
310	190,542	156,473	-	205,928	167,463	-	212,522	175,156	-
315	186,5856	-	-	202,631	165,265	-	209,225	172,958	-
320	185,047	-	-	198,235	155,374	-	203,73	168,562	-
325	181,75	-	-	194,938	152,077	-	200,433	166,364	-
330	177,354	-	-	192,74	148,78	-	199,334	163,067	-
335	175,5956	-	-	191,641	-	-	198,235	159,77	-
340	172,958	-	-	189,443	-	-	196,037	156,473	-
345	168,562	-	-	188,344	-	-	194,938	153,176	-
350	166,9135	-	-	186,146	-	-	191,641	150,978	-
355	166,364	-	-	180,651	-	-	189,443	-	-
360	161,968	-	-	179,552	-	-	187,245	-	-
365	159,2205	-	-	177,354	-	-	186,146	-	-
370	156,473	-	-	176,255	-	-	183,948	-	-
375	155,374	-	-	174,057	-	-	179,552	-	-
380	-	-	-	172,958	-	-	177,354	-	-
385	-	-	-	170,76	-	-	176,255	-	-
390	-	-	-	167,463	-	-	172,958	-	-
395	-	-	-	165,265	-	-	168,562	-	-
400	-	-	-	163,067	-	-	165,265	-	-
405	-	-	-	158,671	-	-	163,067	-	-

Продолжение таблицы Н.3

410	-	-	-	155,374	-	-	159,77	-	-
415	-	-	-	-	-	-	156,473	-	-
420	-	-	-	-	-	-	152,077	-	-
425	-	-	-	-	-	-	150,978	-	-
430	-	-	-	-	-	-	147,681	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.4 – Критерий достаточности микронизации ячменя (сорт «Данута») в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной 1кВт .

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695
5	771,913	770,814	768,616	774,111	769,715	767,517	774,111	774,111	768,616
10	748,834	747,735	743,339	751,032	742,24	736,745	766,418	763,121	737,844
15	727,953	714,765	712,567	732,349	726,854	722,458	740,042	737,844	725,755
20	700,478	681,795	679,597	697,181	713,666	709,27	709,27	704,874	709,27
25	680,696	662,013	659,815	678,498	670,805	691,686	690,587	687,29	668,607
30	654,32	649,924	648,825	649,924	657,617	680,696	673,003	670,805	653,221
35	631,241	626,845	623,548	629,043	642,231	653,221	654,32	648,825	641,132
40	614,756	603,766	599,37	609,261	614,756	596,073	645,528	638,934	609,261
45	583,984	572,994	568,598	585,083	579,588	576,291	625,746	620,251	576,291
50	566,4	557,608	555,41	565,301	552,113	549,915	604,865	599,37	549,915
55	552,113	541,123	513,648	551,014	530,133	519,143	583,984	582,885	530,133
60	533,43	492,767	499,361	533,43	496,064	482,876	569,697	566,4	497,163
65	507,054	442,213	488,371	508,153	475,183	448,807	546,618	544,42	476,282
70	487,272	423,53	481,777	488,371	459,797	425,728	531,232	529,034	470,787
75	461,995	400,451	442,213	468,589	445,51	410,342	523,539	497,163	459,797
80	508,153	387,263	426,827	454,302	427,926	397,154	507,054	475,183	448,807
85	496,064	380,669	389,461	442,213	412,54	382,867	487,272	453,203	431,223
90	479,579	368,58	343,303	438,916	400,451	366,382	468,589	441,114	420,233
95	461,995	353,194	334,511	432,322	385,065	356,491	460,896	429,025	411,441
100	441,114	346,6	329,016	427,926	376,273	347,699	451,005	420,233	397,154
105	415,837	329,016	293,848	422,431	368,58	340,006	431,223	411,441	378,471
110	379,57	312,531	266,373	411,441	359,788	326,818	421,332	391,659	358,689
115	357,59	293,848	231,205	398,253	352,095	312,531	413,639	376,273	346,6
120	341,105	274,066	175,156	386,164	341,105	302,64	400,451	367,481	330,115

Продолжение таблицы Н.4

125	326,818	248,789	143,285	376,273	320,224	293,848	386,164	358,689	312,531
130	312,531	221,314	-	363,085	301,541	285,056	376,273	349,897	270,769
135	281,759	201,532	-	341,105	274,066	272,967	369,679	332,313	213,621
140	259,779	197,136	-	334,511	254,284	250,987	357,59	313,63	132,295
145	221,314	185,047	-	327,917	226,809	219,116	348,798	278,462	-
150	204,829	167,463	-	313,63	208,126	180,651	343,303	221,314	-
155	159,77	136,691	-	283,957	166,364	141,087	338,907	181,75	-
160	137,79	-	-	257,581	132,295	-	318,026	134,493	-
165	-	-	-	222,413	-	-	302,64	-	-
170	-	-	-	205,928	-	-	269,67	-	-
175	-	-	-	160,869	-	-	250,987	-	-
180	-	-	-	138,889	-	-	225,71	-	-
185	-	-	-	0,415	-	-	203,73	-	-
190	-	-	-	-	-	-	180,651	-	-
195	-	-	-	-	-	-	171,859	-	-
200	-	-	-	-	-	-	137,79	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.5 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной 0,75 кВт.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695
5	781,804	780,705	782,903	782,024	781,804	779,606	784,002	783,453	778,507
10	758,725	757,626	752,131	759,824	756,527	751,032	760,923	760,374	755,428
15	746,636	745,537	741,141	744,438	741,141	740,042	744,438	742,68	738,943
20	731,25	730,151	729,052	732,349	727,953	726,854	733,448	731,69	726,854
25	714,765	712,567	705,973	712,567	709,27	703,775	715,864	713,666	711,468
30	693,884	692,785	689,488	694,104	690,587	687,29	694,983	690,038	687,29
35	667,508	665,31	659,815	664,211	662,013	656,518	665,31	686,741	668,607
40	644,429	646,627	642,231	645,528	641,132	638,934	647,726	644,429	636,736
45	625,746	623,548	616,954	623,548	621,35	613,657	624,647	621,35	616,954
50	603,766	598,271	593,875	602,667	600,469	585,083	599,37	594,974	593,875
55	570,796	566,4	560,905	569,697	567,499	555,41	568,598	563,103	559,806
60	551,014	547,717	542,222	549,915	546,618	531,452	553,212	549,915	546,618
65	537,826	533,43	523,539	536,727	535,628	490,569	546,618	536,727	533,43

Продолжение таблицы Н.5

70	522,44	507,054	496,064	529,034	520,242	467,49	541,123	519,143	516,945
75	513,648	486,173	472,765	524,638	511,45	448,807	535,628	514,747	507,054
80	504,856	471,886	451,005	520,242	502,658	435,619	530,133	507,274	496,284
85	489,47	464,193	434,52	510,351	486,173	427,926	525,737	502,658	489,47
90	470,787	456,5	425,728	504,856	469,688	415,837	520,242	494,416	481,777
95	456,5	446,609	416,936	497,163	455,401	403,748	514,747	490,569	475,183
100	447,708	433,421	409,243	492,767	445,51	397,154	510,351	483,975	469,688
105	438,916	423,53	401,55	483,975	434,52	390,56	503,317	478,48	463,094
110	433,421	414,738	392,758	478,48	424,629	383,966	497,163	471,886	456,5
115	424,629	409,243	383,966	470,787	411,441	368,58	490,569	468,589	449,906
120	415,837	400,451	377,372	453,203	407,045	363,085	485,074	460,896	443,312
125	408,144	391,659	368,58	441,114	397,154	353,194	483,096	453,203	435,179
130	403,748	383,966	361,986	432,322	387,263	346,6	475,623	442,213	422,431
135	398,253	379,57	346,6	425,728	381,768	341,105	471,446	434,52	415,837
140	392,758	372,976	331,214	413,639	375,174	335,61	463,314	422,431	409,243
145	385,065	367,481	329,456	401,55	367,481	331,214	457,159	413,639	403,748
150	382,867	359,788	316,927	394,956	363,085	327,917	449,906	409,243	400,451
155	376,273	353,194	290,551	387,263	356,491	324,62	444,411	404,847	393,967
160	371,328	341,105	264,175	381,768	349,897	315,828	437,817	398,253	385,175
165	360,887	327,038	231,205	371,877	343,303	302,64	434,52	394,956	383,417
170	353,194	312,531	192,74	365,283	326,818	285,056	422,431	389,461	376,493
175	346,6	291,65	172,958	357,59	312,531	258,68	416,936	381,768	370,778
180	338,907	254,284	164,166	352,095	286,155	229,007	409,243	374,075	360,997
185	329,016	223,512	148,78	344,402	255,383	208,126	404,847	369,679	353,634
190	315,828	202,631	139,988	338,907	221,314	139,988	400,451	357,59	349,897
195	296,046	167,463	-	334,511	210,324	-	394,956	350,996	311,432
200	261,977	134,493	-	326,818	191,641	-	391,659	335,61	257,581
205	225,71	-	-	310,333	163,067	-	383,966	314,729	219,116
210	204,829	-	-	294,947	136,691	-	375,174	300,442	174,277
215	169,661	-	-	281,759	-	-	367,481	285,056	149,879
220	137,79	-	-	252,086	-	-	357,59	253,185	-
225	-	-	-	221,314	-	-	352,095	220,215	-
230	-	-	-	211,423	-	-	331,214	210,324	-
235	-	-	-	180,651	-	-	314,729	178,453	-
240	-	-	-	143,285	-	-	297,145	136,691	-
245	-	-	-	-	-	-	283,957	-	-
250	-	-	-	-	-	-	253,185	-	-
255	-	-	-	-	-	-	223,512	-	-
260	-	-	-	-	-	-	212,522	-	-
265	-	-	-	-	-	-	181,75	-	-
270	-	-	-	-	-	-	144,384	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.6 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности светового потока равной $0,5 \text{ кВт}$.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	791,695	791,695	791,695	791,695	791,695	793,845	791,695	791,695	791,695
5	781,474	776,309	783,122	779,715	777,408	772,964	781,905	782,4748	777,339
10	760,923	759,824	763,340	761,032	764,22	766,37	753,331	761,5938	761,953
15	752,131	741,141	741,360	743,448	747,735	746,588	745,638	742,9108	745,468
20	727,953	725,755	732,568	733,557	731,25	733,4	736,846	733,0198	731,181
25	709,27	708,171	714,984	717,072	714,765	707,024	721,460	716,5348	708,102
30	692,785	686,191	693,004	695,092	692,785	683,945	698,381	695,6538	689,419
35	660,914	659,815	662,232	665,419	662,013	669,658	667,609	665,9808	666,340
40	642,231	643,33	646,846	646,736	637,835	646,579	646,728	647,2978	642,162
45	501,559	615,855	623,767	624,756	602,667	608,114	622,550	625,3178	614,687
50	602,667	588,38	602,886	601,677	582,885	586,134	591,778	602,2388	589,410
55	565,301	569,697	577,609	568,707	571,895	570,748	570,897	569,2688	572,925
60	553,212	555,41	566,619	553,321	563,103	560,857	555,511	553,8828	557,539
65	548,486	551,014	555,629	546,727	555,41	555,362	548,917	549,4868	553,143
70	542,991	546,618	541,342	544,529	547,717	549,867	546,719	543,9918	548,747
75	537,496	538,925	534,748	531,341	542,222	546,57	533,531	538,4968	543,252
80	532,001	535,628	531,451	528,044	538,925	542,174	528,036	533,0018	539,955
85	529,803	529,034	527,055	526,945	533,43	535,58	523,640	530,8038	534,460
90	527,605	526,836	519,362	525,187	532,331	533,382	519,244	528,6058	531,163
95	523,209	522,44	513,867	523,648	530,133	528,986	525,838	524,2098	527,866
100	519,912	519,143	511,669	520,351	525,737	525,689	522,541	520,9128	524,569
105	515,516	516,395	503,976	513,757	520,242	521,293	515,947	516,5168	520,173
110	507,823	514,087	496,283	508,262	516,945	518,875	510,452	508,8238	516,876
115	505,625	508,482	489,689	506,064	514,747	516,897	508,254	506,6258	514,678
120	503,427	505,955	484,194	503,866	511,45	510,303	506,056	504,4278	509,183
125	496,833	501,559	481,996	500,569	508,153	507,006	502,759	497,8338	505,886
130	493,536	496,064	474,303	497,272	503,757	504,808	499,462	494,5368	503,688
135	486,942	486,173	464,412	492,876	493,866	496,016	495,066	487,9428	494,896
140	480,348	481,777	452,323	490,678	489,47	487,663	492,868	481,3488	487,203
145	475,952	474,084	446,828	486,282	481,777	482,168	488,472	476,9528	481,708
150	472,655	459,797	438,036	484,084	471,886	473,376	486,274	473,6558	472,916
155	468,259	454,302	434,739	481,886	464,193	458,65	484,076	469,2598	461,926
160	461,665	445,51	431,442	478,589	454,302	450,957	480,779	462,6658	455,332
165	456,170	419,134	429,244	475,292	445,51	445,462	477,482	459,3688	453,134
170	451,774	413,639	425,947	471,995	437,817	441,835	474,185	457,1708	448,738
175	446,389	408,144	420,452	468,698	435,619	437,769	470,888	454,753	443,243

Продолжение таблицы Н.6

180	437,487	400,451	416,056	463,203	431,223	435,571	465,393	449,258	437,748
185	434,190	397,154	410,561	457,708	425,728	431,175	459,898	445,6313	434,451
190	430,893	389,461	407,264	453,312	424,629	426,779	455,502	440,1363	432,253
195	428,695	381,768	402,868	447,817	420,233	422,383	452,205	436,8393	428,956
200	425,398	378,471	399,571	437,926	414,738	416,888	450,996	433,5423	424,560
205	419,903	375,174	396,274	433,530	409,243	412,492	447,699	429,1463	419,065
210	415,507	372,976	392,977	430,233	404,847	408,975	438,907	425,8493	413,570
215	410,012	368,58	386,164	428,035	401,55	405,898	435,610	420,3543	410,273
220	406,715	364,184	383,966	424,738	398,253	402,601	432,313	415,9583	405,877
225	402,319	360,887	378,471	419,243	394,956	399,304	430,115	410,4633	402,580
230	399,022	356,491	375,174	414,847	387,263	396,007	426,818	407,1663	399,283
235	395,725	353,194	370,778	409,352	383,966	381,72	421,323	402,7703	395,986
240	392,428	349,897	366,382	403,857	379,57	382,159	416,927	399,4733	389,392
245	385,834	346,6	357,59	401,659	375,174	378,972	411,432	396,1763	386,095
250	382,537	342,094	348,798	398,362	371,877	375,785	408,135	392,8793	380,600
255	377,042	340,006	337,808	395,065	368,58	368,532	403,739	386,2853	377,303
260	373,745	335,61	326,818	391,768	363,085	364,136	400,442	382,9883	372,907
265	364,953	330,005	319,125	385,174	358,689	360,179	397,145	377,4933	368,511
270	363,854	326,818	309,234	381,877	346,6	352,047	393,848	374,1963	361,917
275	361,656	320,224	304,838	376,382	340,006	341,606	388,353	369,8003	350,927
280	357,260	314,729	293,848	373,085	332,313	334,463	382,858	365,4043	342,135
285	351,765	310,333	286,155	368,689	326,818	322,374	377,363	362,1073	330,266
290	347,369	303,739	276,264	365,392	319,125	314,681	372,967	352,2163	321,474
295	333,082	294,947	257,581	359,897	304,838	306,988	366,373	336,8303	307,187
300	327,367	286,155	238,898	356,600	292,749	292,701	358,680	326,17	295,098
305	302,64	267,472	213,621	350,006	277,363	278,414	345,492	319,576	283,009
310	290,551	258,68	193,839	343,412	269,67	267,424	341,096	307,487	272,019
315	279,561	237,799	185,047	334,620	246,591	253,137	333,403	295,398	251,138
320	266,373	212,082	174,386	329,125	231,205	233,355	327,469	283,309	232,455
325	260,878	195,597	163,396	324,729	214,72	212,913	320,875	273,418	215,97
330	251,316	185,706	152,077	315,937	192,74	193,131	306,588	253,636	209,376
335	239,997	181,310	147,681	303,848	180,651	188,735	297,796	236,052	204,98
340	233,403	172,518	144,384	290,660	172,958	184,339	285,707	211,874	203,881
345	218,017	168,122	134,493	279,670	169,661	177,745	274,717	192,092	201,683
350	204,829	161,528	-	269,779	167,463	172,250	254,935	187,8059	198,386
355	191,641	154,934	-	251,096	164,166	163,458	235,153	183,3	193,99
360	180,651	149,439	-	233,512	160,869	157,963	210,975	176,706	190,693
365	168,562	139,548	-	211,532	156,473	153,567	191,193	172,31	187,396
370	157,572	130,756	-	192,849	152,077	148,072	187,896	170,112	185,198
375	155,374	-	-	180,760	148,78	140,379	185,698	165,716	181,901
380	152,077	-	-	170,869	145,483	133,785	182,401	163,518	175,307
385	147,681	-	-	162,077	143,065	-	179,104	162,419	168,713
390	144,384	-	-	157,681	141,087	-	177,895	158,023	165,416
395	141,087	-	-	152,186	138,889	-	175,807	154,726	161,02
400	136,691	-	-	140,097	136,691	-	171,411	149,231	154,426

Продолжение таблицы Н.6

405	-	-	-	137,899	-	-	168,114	143,736	148,931
410	-	-	-	135,701	-	-	165,916	141,538	143,436
415	-	-	-	133,503	-	-	162,619	140,439	139,04
420	-	-	-	131,305	-	-	157,124	138,241	132,446
425	-	-	-	129,107	-	-	153,827	132,746	-
430	-	-	-	126,909	-	-	150,53	128,35	-
435	-	-	-	-	-	-	146,134	-	-
440	-	-	-	-	-	-	142,837	-	-
445	-	-	-	-	-	-	140,639	-	-
450	-	-	-	-	-	-	138,441	-	-
455	-	-	-	-	-	-	132,946	-	-
460	-	-	-	-	-	-	130,748	-	-

* - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.7 – Критерий достаточности микронизации овса (сорт «Скакун») фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности лампы равной 1кВт .

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845
5	615,855	614,772	611,35	617,935	614,756	611,459	616,954	614,756	612,558
10	594,974	591,693	588,271	597,054	591,677	588,38	599,37	596,073	592,776
15	587,281	575,208	573,984	589,361	575,192	574,093	588,38	583,984	574,093
20	575,192	559,822	558,598	577,272	559,806	558,707	577,39	572,994	560,905
25	563,103	543,337	539,915	565,183	543,321	540,024	565,301	560,905	544,42
30	540,024	524,654	523,43	542,104	525,737	523,539	541,123	538,925	524,638
35	534,529	508,169	504,747	536,609	508,153	504,856	533,43	532,331	510,351
40	513,648	479,595	467,381	515,728	479,579	467,49	522,44	511,45	478,48
45	501,559	457,615	449,797	503,639	467,49	449,906	512,549	503,757	469,688
50	492,767	448,823	431,114	494,847	454,302	431,223	498,262	493,866	458,698
55	478,48	437,833	399,243	480,56	446,609	422,431	486,173	479,579	448,807
60	453,203	424,645	393,748	462,976	436,718	413,639	475,183	466,391	435,619
65	433,421	400,467	379,461	451,986	419,134	398,253	463,094	453,203	422,431
70	418,035	394,972	372,867	433,303	411,441	392,758	453,203	434,52	410,342
75	397,703	380,685	360,778	421,214	399,352	378,471	442,213	421,332	403,748
80	392,208	374,091	348,689	410,224	393,857	371,877	433,421	407,045	392,758
85	377,921	362,002	337,699	399,234	379,57	359,788	421,332	400,451	380,669
90	371,327	349,913	330,006	393,739	372,976	347,699	409,243	398,253	369,679
95	359,238	341,121	314,62	379,452	360,887	336,709	400,451	382,867	356,491
100	347,149	330,131	308,026	372,858	348,798	329,016	388,362	376,273	345,501

Продолжение таблицы Н.7

105	338,357	315,844	297,036	360,769	340,006	313,63	374,075	364,184	331,214
110	328,466	309,25	283,848	348,68	329,016	307,036	367,481	352,095	318,026
115	313,080	298,26	262,967	339,888	314,729	296,046	355,392	342,204	302,64
120	306,486	286,171	243,185	329,997	308,135	286,155	343,303	332,313	286,155
125	295,496	268,587	217,908	314,611	297,145	268,571	334,511	319,125	279,561
130	280,66	253,201	200,324	308,017	287,254	248,789	324,62	311,432	272,967
135	274,06	219,132	178,344	297,027	269,67	224,611	309,234	300,442	259,779
140	260,87	203,746	161,859	284,938	246,591	210,324	302,64	283,957	245,492
145	248,78	192,756	-	272,849	216,918	180,651	291,65	268,571	221,314
150	224,61	181,766	-	259,661	208,126	-	281,759	258,68	211,423
155	216,91	166,38	-	235,483	196,037	-	271,868	242,195	202,631
160	204,82	-	-	218,998	178,453	-	257,581	227,908	190,542
165	192,74	-	-	210,206	-	-	247,69	212,522	180,651
170	183,94	-	-	194,82	-	-	226,809	200,433	170,76
175	167,46	-	-	182,731	-	-	214,72	181,75	-
180	-	-	-	167,345	-	-	202,631	172,958	-
185	-	-	-	-	-	-	188,344	-	-
190	-	-	-	-	-	-	180,651	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.8 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности равной 0,75 кВт.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,85	626,845	626,85
5	618,053	616,954	611,459	615,855	615,855	615,855	619,15	614,756	607,06
10	596,073	597,172	592,776	264,175	599,37	596,073	602,67	602,667	590,58
15	588,38	586,182	580,687	583,984	589,479	589,479	589,48	598,271	581,79
20	576,291	575,192	569,697	571,895	577,39	575,192	582,89	592,776	571,9
25	564,202	563,103	557,608	557,608	566,4	555,41	562	587,281	566,4
30	541,123	538,925	535,628	540,024	543,321	534,529	546,62	576,291	556,51
35	535,628	533,43	529,034	530,133	529,034	524,638	538,93	570,796	544,42
40	514,747	513,648	507,054	511,45	519,143	498,262	533,43	560,905	537,83
45	502,658	504,856	498,262	501,559	501,559	485,074	521,34	548,816	531,23
50	493,866	494,965	490,569	492,767	488,371	478,48	510,35	540,024	523,54
55	479,579	480,678	476,282	474,084	481,777	470,787	504,86	533,43	508,15
60	463,094	467,49	463,094	460,896	468,589	460,896	498,26	522,44	502,66
65	451,005	454,302	449,906	453,203	459,797	447,708	488,37	512,549	494,97
70	432,322	435,619	430,124	445,51	446,609	438,916	480,68	503,757	485,07
75	422,431	422,431	419,134	434,52	438,916	430,124	472,99	491,668	472,99
80	421,332	413,639	410,342	429,025	322,422	422,431	466,39	478,48	460,9
85	415,837	407,045	403,748	423,53	423,53	412,54	457,6	466,391	447,71

Продолжение таблицы Н.8

90	409,243	401,55	386,164	419,134	415,837	404,847	446,61	452,104	432,32
95	404,847	397,154	378,471	414,738	409,243	397,154	436,72	436,718	420,23
100	396,055	391,659	371,877	408,144	404,847	388,362	429,03	423,53	411,44
105	389,461	385,065	358,689	401,55	399,352	380,669	422,43	414,738	403,75
110	376,273	376,273	345,501	397,154	393,857	374,075	410,34	408,144	390,56
115	366,382	369,679	329,016	391,659	387,263	360,887	405,95	401,55	382,87
120	356,491	357,59	324,62	378,471	378,471	347,699	398,25	397,154	375,17
125	349,897	343,303	318,026	368,58	371,877	332,313	392,76	392,758	361,99
130	335,61	335,61	312,531	358,689	359,788	326,818	379,57	379,57	348,8
135	321,323	323,521	304,838	352,095	345,501	320,224	369,68	372,976	333,41
140	316,927	314,729	300,442	337,808	337,808	314,729	359,79	360,887	327,92
145	312,531	302,64	294,947	323,521	325,719	307,036	353,19	346,6	321,32
150	307,036	293,848	290,551	319,125	316,927	302,64	338,91	340,006	315,83
155	302,64	283,957	274,066	314,729	304,838	297,145	324,62	326,818	308,14
160	294,947	272,967	264,175	309,234	296,046	292,749	321,32	318,026	303,74
165	290,551	265,274	248,789	304,838	286,155	275,165	315,83	305,937	298,24
170	281,759	258,68	234,502	297,145	274,066	265,274	310,33	297,145	293,85
175	272,967	246,591	225,71	292,749	266,373	249,888	305,94	287,254	280,66
180	265,274	237,799	216,918	282,858	259,779	235,601	299,34	277,363	267,47
185	258,68	223,512	207,027	274,066	247,69	226,809	293,85	268,571	252,09
190	252,086	212,522	200,433	266,373	238,898	218,017	285,06	261,977	237,8
195	244,393	202,631	190,542	259,779	224,611	208,126	277,36	249,888	229,01
200	236,7	193,839	186,146	253,185	213,621	201,532	269,67	241,096	220,22
205	224,611	183,948	178,453	245,492	203,73	191,641	263,08	226,809	210,32
210	213,621	175,156	169,661	237,799	194,938	187,245	257,58	215,819	203,73
215	204,829	168,562	163,067	225,71	185,047	179,552	247,69	205,928	194,94
220	192,74	160,869	-	214,72	176,255	170,76	240	197,136	189,44
225	178,453	-	-	205,928	169,661	164,166	227,91	187,245	181,75
230	165,265	-	-	193,839	161,968	-	216,92	178,453	172,96
235	-	-	-	179,552	-	-	208,13	171,859	167,46
240	-	-	-	166,364	-	-	196,04	164,166	-
245	-	-	-	-	-	-	181,75	-	-
250	-	-	-	-	-	-	168,56	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Таблица Н.9 – Критерий достаточности микронизации фуражного зерна в зависимости усилия разрушения (F , H) от высоты l расположения ламп над кварцевым стеклом и толщины кварцевого стекла, при мощности равной 0,5 кВт.

t, сек	Пластина 4 мм			Пластина 6 мм			Пластина 8 мм		
	Высота расположения ламп			Высота расположения ламп			Высота расположения ламп		
	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м	0,09 м	0,07 м	0,05 м
0	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,845	626,85
5	617,844	612,339	617,454	618,294	617,854	617,344	618,354	618,054	617,7
10	612,349	604,646	611,959	612,799	612,359	611,849	612,859	612,559	612,21

Продолжение таблицы Н.9

15	604,656	596,953	604,266	605,106	604,666	604,156	605,166	604,866	604,52
20	596,963	590,359	596,573	597,413	596,973	596,463	597,473	597,173	596,82
25	590,369	577,171	589,979	590,819	590,379	589,869	590,879	590,579	590,23
30	577,181	563,983	576,791	577,631	577,191	576,681	577,691	577,391	577,04
35	563,993	550,795	563,603	564,443	564,003	563,493	564,503	564,203	563,85
40	550,805	542,003	550,415	551,255	550,815	550,305	551,315	551,015	550,67
45	542,013	532,112	541,623	542,463	542,023	541,513	542,523	542,223	541,87
50	532,122	523,32	531,732	532,572	532,132	531,622	532,632	532,332	531,98
55	523,33	507,934	522,94	523,78	523,34	522,83	523,84	523,54	523,19
60	507,944	498,043	507,554	508,394	507,954	507,444	508,454	508,154	507,8
65	498,053	492,548	497,663	498,503	498,063	497,553	498,563	498,263	497,91
70	492,558	377,153	488,871	493,008	492,568	492,058	493,068	492,768	492,42
75	377,163	372,757	481,178	377,613	377,173	376,663	377,673	377,373	377,02
80	372,767	369,46	474,584	373,217	372,777	372,267	373,277	372,977	372,63
85	369,47	476,063	467,99	369,92	369,48	368,97	369,98	369,68	369,33
90	476,073	472,766	459,198	476,523	476,083	475,573	476,583	476,283	475,93
95	472,776	468,37	451,505	473,226	472,786	472,276	473,286	472,986	472,64
100	468,38	463,974	441,614	468,83	468,39	467,88	468,89	468,59	468,24
105	463,984	459,578	435,02	464,434	463,994	463,484	464,494	464,194	463,84
110	459,588	455,182	430,624	460,038	459,598	459,088	461,197	459,798	459,45
115	455,192	450,786	427,327	455,642	455,202	454,692	457,9	455,402	455,05
120	450,796	446,39	422,931	451,246	450,806	450,296	453,504	451,006	450,66
125	446,4	441,994	416,337	446,85	446,41	445,9	452,185	446,61	446,26
130	442,004	435,4	409,743	442,454	442,014	441,504	449,108	442,214	441,86
135	435,41	431,004	405,347	435,86	435,42	434,91	446,91	435,62	435,27
140	431,014	427,707	400,951	431,464	431,024	430,514	443,613	431,224	430,87
145	427,717	423,311	397,654	428,167	427,727	427,217	440,316	427,927	427,58
150	423,321	416,717	395,456	423,771	423,331	422,821	438,118	423,531	420,98
155	416,727	401,331	393,258	417,177	416,737	416,227	434,821	421,333	418,79
160	407,935	393,638	388,862	410,583	410,143	407,435	431,524	419,135	417,69
165	401,341	389,242	386,664	406,187	405,747	398,643	428,227	416,937	415,49
170	398,044	387,044	383,367	401,791	401,351	393,148	424,93	413,64	413,29
175	393,648	383,747	381,169	1,755	393,658	388,752	421,633	410,343	409,99
180	389,252	381,549	380,07	396,296	389,262	386,554	418,336	408,145	407,8
185	387,054	380,45	376,773	394,098	387,064	383,257	413,94	405,947	405,6
190	383,757	377,153	373,476	389,702	383,767	381,059	410,643	402,65	402,3
195	381,559	373,856	369,08	387,504	381,569	379,96	406,247	400,452	400,1
200	380,46	369,46	365,783	384,207	380,47	376,663	402,95	398,254	395,71
205	377,163	366,163	362,486	382,009	377,173	373,366	399,653	396,056	393,51
210	373,866	362,866	358,09	380,91	373,876	368,97	396,356	393,858	389,11
215	369,47	358,47	353,694	377,613	369,48	365,673	394,158	389,462	386,91
220	366,173	354,074	350,397	374,316	366,183	362,376	389,762	387,264	383,62
225	362,876	350,777	346,001	369,92	362,886	357,98	387,564	383,967	381,42
230	358,48	346,381	342,704	366,623	358,49	353,584	384,267	381,769	380,32
235	354,084	343,084	339,407	363,326	354,094	350,287	382,069	380,67	377,02
240	350,787	339,787	335,011	358,93	350,797	345,891	380,97	377,373	373,73
245	346,391	335,391	330,615	354,534	346,401	342,594	377,673	374,076	369,33

Продолжение таблицы Н.9

250	343,094	330,995	327,318	351,237	343,104	339,297	374,376	369,68	366,03
255	339,797	327,698	322,922	346,841	339,807	334,901	369,98	366,383	362,74
260	335,401	323,302	316,328	343,544	335,411	330,505	366,683	363,086	358,34
265	331,005	316,708	310,833	340,247	331,015	327,208	363,386	358,69	353,94
270	327,708	311,213	306,437	335,851	327,718	322,812	358,99	354,294	350,65
275	323,312	306,817	300,942	331,455	323,322	316,218	354,594	350,997	346,25
280	316,718	301,322	293,249	328,158	316,728	310,723	351,297	346,601	342,95
285	311,223	293,629	286,655	323,762	311,233	306,327	346,901	343,304	339,66
290	306,827	287,035	284,457	317,168	306,837	300,832	343,604	340,007	335,26
295	301,332	284,837	275,665	311,673	301,342	293,139	340,307	335,611	330,87
300	293,639	276,045	266,873	307,277	293,649	286,545	335,911	331,215	327,57
305	287,045	267,253	255,883	301,782	287,055	284,347	331,515	327,918	323,17
310	284,847	256,263	251,487	294,089	284,857	275,555	328,218	323,522	316,58
315	276,055	251,867	247,091	287,495	276,065	266,763	323,822	316,928	314,38
320	267,263	247,471	242,695	285,297	267,273	255,773	317,228	314,73	312,18
325	256,273	243,075	240,497	276,505	256,283	251,377	315,03	312,532	311,08
330	251,877	240,877	236,101	267,713	251,887	246,981	312,832	309,235	306,69
335	247,481	236,481	224,012	256,723	247,491	242,585	309,535	311,433	301,19
340	243,085	224,392	217,418	252,327	243,095	240,387	311,733	307,037	293,5
345	240,887	217,798	180,052	247,931	240,897	235,991	307,337	301,542	286,91
350	236,491	180,432	207,527	243,535	236,501	223,902	301,842	293,849	284,71
355	224,402	207,907	204,23	241,337	224,412	217,308	294,149	287,255	275,92
360	217,808	204,61	197,636	236,941	217,818	179,942	287,555	285,057	267,12
365	180,442	198,016	194,339	224,852	180,452	207,417	285,357	276,265	256,13
370	207,917	194,719	189,943	218,258	207,927	204,12	276,565	267,473	251,74
375	204,62	190,323	184,448	180,892	204,63	197,526	267,773	256,483	247,34
380	198,026	184,828	177,854	208,367	198,036	194,229	256,783	252,087	242,95
385	194,729	178,234	172,359	205,07	194,739	189,833	252,387	247,691	240,75
390	190,333	172,739	167,963	198,476	190,343	184,338	247,991	243,295	236,35
395	184,838	168,343	-	195,179	184,848	177,744	243,595	241,097	224,26
400	178,244	-	-	190,783	178,254	172,249	241,397	236,701	217,67
405	172,749	-	-	185,288	172,759	167,853	237,001	224,612	180,3
410	168,353	-	-	178,694	168,363	-	224,912	218,018	207,78
415	-	-	-	173,199	-	-	218,318	180,652	204,48
420	-	-	-	168,803	-	-	180,952	208,127	197,89
425	-	-	-	-	-	-	208,427	204,83	194,59
430	-	-	-	-	-	-	205,13	198,236	190,19
435	-	-	-	-	-	-	198,536	194,939	184,7
440	-	-	-	-	-	-	195,239	190,543	178,1
445	-	-	-	-	-	-	190,843	185,048	172,61
450	-	-	-	-	-	-	185,348	178,454	168,21
455	-	-	-	-	-	-	178,754	172,959	-
460	-	-	-	-	-	-	173,259	168,563	-
465	-	-	-	-	-	-	168,863	-	-

*  - зона достаточной микронизации фуражного зерна.

Матрица плана выполнения опытов по исследованию влияния высоты расположения ламп ИК-излучения над кварцевым стеклом, изменением мощности светового потока и от толщины кварцевого стекла на критерий достаточности микронизации фуражного зерна (план Бокса-Бенкина второго порядка).

Таблица П.1. – Матрица плана и уровни варьирования факторов (пшеница)

Уровень и интервал варьирования	Факторы			
	Толщина кварцевого стекла l , мм	Высота расположения ламп, h мм	Мощность лампы, N кВт	Время микронизации, F , Н
	X_1	X_2	X_3	Y
Верхний уровень (+1)	8	90	1	–
Основной уровень (0)	6	70	0,75	–
Нижний уровень (-1)	4	50	0,5	–
Интервал варьирования	2	20	0,25	–
1	8	90	0,75	170
2	4	50	0,75	90
3	8	50	0,75	100
4	4	90	0,75	135
5	8	70	1	100
6	4	70	0,5	210
7	8	70	0,5	245
8	4	70	1	80
9	6	90	1	90
10	6	50	0,5	210
11	6	90	0,5	270
12	6	50	1	80
13	4	50	1	70
14	4	70	0,75	100
15	4	90	0,5	240
16	4	90	1	85
17	6	50	0,75	95
18	6	70	0,5	210
19	6	70	1	85
20	6	90	0,75	150
21	8	50	0,5	230
22	8	50	1	75
23	8	70	0,75	115
24	8	90	0,5	290
25	6	70	0,75	110
26	8	90	1	135
27	4	50	0,5	190

Таблица П.2. – Матрица плана и уровни варьирования факторов (ячмень)

Уровень и интервал варьирования	Факторы			
	Толщина кварцевого стекла l , мм	Высота расположения ламп, h мм	Мощность лампы, N кВт	Время микронизации, F , Н
	X_1	X_2	X_3	Y
Верхний уровень (+1)	8	90	1	–
Основной уровень (0)	6	70	0,75	–
Нижний уровень (-1)	4	50	0,5	–
Интервал варьирования	2	20	0,25	–
1	8	90	0,75	230
2	4	50	0,75	140
3	8	50	0,75	185
4	4	90	0,75	180
5	8	70	1	135
6	4	70	0,5	280
7	8	70	0,5	320
8	4	70	1	100
9	6	90	1	135
10	6	50	0,5	300
11	6	90	0,5	335
12	6	50	1	105
13	4	50	1	90
14	4	70	0,75	160
15	4	90	0,5	305
16	4	90	1	115
17	6	50	0,75	155
18	6	70	0,5	310
19	6	70	1	120
20	6	90	0,75	200
21	8	50	0,5	305
22	8	50	1	120
23	8	70	0,75	200
24	8	90	0,5	340
25	6	70	0,75	165
26	8	90	1	155
27	4	50	0,5	265

Таблица П.3. – Матрица плана и уровни варьирования факторов (овес)

Уровень и интервал варьирования	Факторы			
	Толщина кварцевого стекла l , мм	Высота расположения ламп, h мм	Мощность лампы, N кВт	Время микронизации, F , Н
	X_1	X_2	X_3	Y
Верхний уровень (+1)	8	90	1	–
Основной уровень (0)	6	70	0,75	–
Нижний уровень (-1)	4	50	0,5	–
Интервал варьирования	2	20	0,25	–
1	8	90	0,75	185
2	4	50	0,75	150
3	8	50	0,75	170
4	4	90	0,75	165
5	8	70	1	135
6	4	70	0,5	280
7	8	70	0,5	330
8	4	70	1	115
9	6	90	1	135
10	6	50	0,5	290
11	6	90	0,5	305
12	6	50	1	115
13	4	50	1	105
14	4	70	0,75	155
15	4	90	0,5	295
16	4	90	1	125
17	6	50	0,75	160
18	6	70	0,5	295
19	6	70	1	125
20	6	90	0,75	175
21	8	50	0,5	320
22	8	50	1	120
23	8	70	0,75	175
24	8	90	0,5	335
25	6	70	0,75	165
26	8	90	1	145
27	4	50	0,5	275

Результаты опытов по установлению производительности микронизатора от площади сечения отверстия диска-дозатора микронизатора зерна для пшеницы.

Таблица Р.1 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,241 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	120	6,5	195
6	360	142,5	114	6,5	205,2632
7	420	166,25	110	6,5	212,7273
8	480	190	108	6,5	216,6667
9	540	213,75	107	6,5	218,6916
10	600	237,5	105	6,5	222,8571
11	660	261,25	103	6,5	227,1845
12	720	285	102	6,5	229,4118
13	780	308,75	100	6,5	234
14	840	332,5	98	6,5	238,7755
15	900	356,25	97	6,5	241,2371

Таблица Р.2 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,542 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	35	6,5	668,5714
6	360	142,5	33	6,5	709,0909
7	420	166,25	31	6,5	754,8387
8	480	190	30	6,5	780
9	540	213,75	29	6,5	806,8966
10	600	237,5	28,5	6,5	821,0526
11	660	261,25	28	6,5	835,7143
12	720	285	27	6,5	866,6667
13	780	308,75	26	6,5	900
14	840	332,5	25,4	6,5	921,2598
15	900	356,25	24,9	6,5	939,759

Таблица Р.3 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,978 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	20,5	6,5	1141,463
6	360	142,5	19,5	6,5	1200
7	420	166,25	18,6	6,5	1258,065
8	480	190	17,8	6,5	1314,607
9	540	213,75	17,5	6,5	1337,143
10	600	237,5	17	6,5	1376,471
11	660	261,25	16,5	6,5	1418,182
12	720	285	16	6,5	1462,5
13	780	308,75	15,6	6,5	1500
14	840	332,5	15	6,5	1560
15	900	356,25	14,3	6,5	1636,364

Результаты исследований по определению производительности микронизатора от площади сечения отверстия диска-дозатора микронизатора зерна для ячменя.

Рисунок С.1 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна, от частоты вращения на ячмене.

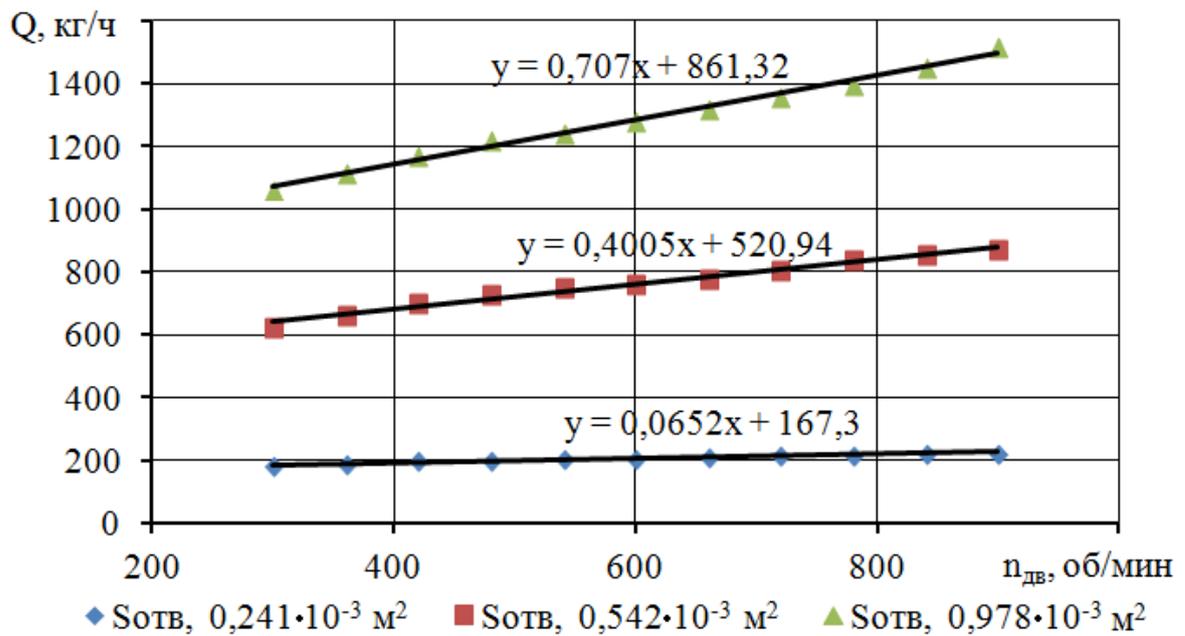


Таблица С.2 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,241 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ на ячмене.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	129	6,5	181,35
6	360	142,5	122	6,5	190,895
7	420	166,25	118	6,5	197,836
8	480	190	116	6,5	201,5
9	540	213,75	115	6,5	203,383
10	600	237,5	112	6,5	207,257
11	660	261,25	110	6,5	211,282
12	720	285	109	6,5	213,353
13	780	308,75	107	6,5	217,62
14	840	332,5	105	6,5	222,061
15	900	356,25	104	6,5	224,351

Таблица С.3 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,542 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ на ячмене.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	37	6,5	621,771
6	360	142,5	35	6,5	659,455
7	420	166,25	33	6,5	702
8	480	190	32	6,5	725,4
9	540	213,75	31	6,5	750,414
10	600	237,5	30,5	6,5	763,579
11	660	261,25	30	6,5	777,214
12	720	285	29	6,5	806
13	780	308,75	27	6,5	837
14	840	332,5	27,5	6,5	856,772
15	900	356,25	26	6,5	873,976

Таблица С.4 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,978 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ на ячмене.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	22	6,5	1061,56
6	360	142,5	20	6,5	1116
7	420	166,25	19	6,5	1170
8	480	190	19,5	6,5	1222,58
9	540	213,75	18,5	6,5	1243,54
10	600	237,5	18	6,5	1280,12
11	660	261,25	17,5	6,5	1318,91
12	720	285	17	6,5	1360,13
13	780	308,75	16,5	6,5	1395
14	840	332,5	16	6,5	1450,8
15	900	356,25	15	6,5	1521,82

Результаты исследований по определению производительности микронизатора от площади сечения отверстия диска-дозатора микронизатора зерна для овса.

Рисунок С.5 – Графическая зависимость производительности диска-дозатора микронизатора зерна, от частоты вращения для овса.

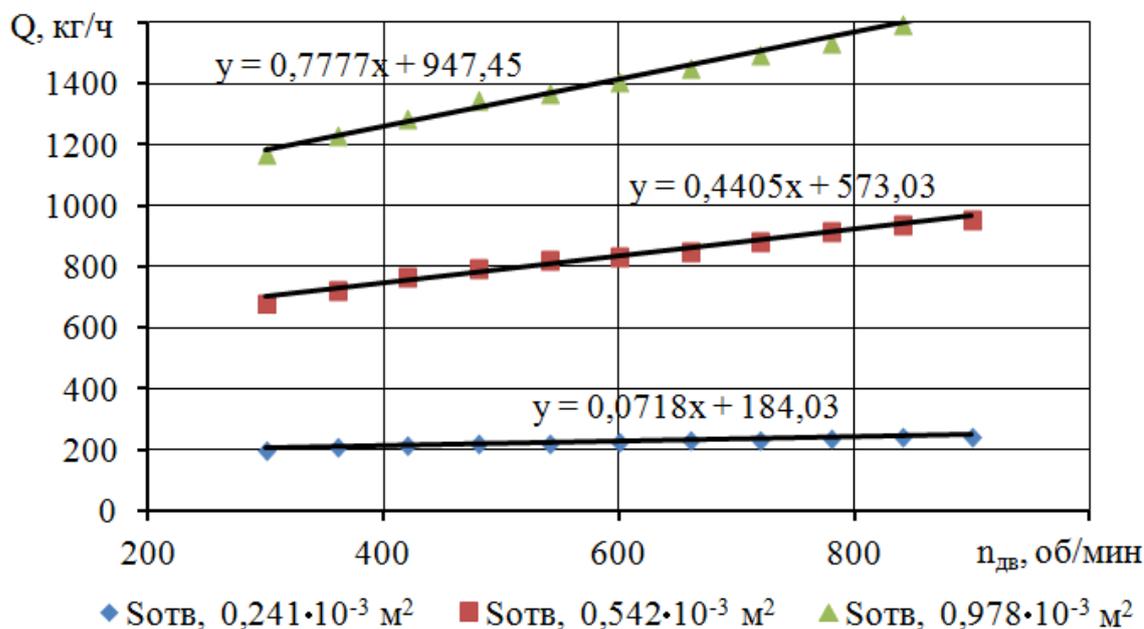


Таблица С.6 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,241 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ для овса.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	117	6,5	199,485
6	360	142,5	111	6,5	209,9843
7	420	166,25	107	6,5	217,62
8	480	190	105,5	6,5	221,65
9	540	213,75	104,5	6,5	223,7215
10	600	237,5	102	6,5	227,9828
11	660	261,25	100	6,5	232,4097
12	720	285	99,7	6,5	234,6883
13	780	308,75	97,7	6,5	239,382
14	840	332,5	95	6,5	244,2673
15	900	356,25	94	6,5	246,7856

Таблица С.7 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,542 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ для овса.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	34,5	6,5	683,9485
6	360	142,5	32	6,5	725,4
7	420	166,25	30	6,5	772,2
8	480	190	29	6,5	797,94
9	540	213,75	28	6,5	825,4552
10	600	237,5	27	6,5	839,9368
11	660	261,25	27,3	6,5	854,9357
12	720	285	26	6,5	886,6
13	780	308,75	25	6,5	920,7
14	840	332,5	24,5	6,5	942,4488
15	900	356,25	24	6,5	961,3735

Таблица С.8 – Производительность диска-дозатора микронизатора зерна, в зависимости от частоты вращения диска-дозатора, при площади сечения отверстия диска-дозатора $S_{отв} = 0,978 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ для овса.

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m , кг	Q кг/ч
5	300	118,75	20	6,5	1167,717
6	360	142,5	19	6,5	1227,6
7	420	166,25	18	6,5	1287
8	480	190	17,3	6,5	1344,843
9	540	213,75	17	6,5	1367,897
10	600	237,5	16,6	6,5	1408,13
11	660	261,25	16	6,5	1450,8
12	720	285	15,6	6,5	1496,138
13	780	308,75	15,	6,5	1534,5
14	840	332,5	14,6	6,5	1595,88
15	900	356,25	13	6,5	1674

Результаты производственных испытаний.

Таблица Т.1 – Результаты производственных испытаний (культура пшеница).

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m, кг	$S_{отв}$, 10^{-3} м^2	Q, кг/ч
5	300	118,75	110	6,5	0,241	212,7273
			53	6,5	0,542	441,5094
			37	6,5	0,978	632,4324
6	360	142,5	108	6,5	0,241	216,6667
			51	6,5	0,542	458,8235
			36	6,5	0,978	650
7	420	166,25	105	6,5	0,241	222,8571
			48	6,5	0,542	487,5
			34	6,5	0,978	688,2353
8	480	190	103	6,5	0,241	227,1845
			45	6,5	0,542	520
			31	6,5	0,978	754,8387
9	540	213,75	100	6,5	0,241	234
			44	6,5	0,542	531,8182
			30	6,5	0,978	780

Таблица Т.2 – Результаты производственных испытаний (культура ячмень).

Частота тока	$n_{дв}$, об/мин	$n_{доз}$, об/мин	$t_{пр}$, сек	m, кг	$S_{отв}$, 10^{-3} м^2	Q, кг/ч
5	300	118,75	129	6,5	0,241	181,35
			37	6,5	0,542	621,771
			22	6,5	0,978	1061,6
6	360	142,5	122	6,5	0,241	190,89
			35,5	6,5	0,542	659,45
			20,5	6,5	0,978	1116
7	420	166,25	118,5	6,5	0,241	197,84
			33,5	6,5	0,542	702
			20	6,5	0,978	1170
8	480	190	116	6,5	0,241	201,5
			32	6,5	0,542	725,4
			19	6,5	0,978	1222,6
9	540	213,75	115	6,5	0,241	203,38
			31	6,5	0,542	750,41
			18	6,5	0,978	1243,5

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ШАЦКИЙ МЯСОКОМБИНАТ»

ИНН – 6224005888
КПП – 622401001
Р/С № 40702810500100000450
в Прио-Внешторгбанк ОАО г. Рязань

К/С № 30101810500000000708
БИК – 046126708
ОКАТО – 61256806001
ОГРН – 1096225000563

391561, Рязанская область, Шацкий район, с. Большое Агишево, Тел/факс: (49147) 2-58-01
электронный адрес: shatskmeat@mail.ru

Исх. № АЖ
От «03» июня 2014 г.

СПРАВКА.

Выдана Силушину П.А. в том, что ОАО «Шацкий мясокомбинат» действительно отпустил ему «03» июня 2014 года зерно следующих наименований:

- пшеница, в количестве 700 кг;
 - ячмень, в количестве 800 кг;
 - овёс, в количестве 800 кг;
- для проведения испытаний.

Справка выдана для предъявления в ФГБОУ ВПО РГАТУ им. профессора П.А.Костычева.

Генеральный директор
ОАО «Шацкий мясокомбинат»



Орлов О.А.

Общество с ограниченной ответственностью
« АЗЕЕВСКОЕ »

391653 Рязанская обл Ермишинский район село Азеево ул.Советская д.7.ИНН-6201002055 КПП 620101001
р.с 40702810853150100398 в Рязанском ОСБ №8606 г.Рязань к.с.30101810500000000614 БИК 046126614

Исх.178
от 09 июня 2014

СПРАВКА

Выдана Силуши у П.А. в том , что ООО «Азеевское» действительно отпустил ему 03 июня 2014 года зерно следующих наименований :

- пшеница , в количестве 600 кг;
- ячмень . в количестве 700 кг ;
- овес ,в количестве 700 кг ;

Для проведения испытаний.

Справка выдана для предъявления в ФГБОУ ВПО РГАТУ им.профессора П.А.Костычева.

Председатель ООО «Азеевское»



 Р.Р. Бекбулатов

Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»
390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5
Тел.: (4912) 28-91-65
«25» июня 2014г.
Исх. № 3484

Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева »

Результат исследования по экспертизе № 1918

При исследовании: проба пшеницы
доставленного: «09» июня 2014г и принадлежащего: ФГБОУ ВПО
РГАТУ
получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
Спротеин %	Гост 13496.4-93	14,7
С/клетчатка,%	Гост52839-2007	4,8
Влага %	Гост13496.3-92	13,0
Сухое вещество %	Гост52838-2007	77,0
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,1
С\зола.%	Гост26226-95	2,1
Кальций,%	Гост26570-95	0,58
Фосфор,%	Гост26657-97	0,13
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	11,8
К.е	Гост Р5185-2001	1,1

И. о. директора _____ Кирилина Н. Е.
Зав. отделом _____ Свирина Е. Н.
Ветврач _____ Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

«25» _____ 2014г.

Исх. № 3480

Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»

Результат исследования по экспертизе № 1925

При исследовании: проба микронизированной пшеницы
доставленного: «09» июня 2014г и принадлежащего: ФГБОУ ВПО
РГАТУ

получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
Спротеин %	Гост 13496.4-93	16,9
С/клетчатка,%	Гост52839-2007	4,8
Влага %	Гост13496.3-92	12,4
Сухое вещество %	Гост52838-2007	87,6
Сжир.%	Гост13496.15-97	2,4
Сзола.%	Гост26226-95	2,2
Кальций,%	Гост26570-95	0,91
Фосфор,%	Гост26657-97	0,63
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	13,4
К.е	Гост Р5185-2001	1,4

И. о. директора _____ Кирилина Н. Е.
Зав. отделом _____ Свирина Е. Н.
Ветврач _____ Шишина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
**Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»**

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

«25» июня 2014г.

Исх. № 3486

**Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»**

Результат исследования по экспертизе № 1919

При исследовании: проба ячменя

доставленного: «09» июня 2014г

и принадлежащего: ФГБОУ ВПО

РГАТУ

получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	13,1
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	5,4
Влага %	Гост13496.3-92	8,9
Сухое вещество %	Гост52838-2007	91,1
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,2
С\зола.%	Гост26226-95	2,0
Кальций,%	Гост26570-95	0,07
Фосфор,%	Гост26657-97	0,32
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	11,2
К.е	Гост Р5185-2001	1,02

И. о. директора

Зав. отделом

Ветврач

Кирилина Н. Е.

Свирина Е. Н.

Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
**Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»**

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

«15» июня 2014г.

Исх. № 3481

**Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»**

Результат исследования по экспертизе № 1924

При исследовании: проба микронизированного и плющенного ячменя
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ

получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	15,8
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	4,8
Влага %	Гост13496.3-92	13,7
Сухое вещество %	Гост52838-2007	86,3
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,2
С\зола.%	Гост26226-95	2,3
Кальций,%	Гост26570-95	0,8
Фосфор,%	Гост26657-97	0,6
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	13,8
К.е	Гост Р5185-2001	1,5

И. о. директора _____

Зав. отделом _____

Ветврач _____



Кирилина Н. Е.

Свирина Е. Н.

Шидина В. И.

Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»
390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5
Тел.: (4912) 28-91-65

«*дс*» *июнь* 2014г.
Исх. № , *3185*

Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева »

Результат исследования по экспертизе № 1920

При исследовании: проба овса
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ
получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	14,0
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	6,4
Влага %	Гост13496.3-92	16,1
Сухое вещество %	Гост52838-2007	83,9
С\жир.%	Гост13496.15-97	1,9
С\зола.%	Гост26226-95	1,8
Кальций,%	Гост26570-95	0,06
Фосфор,%	Гост26657-97	0,22
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	9,0
К.е	Гост Р5185-2001	1,0

И. о. директора *Кирилина Н. Е.* Кирилина Н. Е.
Зав. отделом *Свирина Е. Н.* Свирина Е. Н.
Ветврач *Шилина В. И.* Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
**Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»**

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

«25» *исполн* 2014г.

Исх. № *3479*

**Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»**

Результат исследования по экспертизе № 1926

При исследовании: проба микронизированного овса
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ

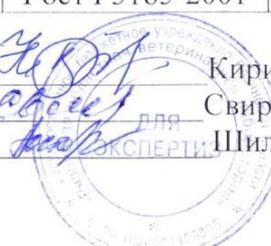
получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	16,34
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	4,49
Влага %	Гост13496.3-92	11,39
Сухое вещество %	Гост52838-2007	88,61
С\жир.%	Гост13496.15-97	3,84
С\зола.%	Гост26226-95	5,02
Кальций,%	Гост26570-95	0,05
Фосфор,%	Гост26657-97	0,4
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	12,65
К.е	Гост Р5185-2001	1,3

И. о. директора *У.В.М.* Кирилина Н. Е.

Зав. отделом *В.С.В.С.* Свирина Е. Н.

Ветврач *И.В.Р.* Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
**Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»**

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

« 25 » июня 2014г.

Исх. № 3486

**Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева »**

Результат исследования по экспертизе № 1923

При исследовании: проба микронизированного и плющенного овса
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ

получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	16,09
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	3,474
Влага %	Гост13496.3-92	12,99
Сухое вещество %	Гост52838-2007	87,01
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,68
С\зола.%	Гост26226-95	2,48
Кальций,%	Гост26570-95	0,06
Фосфор,%	Гост26657-97	0,59
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	11,11
К.е	Гост Р5185-2001	1,0

И. о. директора _____

Зав. отделом _____

Ветврач _____

Кирилина Н. Е.

Свирина Е. Н.

Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5

Тел.: (4912) 28-91-65

«25» июля 2014г.

Исх. № 248/14

Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»

Результат исследования по экспертизе № 1921

При исследовании: проба микронизированной и плющенной пшеницы
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ

получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	14,6
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	5,6
Влага %	Гост13496.3-92	12,5
Сухое вещество %	Гост52838-2007	87,5
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,4
С\зола.%	Гост26226-95	2,2
Кальций,%	Гост26570-95	0,9
Фосфор,%	Гост26657-97	0,5
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	13,2
К.е	Гост Р5185-2001	1,4

И. о. директора _____ Кирилина Н. Е.
Зав. отделом _____ Свирина Е. Н.
Ветврач _____ Шилина В. И.



Российская Федерация
Государственная инспекция по
ветеринарии Рязанской области
Государственное бюджетное
учреждение Рязанской области
«Рязанская областная
ветеринарная лаборатория»

390047 г. Рязань, ул. Новоселковская, 5
Тел.: (4912) 28-91-65

«25» июня 2014г.

Исх. № 3483

Кому: ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный
агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»

Результат исследования по экспертизе № 1922

При исследовании: проба микронизированного ячменя
доставленного: «09» июня 2014г **и принадлежащего:** ФГБОУ ВПО
РГАТУ
получены следующие результаты: при биохимическом исследовании в
доставленной пробе:

Наименование показатели	НД на метод испытания	Результат испытания
С\протеин %	Гост 13496.4-93	17,4
С\клетчатка,%	Гост52839-2007	4,7
Влага %	Гост13496.3-92	13,9
Сухое вещество %	Гост52838-2007	86,1
С\жир.%	Гост13496.15-97	2,5
С\зола.%	Гост26226-95	2,3
Кальций,%	Гост26570-95	0,8
Фосфор,%	Гост26657-97	0,6
ОЭ кДЖ/кг	Гост Р5185-2001	13,8
К.е	Гост Р5185-2001	1,5

И. о. директора _____ Кирилина Н. Е.
Зав. отделом _____ Свирина Е. Н.
Ветврач _____ Шилина В. И.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 117268

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012103206

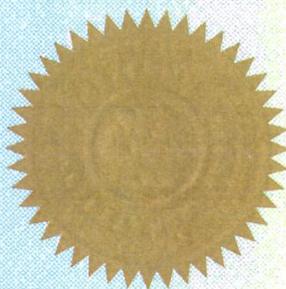
Приоритет полезной модели 30 января 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 июня 2012 г.

Срок действия патента истекает 30 января 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU (11)117268

(13)UI



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК
A23L1/025 (2006.01)

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 27.06.2012 - действует
Полшина: учтена за 1 год с 30.01.2012 по 30.01.2013

(21), (22) Заявка:
2012103206/13,
30.01.2012

(24) Дата начала отсчета
срока действия патента:
30.01.2012

(72) Автор(ы):

**Силушин Павел Александрович (RU),
Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Корнилов Сергей Владиславович (RU),
Мамонов Роман Александрович (RU)**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки:
30.01.2012

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
"Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева" (RU)**

(45) Опубликовано:
27.06.2012

Адрес для переписки:
**390044, г.Рязань, ул.
Костычева, 1, РГАТУ,
патентный отдел**

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

Формула полезной модели

Установка для микронизации зерна, содержащая корпус, загрузочный бункер, выгрузное устройство, камеру облучения с ИК-излучателями, выполненную в виде двух расположенных цилиндров, образующих между собой полость для перемещения зерна, ИК-излучатели, размещенные в полости закрытого сверху направляющим конусом внутреннего цилиндра, выгрузное устройство, установленное ниже цилиндров и выполненное в виде диска с выгрузными отверстиями, бункер для обработанного зерна, расположенный ниже выгрузного устройства, внутренний цилиндр камеры облучения, выполненный из кварцевого стекла, отличающаяся тем, что наружный цилиндр выполнен в виде усеченного конуса и установлен с изменяющимся зазором между наружным и внутренним цилиндрами, выгрузной диск выполнен с регулирующими заслонками.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132953

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2013112057**

Приоритет полезной модели **18 марта 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 октября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **18 марта 2023 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU

(11)132953

(13)U1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

A23L1/025 (2006.01)

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 07.10.2013 - нет данных
Пошлина:

(21), (22) Заявка: **2013112057/13**,
18.03.2013

(24) Дата начала отсчета срока
действия патента:
18.03.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки:
18.03.2013

(45) Опубликовано: **10.10.2013**

Адрес для переписки:
**390044, г.Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВПО РГАТУ, Отдел
по патентной и
изобретательской работе**

(72) Автор(ы):

**Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Корнилов Сергей Владиславович (RU),
Воробьева Ирина Викторовна (RU),
Силушин Павел Александрович (RU),
Липин Владимир Дмитриевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева" (RU)**

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

Формула полезной модели

Устройство для микронизации зерна, содержащее корпус, загрузочный бункер, камеру облучения с ИК-излучателями, выполненную в виде образующих между собой полость для перемещения зерна двух геометрических фигур, внутренней - в виде цилиндра из кварцевого стекла и наружной, имеющей форму усеченного конуса с нижним диаметром больше верхнего, ИК-излучатели, размещенные в полости закрытого сверху направляющим конусом внутреннего цилиндра, выгрузное устройство, установленное ниже камеры облучения, бункер для обработанного зерна расположенный ниже выгрузного устройства, отличающееся тем, что выгрузное устройство выполнено в виде конусного диска-дозатора и рычага, закрепленного шарниром и болтом-талрепом и установлено с возможностью изменения зазора между геометрическими фигурами, образующими камеру облучения, и его конусной частью при помощи болта-талрепа.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 152887

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

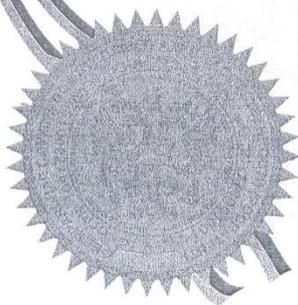
Заявка № 2015103489

Приоритет полезной модели 03 февраля 2015 г.
Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28 мая 2015 г.

Срок действия патента истекает 03 февраля 2025 г.

*Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

152 887 (13) U1

(51) МПК

A23L 1/025 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015103489/13, 03.02.2015

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
03.02.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.02.2015

(45) Опубликовано: 20.06.2015 Бюл. № 17

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВПО
РГАТУ, отдел патентной и изобретательской
работы

(72) Автор(ы):

Некрашевич Владимир Федорович (RU),
Корнилов Сергей Владиславович (RU),
Глушакова Ольга Дмитриевна (RU),
Силушин Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева" (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

(57) Формула полезной модели

Устройство для микронизации зерна, содержащее корпус, загрузочный бункер, устройство выгрузки, камеру облучения с ИК-излучателями, выполненную в виде двух геометрических фигур, внутренний - в виде цилиндра из кварцевого стекла и наружный - в виде кожуха-отражателя, образующих между собой полость для перемещения зерна, ИК-излучатели, размещенные в камере облучения внутреннего цилиндра, закрытого сверху направляющим конусом, выгрузное устройство, установленное ниже двух геометрических фигур и выполненное в виде диска с отверстиями для выгрузки и заслонками, бункер для обработанного зерна, расположенный ниже устройства для выгрузки, электродвигатель, отличающееся тем, что наружный кожух-отражатель выполнен в форме вогнутого гиперboloида, расширяющегося книзу, текущий радиус наружного кожуха-отражателя сверху вниз рассчитан по формуле:

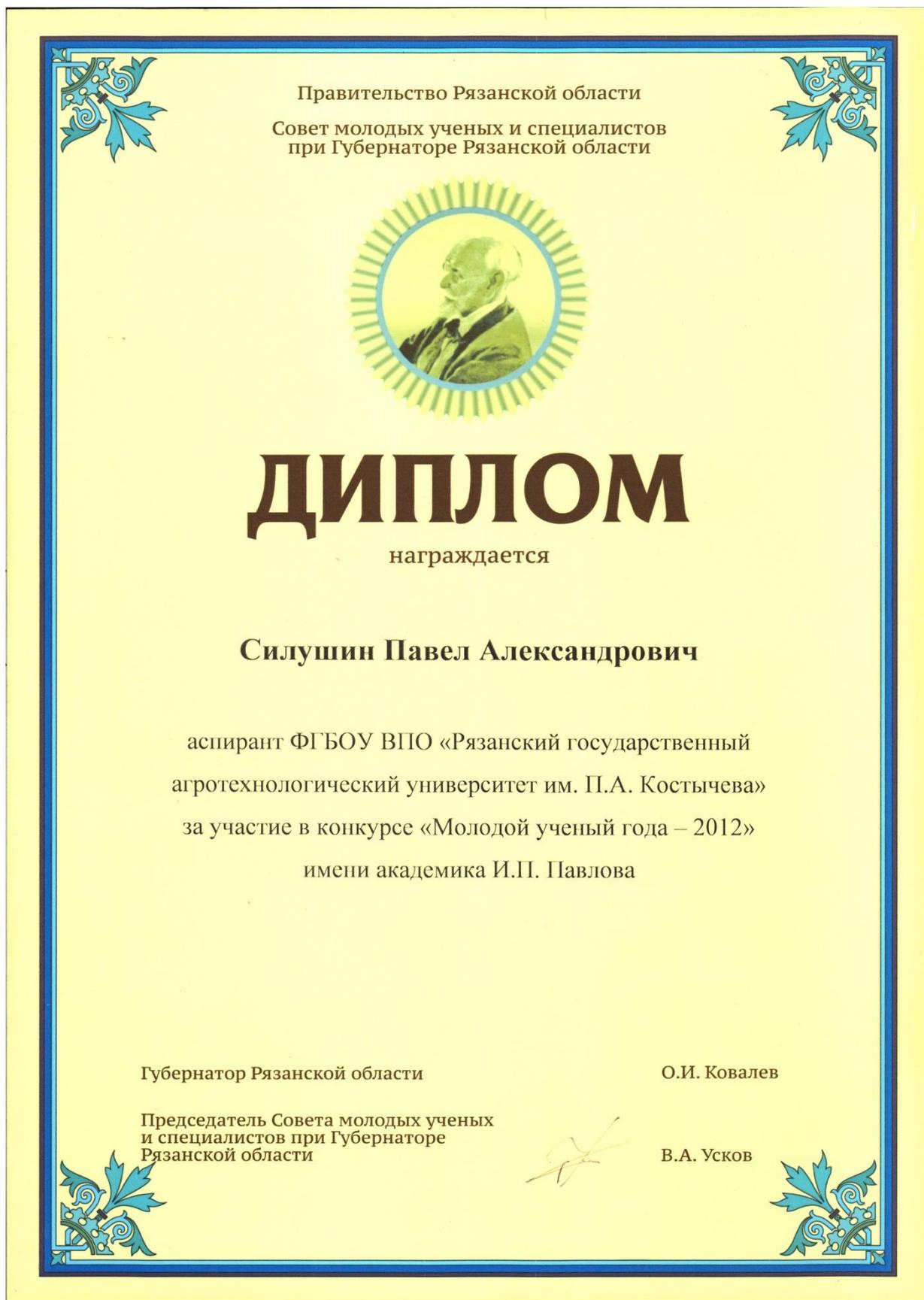
$$r = \sqrt{\frac{\rho_0(r_0^2 - R^2)L}{\rho_K L + (\rho_0 - \rho_K)(L - Y)} + R^2},$$

где R - внешний радиус внутреннего цилиндра,

L - высота микронизатора,

Y - текущая высота микронизатора,

 ρ_0 - начальная объемная масса зерна, ρ_K - текущая объемная масса зерна, r_0 - начальный внутренний радиус верхней окружности наружного кожуха-отражателя.





СЕРТИФИКАТ

Настоящий сертификат выдан

Синицину Павлу

с проектом

*Технология приготовления хлебобулочных
с использованием микроизатора зерна*

и удостоверяет, что проект вошел в TOP-25
"StartUp поиск-2014"

Организатор



[Handwritten signature]

М.А. Лабудин

«25» апреля 2014.

Приложение к сертификату

15 апреля 2014 года Федеральное агентство по делам молодёжи совместно с Правительством Нижегородской области, АНО ДПО «Молодежный Инновационный Центр» реализовало комплексный проект «StartUp - поиск», направленный на вовлечение молодежи в инновационное предпринимательство и создание малых инновационных предприятий.

В рамках «StartUp-поиск» будущие предприниматели получили консультации у специалистов в области коммерциализации инновационных разработок, совместно с менторами рассмотрели кейсы наиболее успешных и инновационных проектов, прошли краш-тест своих проектов и приобрели практические навыки составления документов для дальнейших встреч с инвесторами.

Проекты рассматривались по следующим направлениям:

- технологические инновации (по 5-ти приоритетным направлениям развития технологий: ИТ и телекоммуникации, медицинские технологии, нанотехнологии, космические технологии и энергетика);
- социальные инновации (новые бизнес-модели и пр.).

Настоящее приложение к сертификату подтверждает Ваше право на:

- участие в V Всероссийском форуме «Молодежный инновационный центр – 2014» в августе 2014г.;
- ежедневные онлайн консультации специалистов в области бухгалтерии, юриспруденции, PR, промышленного дизайна и прототипирования электроники в период с 01.06.14г. по 31.06.14г.;

Контакты для связи: +7(495) 739-79-75; info@mictp.ru



ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
малых форм предприятий в научно-технической сфере

ДИПЛОМ

**Победитель программы “Участник молодежного
научно-инновационного конкурса” (“УМНИК”)**

Салуашин П.А.
РГТУ

*Председатель
Наблюдательного совета*

*Генеральный директор
Фонда содействия развитию
малых форм предприятий
в научно-технической сфере*



И.М. Бортник

С.Г. Поляков

Диплом

НАГРАЖДАЕТСЯ

СИЛУШИН
Павел Александрович

За доклад на тему
«Результаты определения усилия разрушения зерна
в зависимости от времени микронизации»
представленный на Международной
научно-практической конференции
молодых ученых

«МОЛОДЕЖЬ И ИННОВАЦИИ – 2013»

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Г. Горки, Республика Беларусь
29-31 мая 2013 года

Ректор

Председатель Совета
молодых ученых

А.П. Курдеко

А.Н. Иванистов





Почетная грамота

НАГРАЖДАЕТСЯ

СИЛУШИН

ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

*студент Рязанского государственного
агротехнологического университета им. П.А.Костычева*

за активное участие во Всероссийской конференции III этапа
Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди
студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений
Министерства сельского хозяйства Российской Федерации

Ректор

Н.И. Кузнецов

18-20 мая 2011 года



Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва

ГРАМОТА

НАГРАЖДАЕТСЯ

**СИЛУШИН
ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

аспирант

ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

за активное участие в работе международной
научно-практической конференции
**«Энергоэффективные и ресурсосберегающие
технологии и системы»**

Директор ИМЭ
д.т.н., профессор



А.В. Котин



Саранск, октябрь 2012г.



Почётная грамота

награждается

**Силушин
Павел Александрович**

*аспирант ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П. А. Костычева»*

*за активное участие в III туре
Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу
среди студентов, аспирантов и молодых
ученых вузов МСХ РФ*

Дектор



Н.И. Кузнецов

21 мая 2013 г.

Министерство сельского хозяйства РФ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А.Костычева»

ДИПЛОМ

На г р а ж д а е т с я

Силушин Павел Александрович

победитель II тура Всероссийского конкурса на лучшую
научную работу среди студентов, аспирантов и молодых
ученых высших учебных заведений Минсельхоза России
на 2013 год среди вузов ЦФО в номинации
«Технические науки»

Ректор Рязанского государственного
агротехнологического университета
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ



Н.В.БЫШОВ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А.КОСТЫЧЕВА»



ПОЧЁТНАЯ ГРАМОТА

НАГР АЖДАЕТСЯ

аспирант кафедры
«Механизация животноводства»

Силушин Павел Александрович

*За активное участие в работе 63-ей научно-практической
конференции на секции инженерного факультета
«Инновационные направления и методы реализации
научных исследований в агроинженерии»*

23 апреля 2012 года

Ректор Рязанского государственного
агротехнологического университета,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ



Н.В.БЫШОВ



Ректор
 ФГОУ ВПО РЯЗНИ  *uk* Н.В. Бышов
 Рязань 2011 год



ГРАМОТА

федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А.Костычева»

НАГРАЖДАЕТСЯ

студент 5 курса инженерного факультета специальности
110.301 – «Механизация сельского хозяйства»

Силушин

Павел Александрович

За активное участие в научно-исследовательской работе

Ректор
Декан



Н.В.Бышов
А.Н.Балушкин

Рязань 2011 год

ТРАМОЦА

НАПРАВЛЯЕТСЯ

студенту 4 курса инженерного факультета
ФГОУ ВПО «Рязанский государственный
агротехнологический университет
имени П.А. Косыгина»

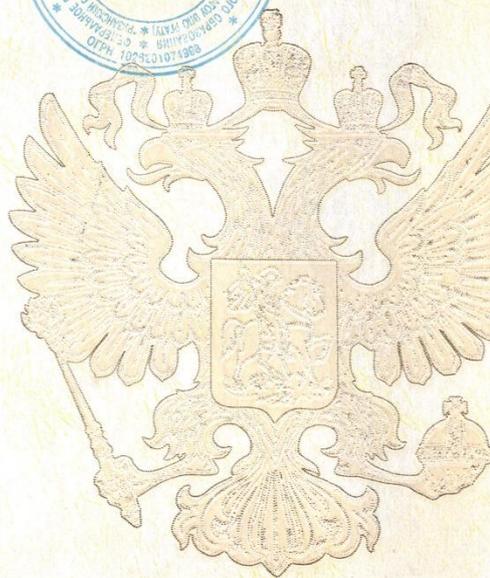
Силушкин П.А.

За активное участие в научно-практической
конференции студентов, аспирантов и профессорско-
преподавательского состава инженерного факультета.

Декан инженерного факультета

С.Н. Борылев

29.04.2010г.





Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева

Награждается

Силушин Павел Александрович

студент Рязанского государственного агротехнологического
университета имени П. А. Костычева

за IV место

во II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди
студентов, аспирантов, и молодых ученых Высших учебных заведений
Министерства сельского хозяйства РФ по центральному
территориальному округу в номинации «Агроинженерия»

Ректор, профессор

Н. В. Бышов

Председатель комиссии,
профессор

В. М. Пашенко

12 мая 2011 г.



АССОЦИАЦИЯ ТЕХНОПАРКОВ
В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



МИНКОМСВЯЗЬ
РОССИИ

РОС
МОЛОДЕЖЬ

Startup поиск 2014 завоевывает Рязань!

25 апреля 2014 года в Рязани успешно завершилась очередная сессия масштабной акции «Startup поиск 2014», проводящаяся более чем в 10 городах России. Целью проекта является отбор на конкурсной основе и последующая коммерциализация молодежных инновационных проектов, в том числе и на базе технопарков.

Организаторами мероприятия выступили Федеральное агентство по делам молодежи «Росмолодежь», АНО ДПО «Молодежный Инновационный Центр», при содействии НП "Ассоциация технопарков в сфере высоких технологий", Министерства связи и массовых коммуникаций, Правительства Рязанской области, а также Рязанского государственного радиотехнического университета, бизнес-инкубатора РГРТУ, и ряда других общественных организаций и высокотехнологичных компаний России и города Рязани.

В рамках мероприятия молодые инноваторы лицом к лицу встретились с ведущими экспертами Российских и зарубежных компаний, бизнес-аналитиками, успешными предпринимателями и преподавателями лучших ВУЗов страны, которые не только наглядно разъясняли модели стратегического планирования развития компании, венчурного бизнеса и грамотного привлечения источников финансирования, но и на практике, в ходе crash-тестов, выявили слабые места проектов с целью их дальнейшей доработки и создания жизнеспособных предприятий. Особое внимание обратил на себя проект финалиста- Силушина Павла под названием «Технология приготовления комбикормов с использованием микронизатора зерна», покорившая жюри детализацией своей разработки, а также широким полем для практического применения.

По итогам мероприятия 15 участников получили приглашение на 5ый Всероссийский форум «Молодежный инновационный центр 2014», 10 – ежедневное онлайн-сопровождение лучшими экспертами в области PR, юриспруденции, бухгалтерии, промышленного дизайна и прототипирования электроники, 3 лучших проекта (Горечий Илья, Силушин Павел и Тыщенко Михаил) получили право на менторскую поддержку и сопровождение проектов для последующего участия в V Всероссийском форуме «Молодежный инновационный центр- 2014» в период с 01.06.2014 по 31.06.2014. Также нельзя не упомянуть о том, что самые талантливые и упорные инноваторы получают путевку на Investor Demo Day, где встретятся с профессиональными инвесторами из топовых российских и зарубежных компаний. «Startup поиск 2014» продолжится 29.04.2014 в Архангельске, где уже собралось большое количество молодых предпринимателей, желающих доказать жизнеспособность своих проектов.