

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**  
**ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»**

На правах рукописи

**Салыхов Дмитрий Викторович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО  
ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Специальность 05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки  
злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции  
и виноградарства

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
Невзоров Виктор Николаевич

Красноярск 2022

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ .....	11
1.1. Анализ и обобщение научных исследований строения зерна пшеницы .....	11
1.2. Существующие технологии и факторы, влияющие на технологическую эффективность процесса шелушения зерновых культур .....	13
1.3. Результаты патентных исследований по конструкции шелушителей и существующего оборудования для шелушения зерновых культур.....	17
Выводы по главе.....	24
Глава 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЭТАПНОГО ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ.....	25
2.1. Совершенствование технологии поэтапного удаления поверхностных слоев зерна пшеницы при шелушении.....	25
2.2. Аналитическая модель совершенствования технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы .....	28
2.3. Модельное представление технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы.....	30
Выводы по главе.....	39
Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	40
3.1. Программа экспериментальных исследований.....	40
3.2. Измерительная аппаратура и методы исследования .....	42
3.3. Методика проведения экспериментальных исследований для оптимизации технологических процессов шелушения зерна пшеницы .....	46
Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	51
4.1. Разработка и изготовление опытного образца роторно-лопастного шелушителя.....	51

4.2. Исследование технологических параметров зерна пшеницы для процесса шелушения .....	54
4.3. Результаты экспериментальных исследований.....	59
4.4. Выбор эффективных технологических, конструктивных и режимных параметров шелушения зерна пшеницы.....	62
Выводы по главе.....	85
Глава 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	93
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	109

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Перспективы развития технологий глубокой переработки зерна на современном этапе тесно связаны с совершенствованием технологических процессов шелушения зерна пшеницы, которое является основной технологической операцией при производстве зернового хлеба, круп, сортовой муки, диетических продуктов быстрого приготовления, комбикормов для животноводства. Технологическая операция шелушения на современном оборудовании предусматривает отделение наружных оболочек путем определенного воздействия абразивных рабочих органов машины на зерно, вызывающее такую деформацию, при которой наружные оболочки отделяются от эндосперма (мучнистое ядро) при определенном его повреждении и уменьшении в объёмах с последующим удалением в отруби. Проблема совершенствования технологи и разделения продуктов шелушения на фракции по технологическим параметрам может решаться путем поэтапного выполнения рабочих операций для отдельного удаления плодовой и семенной оболочек, алейронового и субайлерованного слоев, зародыша и эндосперма, и их сбора по фракциям на специально разработанном малогабаритном оборудовании для фермерских хозяйств и зерноперерабатывающих предприятий, что приобретает большое народно-хозяйственное значение и актуальность и требует дальнейших исследований. Перспективным направлением проведения настоящих исследований является разработка технологии поэтапного шелушения зерна пшеницы на базе создания нового технологического оборудования с использованием роторно-лопастного принципа воздействия на зерно пшеницы, обеспечивающего последовательное отделение от эндосперма (мучнистое ядро) плодовых и семенных оболочек, алейронового и субалеиронового слоев и зародыша, что приведет к повышению производительности труда, снижению общих потерь от процесса шелушения и дробления зерна с минимальными затратами на электроэнергию.

Работа проводилась в рамках плана научных исследований Красноярского ГАУ, плана на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета по теме №56 «Разработка энергосберегающих малоотходных технологий глубокой переработки зерна по производству модифицированных крахмалов» на 2016-2017 годы и хозяйственного договора с ООО Новая ЭРА «Технология производства зернового хлеба с модернизацией оборудования для шелушения зерна пшеницы» № 17/20-13 от 14 марта 2016 г.

**Степень научной разработанности темы.** Многие исследователи, такие как Ю.Ф. Росляков, А.Ю. Шаззо, Г.О. Магомедов, Зверев С.В., Верещагин А.Л., Анисимов А.В., Рудик, Ф.Я., Марьин В.А., Е.Н. Гринберг, М.Е. Гринберг, Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев, Я.М. Жислин, Б.Н. Гойхенберг, А.Н. Остриков, В.Е. Семенов, А.Я. Тертель, В.В. Глебов и другие, занимались изучением процессов подготовки зерна к переработке и исследованиями по повышению качества шелушения. Выполненные исследования показали, что разнообразие и специфичность физико-механических свойств зерновых культур обуславливают необходимость разработки большого количества конструкций машин и технологических приемов для шелушения зерна. Известны технические предложения запатентованных новых машин, выполненные В.Н. Невзоровым, В.А. Самойловым, В.Н. Рябовым, Д.Г. Федоровым, А.Н. Холодилиным, А.А.Перовым, В.И.Кузнецовым и другими. Тем не менее дальнейшая разработка новой технологии с использованием роторно-лопастного способа шелушения потребовала провести новые исследования, так как было выявлено, что использование роторно-лопастного процесса поэтапного отделения плодовой и семенной оболочек, алейронового и субалейронового слоев, эндосперма и зародыша остается мало изученным процессом и требует дальнейших исследований, что и позволило сформулировать цель и задачи исследований.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является совершенствование технологии производства отдельных фракций зерна пшеницы на роторно-лопастном шелушителе для производства пищевых продуктов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ и систематизировать полученные данные по существующим технологиям шелушения зерна пшеницы, выявить их основные недостатки и обосновать целесообразность развития технологии поэтапного шелушения зерна;
- разработать технологию поэтапного шелушения и теоретически обосновать целесообразность использования роторно-лопастного устройства для совершенствования процесса шелушения зерна пшеницы;
- разработать новое технологическое оборудование для поэтапного шелушения зерна пшеницы и определить оптимальные конструкторско-технологические параметры и режимы его работы;
- исследовать процессы и разработать математическую модель взаимодействия зерна с рабочими органами роторно-лопастного шелушителя и определить основные технологические факторы, влияющие на поэтапный процесс шелушения зерна;
- исследовать технологию роторно-лопастного шелушения и определить технологические, энергетические и технико-экономические показатели.

**Объект исследований.** Объектами исследований является технологический процесс поэтапного шелушения зерна пшеницы и экспериментальный образец новой роторно-лопастной шелушильной машины.

**Предмет исследований.** Закономерности взаимодействия зерна пшеницы при поэтапном шелушении с рабочими органами роторно-лопастного шелушителя, математические зависимости количественных и качественных показателей их работы от конструктивно-технологических параметров.

### **Научная новизна работы**

Научная новизна диссертационной работы подтверждается:

- проведенными исследованиями технологического процесса поэтапного шелушения зерна пшеницы с использованием нового технологического оборудования;

- математическими моделями, разработанными для технологического процесса поэтапного шелушения зерна пшеницы на оборудовании с роторно-лопастным рабочим органом;
- полученными математическими зависимостями выхода отдельных продуктов шелушения при различных технологических параметрах работы опытной экспериментальной установки;
- выявленными технологическими особенностями поэтапного процесса шелушения зерна пшеницы при использовании роторно-лопастного способа шелушения;
- разработанными конструкциями шелушительного технологического оборудования на уровне защиты авторских прав, новизна научно-технических решений которых подтверждается полученными патентами на изобретения и полезные модели Российской Федерации № 2709719 и №141853.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость работы состоит в том, что:

- разработана математическая модель поэтапного шелушения зерна пшеницы на роторно-лопастной машине при оптимальных режимах работы;
- разработана конструкция новой роторно-лапастной шелушительной машины, позволяющая производить шелушение зерна пшеницы путем последовательного отделения от эндосперма (мучнистое ядро) плодовых и семенных оболочек, алейронового и субалейронового слоев и зародыша с наименьшими потерями от дробления зерна и минимальными затратами на выполнение технологического процесса;
- выполнены исследования влияния оптимальных технологических параметров работы роторно-лопастного шелушителя на качественные показатели процесса шелушения.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждена полученными патентами РФ № 2709719 «Машины для шелушения зерна» и №141853 «Устройство для обработки поверхности зерен». Проведена опытно-промышленная апробация усовершенствованной технологии роторно-лопастного

шелушения зерна пшеницы в производственных условиях мельничного комплекса ООО «Енисей» (Красноярский край, Минусинский район, село Селиваниха) и СПСОК «АГРОАРКТИКА» (Красноярский край, Минусинский район, город Минусинск).

Научные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ по направлениям подготовки: 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование, 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (уровень подготовки – бакалавриат), и 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» (уровень подготовки – магистратура).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач диссертационной работы использованы теоретические исследования технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы на основе законов физико-механических и технологических процессов.

Результаты экспериментальных исследований получены с применением современных лабораторных методик на стандартных сертифицированных приборах и лабораторных установках с накоплением статистической информации и ее последующей обработкой с использованием современного программного обеспечения.

Уравнения математических моделей решались в соответствии со стандартными методиками, а их устойчивость проверялась по критериям хи – квадрат Пирсона.

Для анализа полученных результатов и сравнения с научными работами использовались опубликованные в открытой печати результаты исследований отечественных и зарубежных авторов.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Результаты исследований технологических свойств зерна пшеницы определяющих эффективность шелушения.

2. Разработанная технология поэтапного шелушения зерна пшеницы с использованием роторно-лопастного шелушителя с последовательным отделением и сбором полученных фракций продуктов шелушения.

3. Разработанная конструкция шелушительной машины с роторно-лопастным рабочим органом и результаты проведенных испытаний поэтапного процесса шелушения зерна.

4. Математические зависимости влияния различных конструктивных параметров роторно-лопастного шелушителя и технологических параметров исходного сырья на производительность и энергоемкость процесса шелушения.

5. Результаты экспериментальных исследований качественных показателей поэтапного шелушения зерна и технико-экономическое обоснование применения роторно-лопастной машины.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Степень достоверности результатов проведенных научных исследований подтверждается данными, полученными с использованием современных методов исследования и их математической обработки, а также опытно-промышленной апробацией новой технологии поэтапного шелушения зерна пшеницы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и национальных научно-практических конференциях (Красноярск, 2013, 2015, 2016, 2020, 2021), (Москва, 2016), (Кемерово, 2017).

**Реализация результатов работы.** Проведена производственная проверка экспериментального образца опытной установки роторно-лопастного шелушения зерна в условиях мельничного комплекса ООО «Енисей» (Красноярский край, Минусинский район, село Селиваниха) и СПСОК «АГРОАРКТИКА» (Красноярский край, Минусинский район, город Минусинск).

**Личный вклад автора.** Все научные результаты, по совершенствованию технологии роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы, составляющие основу диссертации, получены автором лично; программа исследования разработана совместно с научным руководителем – доктором

сельскохозяйственных наук, профессором В.Н. Невзоровым, подбор и анализ литературных данных для обзорных статей подготовлен совместно с докторами технических наук, профессором В.Н. Холоповым и профессором Н.А. Величко, кандидатами технических наук, доцентами Е.Н. Кожухарь, Ж.А. Кох, Н.В. Присухиной. Моделирование технологического процесса роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы выполнено совместно с докторами технических наук, профессором Ю.Ф. Росляковым, профессором Н.И. Чепелевым и профессором Н.И. Селивановым. Разработка и оформление конструкторской документации, оформление и подача заявок на изобретения в Роспатент подготовлены совместно с кандидатами технических наук, доцентами И.В. Мацкевичем, В.Н. Тепляшиным, В.А. Самойловым, А.И. Ярумом, М.А. Яновой, Д.А. Кохом, инженерами О.В. Фоминым, Д.С. Безъязыковым, Н.А. Колесниковой и магистрами Р.В. Кавкиным, И.В. Марченко. Исследования физико-механических свойств зерна пшеницы выполнены совместно с доктором сельскохозяйственных наук, профессором Н.П. Братиловой, кандидатом технических наук В.В. Горло, инженером-исследователем А.А. Струковым.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 26 научных работ, в том числе 4 статьи в периодических изданиях, индексируемых в международных базах данных, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 7 патентах РФ и 1 монографии.

**Соответствие диссертации научной специальности.** Диссертация соответствует пункту 3 Паспорта специальности 05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства.

**Структура и объем научной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Рукопись изложена на 132 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 66 формул, 52 рисунка, 8 приложений на 22 страницах, список литературы из 155 источников.

## Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

### 1.1. Анализ и обобщение научных исследований строения зерна пшеницы

Пшеница (*Triticum*) является самой важной продовольственной культурой составляющей неотъемлемую часть рациона человека, обеспечивая до 30 % суточной потребности в энергии. В результате употребления продукции с содержанием зерна пшеницы организм человека получает в надлежащем количестве витамины группы В, растительные белковые соединения, а также нескольких видов минеральных солей [1, 2, 149].

Исследования строения зерна пшеницы указывают о наличии оболочки и эндосперма, что поясняется рисунком 1.1.

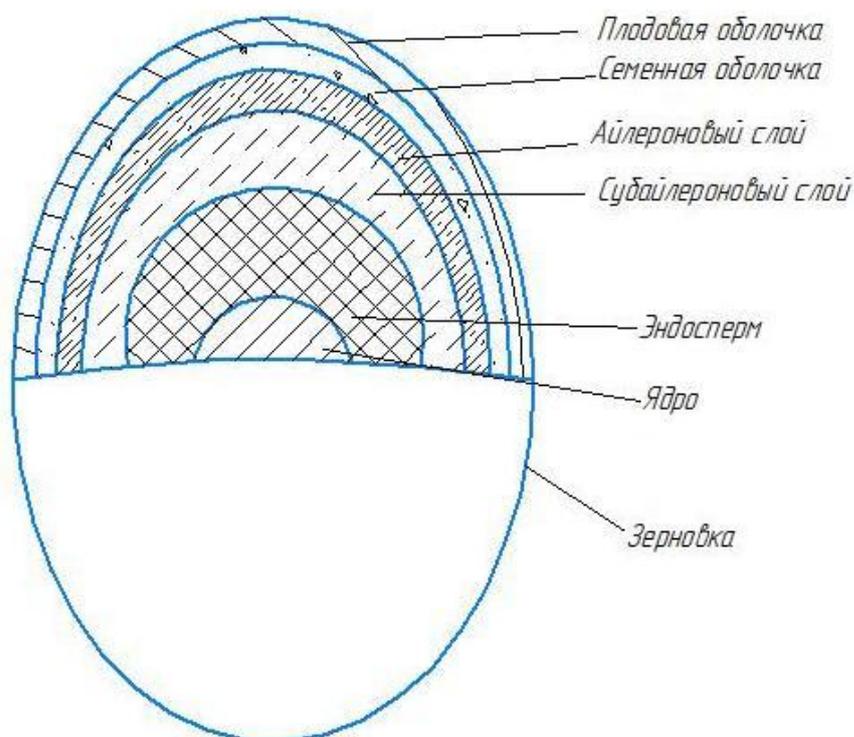


Рисунок 1.1 – Строение зерна пшеницы

Составляющими частями оболочки зерна пшеницы являются плодовая и семенная оболочки, а эндосперма – алейроновый и субалейроновый слой, почти полностью окружающий зерно.

Толщина оболочки и алейронового слоя пшеницы представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Толщина оболочки и алейронового слоя пшеницы

Оболочка			Алейроновый слой, мкм	Общая толщина тканей, мкм
плодовая, мкм	семенная, мкм	Итого в сумме, мкм		
20...45	10...20	50...78	30...70	55...90

В ценной питательной части зерна, эндосперме, составляющей 80...82 % от массы пшеницы и которая используется для получения крупы и муки, находится огромное количество крахмала – от 78 до 82 % от его общей массы, а также в небольшом объеме сахара – до 3 %, белки – от 13 до 15 %, жиры – 1 %, зола, пентозаны и клетчатка [51, 68, 70, 75, 147].

На остром кончике зерновки располагается зародыш, в состав которого входит значительная часть белка – от 33 до 39 %, сахара – около 25 %, жиры, клетчатка и около 5 % минеральных веществ, а также различные нуклеопротеиды и альбумины. В зародыше достаточно большое количество сахара – около 25 %, а также присутствуют жиры и клетчатка, минеральные вещества (около 5 %) и большое количество витаминов, в основном это токоферол, витамин Е [138, 148, 150, 153].

Упруго-эластичные свойства клейковины, входящей в состав пшеницы дают возможность получать из ее муки высококачественный хлеб, макароны и различные кондитерские изделия [50, 71, 94].

## **1.2.Существующие технологии и факторы, влияющие на технологическую эффективность процесса шелушения зерновых культур**

Одной из основных операций в технологии переработки зерновых культур для производства крупяных продуктов является шелушение зерна, то есть отделение наружных плодовых и частично семенных оболочек у пшеницы, совершенство которой в значительной степени определяет выход и качество получаемой продукции [5, 6, 49, 93, 95].

Улучшение технологического процесса шелушения напрямую зависит от анатомического строения зерновки, а точнее – от прочности связи оболочек с ядром, что напрямую влияет на выбор способов шелушения, и необходимое воздействие рабочих органов на перерабатываемое сырье с наименьшей затратой энергии [55, 67, 68, 69, 146].

Принцип работы большинства машин [17,24,35,61,73,74,141,151], используемых для шелушения, можно разделить на три основных способа воздействия рабочих органов на перерабатываемое сырье:

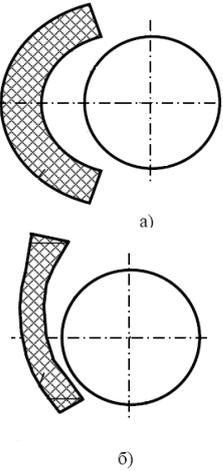
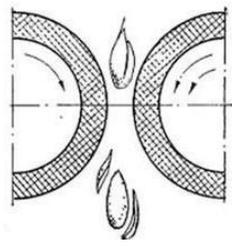
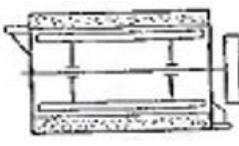
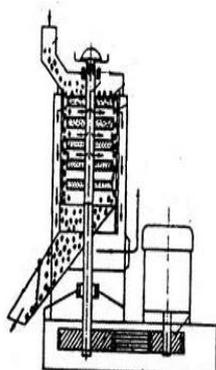
- сжатие и сдвиг, данный метод заключается в воздействии на сырье двух рабочих поверхностей, расстояние между которыми меньше размера перерабатываемого зерна. Обязательным условием данного метода является движение одной поверхности относительно другой, это достигается, когда движутся обе поверхности, но с разной скоростью, или одна из поверхностей подвижна, а другая находится в неподвижном состоянии. Согласно данному методу, перерабатываемое сырье, попадая в рабочую зону, сжимается между поверхностями, в результате чего оболочки раскалываются, происходит их разделение, и ядра отделяются.

- многократный и однократный удар, способ заключается в подхватывании бичами или лопастями крыльчатки перерабатываемого зерна и направлении его к отражательной поверхности, может быть применен для сырья, оболочки у которого срослись или не срослись с ядром;

- трение об абразивную или твердые поверхности. При использовании данного метода перерабатываемое зерно долгое время подвергается воздействию движущейся абразивной поверхности, за счет чего соскабливается оболочка в рабочей зоне. Этот метод подходит для зерна, оболочки которого прочно срослись с ядром [7, 8, 66, 91, 95].

На основании существующих способов шелушения можно составить классификацию методов в зависимости от связи оболочек с ядром и его прочности, которая приведена в таблице 1.2 [23, 35, 59, 82, 105, 128, 152, 155].

Таблица 1.2 – Классификация методов шелушения в зависимости от связи оболочек с ядром

Способы воздействия на зерно и виды преобладающих деформаций				
Непродолжительное сжатие и сдвиг, вызывающие размыкание и скалывание оболочек	Сжатие, сдвиг и трение, вызывающие шелушение	Удар о бичи и абразивную поверхность и сопутствующее ему фрикционное воздействие, вызывающее шелушение и соскабливание оболочек	Продолжительное трение об абразивную и терочную поверхность, вызывающее соскабливание оболочек	
Схема применяемых рабочих органов шелушительных машин				
<p>Вальцедековые станки</p>  <p>а) – с серповидным зазором; б) – с клиновидным зазором</p>	<p>Станок с обрешиненными валками</p> 	<p>Шелушительный постав</p> 	<p>Наждачная обочная машина</p> 	<p>Шелушитель ЗШН</p> 

Технологическую эффективность процесса шелушения оценивают двумя показателями [82]:

- коэффициентом шелушения, это количественный показатель;
- коэффициентом цельности ядра, это качественный показатель.

Коэффициент шелушения  $K_{ш}$  (%) определяют исходя из выражения:

$$K_{ш} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

где  $H_1$  – количество нешелушенных зёрен в перерабатываемой смеси до шелушения, %;

$H_2$  – количество нешелушенных зёрен в перерабатываемой смеси после шелушения, %.

Коэффициент цельности ядра [82,92]:

$$K_{ц} = \frac{B}{B+D+M}, \quad (1.2)$$

где  $B$  – выход целого ядра после шелушения, за вычетом количества шелушенных зёрен в смеси до шелушения, %;

$D$  – выход дробленого ядра после шелушения за вычетом количества дробленого ядра в исходной смеси до шелушения, %;

$M$  – выход мучки после шелушения за вычетом количества мучки в исходной смеси до шелушения, %.

Технологический эффект может быть выражен одним общим коэффициентом, который учитывает как количественную, так и качественную сторону процесса шелушения:

$$E_{ш} = K_{ш} \cdot K_{ц}. \quad (1.3)$$

Производительность шелушильных машин и технологическая эффективность всего процесса в значительной степени определяют технологические показатели работы всего зерноперерабатывающего предприятия и зависят от двух групп факторов [105]:

- первая группа факторов – зависит от технологических свойств перерабатываемого сырья: прочность ядра, крупность зерна, выполненность;

- вторая группа факторов – определяет тип шелушительных машин с условиями их эксплуатации: загрузка машины, зазор между рабочими органами машины и число их оборотов [43-45].

Режим работы используемой шлифовальной машины должен обеспечить тщательную обработку наружной поверхности зерна при минимальном его дроблении для избегания повторного шелушения и повышения производительности предприятия.

Качество полученной партии зерна, направляемого на 1-ю шелушительную систему после предварительной очистки и гидротермической обработки, должно соответствовать показателям, приведенным в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Качество партии зерна пшеницы, направляемого на 1-ю шелушительную систему после очистки и гидротермической обработки

Культура	Влажность зерна, %, не более	Сорная примесь, %, не более	В том числе, %, не более			
			минеральной примеси	куколя	головни и спорыньи	горчака и вязеля
Пшеница	15,0	0,4	0,1	—	0,03	0,02

При контроле технологического оборудования и машин для шелушения зерна пшеницы следует руководствоваться данными, представленными в таблице 1.4, которые характеризуют эффективность работы применяемых шелушительных машин [34, 35, 37, 38].

Таблица 1.4 – Эффективность работы шелушительной машины

Культура	Шелушительное оборудование	Эффект работы
Пшеница	Обочные машины	Количество дробленых зерен не должно превышать 15%. Снижение зольности после первой системы должно составить от 0,04 до 0,06%; после 2-й системы – от 0,03 до 0,05%

Для достижения высокой технологической эффективности шелушения необходимо установить режим работы используемых машин с учетом свойств перерабатываемой партии зерна и обеспечить надлежащий уход за оборудованием, а именно: полностью загружать и равномерно питать шелушительные машины; проверять исправность всех деталей; своевременно обновлять абразивные рабочие органы; заменять изношенные детали и проводить профилактический ремонт; правильно аспирировать шелушительные машины [46, 121, 129, 146].

Периодичность контроля используемого шелушительного оборудования определяется графиком и должна составлять не реже двух раз в месяц. Эффективность работы шлифовально-полировальных машин контролируют по качеству выходной продукции – крупе с периодичностью контроля - каждые 2 ч [39, 62-65, 92].

### **1.3. Результаты патентных исследований по конструкции шелушителей и существующего оборудования для шелушения зерновых культур**

Проведенные патентные исследования в российских базах позволили изучить существующие конструкции технологического оборудования для шелушения семян зерновых культур [109-114, 139], результаты исследования патентов, используемых в качестве аналогов и прототипов для разработки новой конструкции, представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Существующие запатентованные конструкции шелушительных машин

Номер патента	Название запатентованной конструкции	Описание запатентованной конструкции
1	2	3
2302899	Вихревой шелушитель зерновых материалов [116]	Задачей запатентованного изобретения является улучшение конструкции вихревого шелушителя зерновых материалов за счет исключения операции очистки питающего устройства повышением интенсивности подачи зерна через диафрагму в вихревой эжектор, а также разделение многокомпонентной смеси на выходе из шелушителя на три фракции: зерно, шелуху и воздух. Технический результат изобретения достигается за счет того, что он содержит питатель для

1	2	3
		<p>подачи зерна, соединенный с ним воздуховод и приемную камеру, воздуховод выполнен в виде вихревого эжектора, включающего установленное на входе тангенциальное сопло и диафрагму, а на выходе – диффузор, кроме того, к стенке тангенциального сопла крепится подшипник качения с закрепленным по винтовой линии к его внутреннему кольцу стержнем, приемная камера, расположенная на выходе вихревого эжектора, выполнена в виде циклонного аппарата, включающая на выходе с одной стороны отвод пылевоздушной смеси, с закрепленным на нем сетчатым мешком для сбора шелухи, а с другой стороны – приемный бункер для ядра зерна</p>
2491124	Шелушильно-сушильная машина [117]	<p>Технической задачей шелушильно-сушильной машины является сохранение расчетной производительности и улучшение качества обработки при повышенной влажности зерна, которая решается за счет того, что внутри установленного вертикально полого вала закреплены инфракрасные излучатели, причем между абразивными кругами, расположенными на полом валу горизонтально, смонтированы обечайки, выполненные сетчатыми, а ситовой цилиндр имеет по всей высоте выштамповку в форме винтовой линии, расположенную наклонно к образующей</p>
2511754	Машина для шелушения зерна [118]	<p>Техническая задача машины для шелушения зерна заключается в обеспечении повышения качества продуктов шелушения с использованием двух зон обработки зерна. Что достигается тем, что в предлагаемом изобретении, содержащем расположенный в нем ротор с лопастями, загрузочный и разгрузочный патрубки, установленные в корпусе деки, привод вращения ротора и дисков с вариатором, с целью повышения качества шелушения зерна путем уменьшения количества дробленого ядра, она снабжена дисками из различных материалов – один абразивный, другой из резины, причем края внутренних поверхностей дисков имеют срезы под углом 15...20°, при этом диски вращаются в противоположные стороны, а дека футерована эластичным материалом</p>
2203736	Вальцедековая шелушильная машина [119]	<p>Целью вальцевой шелушильной машины является повышение качества крупы при переработке исходного материала, что достигается за счет того, что в изобретении, содержащем абразивный валок, по крайней мере одну примыкающую к нему деку с аспирацией для отвеивания лузги и сборно-выпускное устройство, каждая дека выполнена со ступенчатой внутренней поверхностью, образованной чередующимися фрикционными и перфорированными элементами, причем каждый фрикционный элемент установлен с клиновидным зазором по отношению к рабочей поверхности абразивного вала, а фрикционные элементы установлены с возможностью индивидуального изменения величины клиновидного зазора</p>
2436632	Устройство для шелушения зерна [120]	<p>Задачей устройства для шелушения зерна является создание универсального устройства для шелушения зерен различных крупяных культур с более прочным соединением оболочки зерна с ядром, повышающего производительность и качество шелушения зерна. Данное устройство содержит вертикально и соосно установленные с зазором для прохода зерна конические элементы, внутренний из которых имеет абразивную рабочую поверхность, причем абразивная поверхность внутреннего конического элемента выполнена прерывистой. Прерывистая рабочая абразивная поверхность пуансона не требует частого восстановления шероховатости, так как меньше засаливается и обеспечивает более продолжительную работу устройства</p>

Анализ существующих запатентованных конструкций шелушительных машин позволил сделать вывод о недостатках данного оборудования: большая металлоемкость и недостаточная эффективность проведения процесса отделения оболочек от зерна [15, 22, 42, 56, 96].

Дополнительно был проведен анализ наиболее эффективных технологических машин для шелушения зерна [9-14, 20, 21, 25, 27, 29, 30, 32-34, 39-41, 46-48, 53, 54, 57, 58, 60, 76, 80, 81, 135].

Различие физико-механических свойств перерабатываемого зерна требует соответствующего воздействия на него рабочих органов, чем и объясняется конструктивное разнообразие шелушительных машин и оборудования, применяемых в настоящее время на крупяных заводах [16, 77, 83, 100, 106].

Наиболее существенным различием в оборудовании для шелушения зерна зарубежных стран (Японии, Китая, Канады и США) является использование рабочих поверхностей, от перфорированных металлических до пластиковых с нанесенными специальными терочными составами [43, 84, 98, 99].

Машина для шелушения ржи и пшеницы А1-ЗШН-3 используется при обойных помолах на мукомольных предприятиях, а также для шлифования и полирования при выработке перловой крупы [85, 86, 90, 97, 107].

Техническая характеристика машины А1-ЗШН-3 представлены в таблице 1.6. [60, 61, 133]

Таблица 1.6 - Техническая характеристики машины А1-ЗШН-3

Показатель	Значение показателя
Производительность, т/ч	0,85...1,2
Снижение зольности, %	Не более 0,06
Увеличение битых зерен, %	Не более 2
Коэффициент шелушения, %	Не менее 80
Номинальная мощность, кВт	22
Расход воздуха на аспирацию, м <sup>3</sup> /ч	Не более 920
Частота вращения вала, об/мин	850
Количество абразивных кругов, шт.	6
Диаметр абразивных кругов, мм	450
Диаметр ситового цилиндра, мм	270
Площадь ситового цилиндра, м <sup>2</sup>	0,9
Габаритные размеры, мм	2000x1000x1965
Масса, кг	1700

Также известна немецкая барабанная крупорезка «ШУЛЕ», которая отвечает высоким требованиям зерноперерабатывающих предприятий.

Принцип работы данной машины состоит в том, что зерна с плавной регулировкой поступают по вибрационному лотку в два закрепленных на горизонтальном валу барабана с перфорацией. Находящиеся в барабанах черпаки обеспечивают равномерное распределение материала, подлежащего резке. Избыточное количество материала и частицы крупного размера отводятся из рабочей камеры. Барабаны имеют калиброванные отверстия разного диаметра для разных типов зерна. Нижняя половина вращающихся барабанов окружена прецизионной ножевой корзиной без клиньев. Зерна, падающие через отверстия в барабанах, подхватываются ножами и режутся поперек продольной оси. Угол резания, за счет различных ножевых корзин, может легко варьироваться. Благодаря этому можно изготавливать крупную, среднюю или мелкую крупу [104, 105].

Техническая характеристика немецкой барабанной крупорезки «ШУЛЕ» представлены в таблице 1.7. [60,61,133]

Таблица 1.7 – Техническая характеристика немецкой барабанной крупорезки «ШУЛЕ»

Тип	Количество барабанов	Производительность, кг/ч	Габаритные размеры, мм			Мощность встроенных двигателей, кВт
			Ширина	Длина	Высота	Вибролоток / привод
TGS2000	2	До 2000	1230	820	1350	0,25 / 1,1
TGS3000	2	До 2500*	1230	820	1350	0,25 / 1,1

Выход готовой продукции доходит до 84 %.

Известна многофункциональная крупорушка типа ДКМ, позволяющая перерабатывать большое количество видов зерна для производства дробленых калиброванных круп без применения дополнительного сортирующего оборудования [18, 87, 89, 101].

Техническая характеристика крупорушки типа ДКМ представлена в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Техническая характеристика крупорушки типа ДКМ

Показатель	Тип крупорушки	
	ДКМ-1М	ДКМ-1М
Производительность, кг/ч	110	220
Мощность, кВт:		
на размол	3	5,5
на аспирацию	0,37	0,37
Габариты, м:		
высота	1,6	1,6
длина	1,2	1,3
ширина	0,7	0,8

В число известных шелушильных машин также входят двух- и однодековые вальцедековые станки 2ДШС-3 и СВУ-2, шелушильные постава, станки с резиновыми валками ЗРД-2,5, вертикальные шелушильные машины ЗШН [23, 35, 59, 82, 105, 128, 152].

Двухдековый шелушильный станок 2ДШС-3, состоящий из станины, внутри которой расположен валок и работающие в паре с ним две деки - верхняя и нижняя, укрепленные в специальных обоймах – декодержателях, деки которого устанавливаются по отношению к горизонтальной плоскости валка под углом 45°, достигает эффективности шелушения за счет регулировки рабочего зазора между абразивным валком и декой. Положение каждой деки по отношению к валку регулируют механизмами со штурвалами. Минимальный зазор между валком и декой должен быть больше размеров ядра, в противном случае неизбежно его дробление [105,128,133,152].

При контроле качества шелушения на станке 2ДШС-3 в каждой рабочей зоне дек пробы отбирают поочередно.

Эффективность работы станков типа СВУ-2 и ЗМШ в полной мере проявляется лишь при правильной его наладке и при постоянном наблюдении [35,82].

Известен шелушитель ЗРД-2,5 с рабочими органами в виде резиновых валков, основными узлами которого являются: корпус, бункер-питатель с реечной заслонкой, клапаном и грузовой заслонкой с брезентовым фартуком, два резиновых валка, которые вращаются навстречу друг другу с разной скоростью,

механизм регулирования рабочего зазора между валками, механизм привала и отвала валков, расположенный внутри корпуса машины аспирационный канал с патрубком для присоединения к аспирационной сети крупяного завода [102, 103].

Технологический процесс шелушения на данном станке осуществляется согласно схеме: зерно из бункера-питателя поступает равномерным потоком по всей длине валков в межвалковую рабочую зону, проходя через которую подвергается деформации сжатия и сдвига и шелушится. После выхода из рабочей зоны продукты шелушения поступают на наклонную стенку аспирационного канала, скатываются по ней вниз, где пронизываются воздушным потоком, который уносит отдельные пленки и пылевидные частицы через аспирационный канал, а смесь шелушенных зерен удаляется из машины [23, 35].

Для нормальной работы станка необходимо, чтобы зерно поступало строго в межвалковый зазор, а не на валок, так как в этом случае валки будут изнашиваться неравномерно. Резину на быстром валке обычно заменяют через 120...150 ч непрерывной работы, а на медленном – через 190...200 ч. Износ валков допускается не более чем до 180 мм диаметра, а температура нагрева резиновой поверхности валков не должна превышать 45-50°C [59].

Технологический режим работы станка ЗРД-2,5 устанавливают таким образом, чтобы коэффициент шелушения за один пропуск через машину был в пределах от 85 до 90 %, а количество дробленых зерен было увеличено не более чем на 3,0 %. При таком режиме валки изнашиваются менее интенсивно и на протяжении всего периода работы их поверхность остается гладкой [128, 152, 155].

Также известна вертикальная шелушильная машина ЗШН непрерывного действия, применение которой нашлось не только на крупяных заводах для шелушения, шлифования и полирования зерна, но и на мукомольных заводах при производстве муки.

Вертикальная шелушильная машина ЗШН состоит из вертикального корпуса, установленного на станине. Внутри корпуса расположен цилиндр из сита толщиной 1,2 мм с отверстиями прямоугольного сечения. В средней части через

всю машину проходит вертикальный пустотелый (в верхней части) вал, на который насажены семь абразивных дисков. Между этими дисками расположены металлические аспирационные обечайки, соединенные с отверстиями (окнами) пустотелого вала. Аспирационные обечайки по окружности имеют по шесть-восемь отверстий диаметром 20 мм.

Основным рабочим органом вертикальной шелушильной машины ЗШН является вертикальный вал с абразивными дисками и аспирационными обечайками, от технического состояния которого зависит технологическая эффективность работы всей машины.

Зерно шелушат в кольцевом пространстве (рабочей зоне) между абразивными вращающимися дисками и ситовой поверхностью.

При небольшой толщине слоя зерна (10 мм) и плотном заполнении кольцевого пространства масса сырья в машине составляет около 13 кг, а перерабатываемая культура в рабочей зоне машины движется по винтовой линии против часовой стрелки [133, 155].

Наиболее эффективные параметры работы вертикального шелушителя ЗШН представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Эффективные параметры работы вертикального шелушителя ЗШН

Культура	При шелушении зерна пшеницы			При шлифовании ядра пшеницы		
	Окружная скорость дисков, м/с	Величина рабочего зазора, мм	Время обработки при однократном пропуске, с	Окружная скорость дисков, м/с	Величина рабочего зазора, мм	Время обработки при однократном пропуске, с
Пшеница твердая	16...18	10..11	12...25	20...22	10...11	15...30
Пшеница мягкая	14...16	10...11	10...25	16...18	10...11	18...20

## **Выводы по главе**

1. Результаты анализа и обобщения научных исследований строения зерна пшеницы показали, что технологическая ценность пшеницы повышается при использовании отдельных структурных элементов зерна.

2. Современные технологии шелушения зерновых культур в основном базируются на уже существующих способах и методах шелушения, при этом конструкции применяемых технологических средств для шелушения используют абразивные рабочие органы, которые не отвечают всем требованиям, предъявляемым к зерноперерабатывающим предприятиям.

3. Результаты патентных исследований показали, что российские и зарубежные данные о новейших конструктивных разработках машин для шелушения зерна непрерывно совершенствуются, и основными направлениями в области усовершенствования разработок новых конструкций являются изменение конструкции рабочих органов, снижение габаритных размеров и энергетических затрат.

## **Глава 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЭТАПНОГО ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

### **2.1. Совершенствование технологии поэтапного удаления поверхностных слоев зерна пшеницы при шелушении**

Современные технологии процессов шелушения зерна пшеницы предусматривают выполнение определенного воздействия рабочих органов машины на зерно, вызывающее в оболочках деформацию, при которой плодовые и семенные оболочки отделяются от ядра. Такие рабочие операции выполняются на всех зерноперерабатывающих предприятиях с использованием вальцедековых станков, станков с резиновыми валками, шелушильных поставов, шелушильных машин с абразивными дисками и стальной поверхностью и обочных (бичевых) машин. При механическом воздействии на зерно рабочего органа шелушильной машины происходят деформации оболочек в виде сжатия и сдвига, трения об абразивную или стальную поверхность и удар определенной силы, разбивающий оболочки [144].

Применение данных способов воздействия механических рабочих органов на плодовые и семенные оболочки приводит к снижению эффективности шелушения, большому количеству разрушенных зерен и высоким затратам на электроэнергию. Для устранения установленного недостатка разработана новая технология шелушения зерна на основе поэтапного срезания поверхностных слоев зерна пшеницы и с отдельным сбором плодовых и семенных оболочек, алейронового и субалейронового слоев и зародыша.

Разработанная технологическая схема поэтапного шелушения зерна пшеницы приведена на рисунке 2.1.

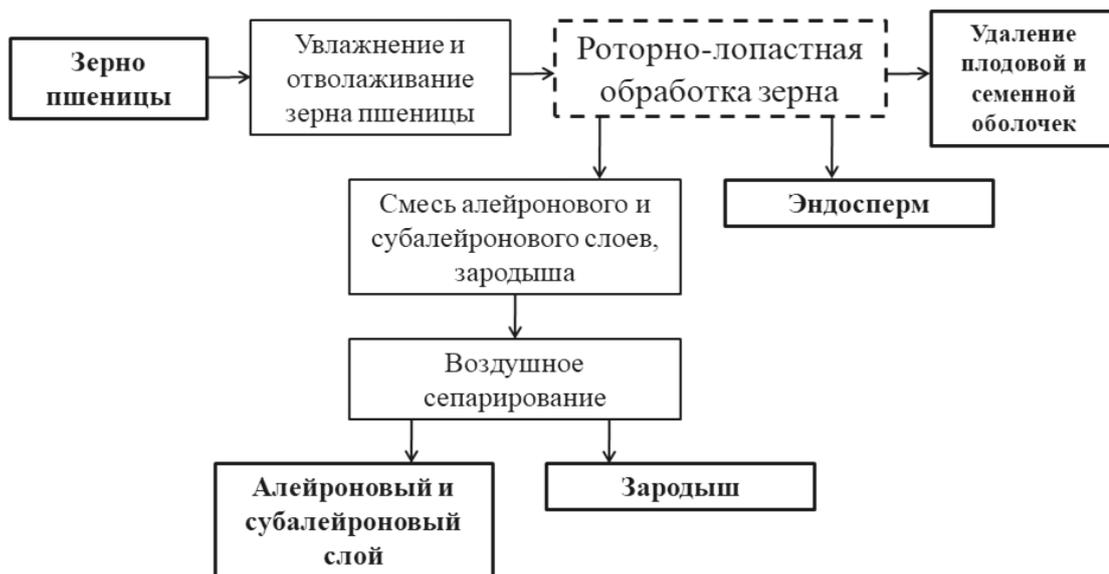


Рисунок 2.1 – Схема поэтапного шелушения зерна пшеницы

Для реализации разработанной новой схемы шелушения зерна пшеницы на первом этапе выполнения процесса шелушения срезается поверхностный слой, включающий плодовые и семенные оболочки массой ( $m_1$ ) и удаляется в отдельную емкость, затем отделяются алейроновый и субалейроновые слои ( $m_2$ ) совместно с зародышем ( $m_3$ ), что составляет суммарный объем  $(m_2 + m_3) = m_4$ , при этом происходит отделение эндосперма ( $m_5$ ). Совместная масса ( $m_4$ ) поступает на воздушное сепарирование, и производится разделение массы ( $m_4$ ) на массы ( $m_2$ ) и ( $m_3$ ).

Для реализации технологического процесса поэтапного шелушения зерна пшеницы на основе новой разработанной технологической схемы (рис.2.1) разработана кинематическая схема роторно-лопастного шелушителя зерна пшеницы представленная на рисунке 2.2.

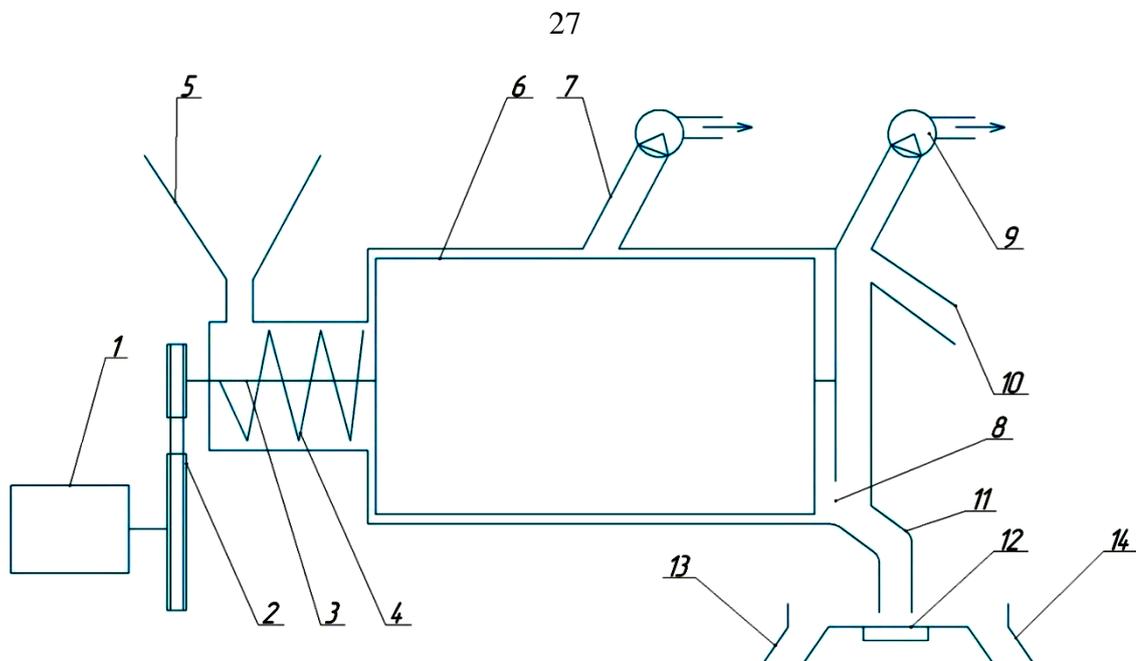


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема роторно-лопастного шелушителя

Устройство для совершенствования технологии поэтапного удаления поверхностных слоев зерна пшеницы при шелушении работает следующим образом. Включается электродвигатель 1 и с помощью клиноременной передачи 2 передает крутящий момент на вал 3, на котором установлен шнек 4, перемещающий зерно, поступающее из бункера 5 в камеру шелушения 6. В камере шелушения 6 происходит поэтапное удаление плодовой и семенной оболочек, которые удаляются через патрубок 7, далее через отверстие 8 происходит выход из камеры продуктов шелушения, при этом происходит отделение шелушенного зерна (эндосперма) и нешелушенного зерна которое выходит через патрубок 11, а отделение алейронового, субалейронового слоев и зародыша с последующим разделением на фракцию алейронового и субалейронового слоев удаляемых через патрубок 9 и зародыш удаляемый через патрубок 10. При этом шелушенное и нешелушенное зерно попадают на вибростол 12 где происходит их разделение на фракции шелушенное зерно (эндосперм) патрубком 13 и нешелушенное зерно патрубком 14.

## 2.2. Аналитическая модель совершенствования технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы

С использованием математической теории аналитических функций многих переменных, регрессионного анализа и теории оптимальных процессов разработана математическая (более точно – аналитическая) модель для проведения исследований и последующего обоснованного выбора числовых значений технологических (величина зазора лопатки), конструктивных (количество лопаток) и режимных (длительность увлажнения) параметров, обеспечивающих повышение эффективности эксплуатации предложенной установки в соответствии с интегральным показателем качества, составленным по комплексу характерных процессов шелушения. Общая схема аналитической модели функционирования системы совершенствования технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы представлена на рисунке 2.3.

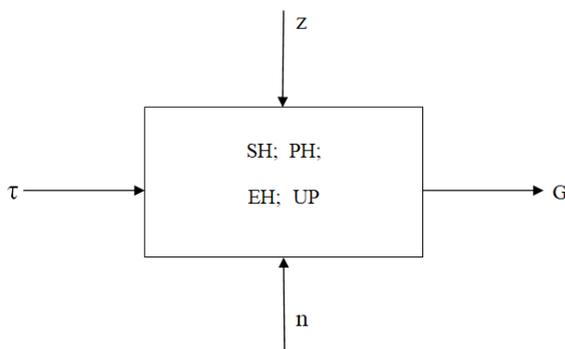


Рисунок 2.3 – Схема аналитической модели функционирования системы

В качестве общих управляющих показателей для комплекса технологических процессов шелушения выбраны: длительность увлажнения зерна ( $\tau$ , мин); величина зазора лопатки ( $z$ , мм); количество установленных лопаток ( $n$ , шт.). Другие показатели определены как управляемые. По ходу исследований выбранные управляемые показатели технологических процессов шелушения разделены на два класса: результатные и энергетические показатели. В качестве характерных показателей, определяющих обобщенный показатель комплекса

процессов шелушения ( $G, \text{ усл.ед.}$ ), выбраны: относительная масса шелушённых зерен ( $SH, \%$ ); продолжительность процессов шелушения ( $PH, \text{ с}$ ); энергетические затраты на процессы шелушения ( $EH, \text{ Вт}\cdot\text{с}$ ); потребляемая мощность ( $UP, \text{ Вт}$ ).

Таким образом, разрабатываемая аналитическая модель включает модельное представление процессов шелушения посредством аналитических функций результатных и энергетических показателей; модельное представление оптимума процессов шелушения через оптимизацию этих функций в заданных областях изменения управляющих показателей; составление обобщенного показателя и задание интегрального критерия эффективности комплекса процессов шелушения (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Структурная схема аналитической модели совершенствования технологических процессов поэтапного шелушения

Выбор эффективных технологических, конструктивных и режимных параметров эксплуатации новой установки – это обоснование числовых значений одноименных управляющих, результатных, энергетических показателей технологических процессов, соответствующих оптимуму по интегральному критерию эффективности.

### 2.3. Модельное представление технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы

Аналитические функции трех переменных, представлявшие технологические процессы, определим в общем виде:

$$y(\tau, z, n) = G(\varphi(\tau), \psi(z), \chi(n)), \quad (2.1)$$

конкретизируем функцию (2.1) применением подстановок

$$x_1 \rightarrow \varphi(\tau), \quad x_2 \rightarrow \psi(z), \quad x_3 \rightarrow \chi(n), \quad (2.2)$$

к общей для всех процессов форме – полиномиальной функции трех переменных

$$\begin{aligned} G(x_1, x_2, x_3) = & b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \\ & + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + \\ & + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \\ & + b_{112} \cdot x_1^2 \cdot x_2 + b_{113} \cdot x_1^2 \cdot x_3 + b_{122} \cdot x_1 \cdot x_2^2 + b_{223} \cdot x_2^2 \cdot x_3 + \\ & + b_{133} \cdot x_1 \cdot x_3^2 + b_{233} \cdot x_2 \cdot x_3^2 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\ & + b_{111} \cdot x_1^3 + b_{222} \cdot x_2^3 + b_{333} \cdot x_3^3 + \\ & + b_{1123} \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{1223} \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3 + b_{1233} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2, \quad (2.3) \end{aligned}$$

а также выбором числовых коэффициентов:  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{112}, b_{113}, b_{122}, b_{223}, b_{133}, b_{233}, b_{123}, b_{111}, b_{222}, b_{333}, b_{1123}, b_{1223}, b_{1233}$ .

Наличие (отсутствие) особенности исследуемого технологического процесса при начальных значениях управляющих показателей  $\tau = 0, z = 0, n = 0$

определяет наличие (отсутствие) особой точки аналитической функции  $y(\tau, z, n)$ , представляющей данный процесс [3, 4].

Так, особенность при  $\tau = 0$  в точке  $(0, 0, 0)$  соответствует подстановке  $x_1 \rightarrow \tau^r$  (точка ветвления при некотором нецелом рациональном значении  $r = \frac{p}{q}$ ).  
Особенность при  $z = 0$  в точке  $(0, 0, 0)$  соответствует подстановке  $x_2 \rightarrow \ln z$  (логарифмическая точка). Если имеется особенность при  $n = 0$  в точке  $(0, 0, 0)$ , то применяется подстановка  $x_3 \rightarrow \ln n$  (логарифмическая точка).

Если отсутствует особенность при  $\tau = 0$ , то применяем подстановку  $x_1 \rightarrow \tau$  и аналогично поступаем, когда нет особенностей при  $z = 0$  и  $n = 0$ , то есть применяем подстановки  $x_2 \rightarrow z$  и  $x_3 \rightarrow n$ .

Вид аналитической функции  $NS(\tau, z, n)$ , описывающей процесс формирования фракции шелушенных зерен исходя из общего вида функции  $G(x_1, x_2, x_3)$  и применяемых подстановок.

Устанавливаем, что данный процесс имеет особенность при  $\tau = 0$ , не имеет особенности при  $z = 0$ , имеет особенность при  $n = 0$ . Поэтому, применив предписываемые подстановки к  $G(x_1, x_2, x_3)$  получим:

$$x_1 \rightarrow \tau^r, x_2 \rightarrow z, x_3 \rightarrow \ln n, NS(\tau, z, n) = G(\tau^r, z, \ln n) \quad (2.4)$$

Исходя из установленного вида аналитической функции, методами регрессионного анализа определяем числовые значения всех коэффициентов:  $r, b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{112}, b_{113}, b_{122}, b_{123}, b_{133}, b_{233}, b_{123}, b_{111}, b_{222}, b_{333}, b_{1123}, b_{1223}, b_{1233}$ , рассматриваемых в качестве коэффициентов регрессии

$$y = y(\tau, z, n) + \varepsilon, \quad (2.5)$$

где  $\varepsilon$  – достаточно малое отклонение опытных данных от теоретически прогнозируемых данных (от поверхности отклика).

В данном случае  $r = \frac{1}{2}$  подобрано методом наименьших квадратов исходя из числовых значений управляющих и основных результатных показателей технологических процессов шелушения зерна пшеницы, полученных по вариантам опытов [19, 26, 28].

Формирование фракции нешелушенных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ), представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{2}}, z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{2}} + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau \cdot z + b_{113} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{2}} + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln^2 n. \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

Формирование фракции шелушенных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n. \quad (2.7)
 \end{aligned}$$

Формирование фракции крупных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n. \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

Формирование фракции средних зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{2}}, z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{2}} + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau \cdot z + b_{113} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{2}} + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln^2 n. \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

Формирование фракции шелухи от крупных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n. \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

Формирование фракции шелухи от средних зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n. \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

Продолжительность процесса шелушения ( $m_s, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, \ln z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot n^2 + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot \ln z \cdot n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot \ln z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot \ln^3 z + b_{333} \cdot n^3 + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot \ln z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot \ln^2 z \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n^2.
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Все значения рассматриваемых управляемых (результатных и энергетических) показателей по их физическому смыслу неотрицательны, поэтому схема вычисления значений функции  $y = y(\tau, z, n)$  должна быть скорректирована с помощью функции-срезки:

$$\eta(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \tag{2.13}$$

А именно определим скорректированное значение:

$$y(\tau, z, n) := \eta(y(\tau, z, n)), \tag{2.14}$$

сохранив прежние обозначения для каждой функции.

С использованием полученных (и скорректированных) аналитических зависимостей результатных показателей  $y = y(\tau, z, n)$  от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) при уровне детерминации 96,28 % рассчитаны исправленные значения данных показателей [31, 36, 52].

Исходя из известных значений основного энергетического показателя – энергетических затрат на процессы шелушения зерна пшеницы ( $EH, \text{Вт} \cdot \text{с}$ ), определим производные энергетические показатели: энергоемкости шелушения крупных и средних зерен, потребляемая мощность.

Энергоемкость шелушения крупных зерен пшеницы  $\left( UK, \frac{Bm \cdot c}{\%} \right)$  определена посредством отношения энергетических затрат на процессы шелушения зерна пшеницы  $(EH, Bm \cdot c)$  к относительной массе крупных зерен  $(KR, \%)$ :

$$UK = \frac{EH}{KR}. \quad (2.15)$$

Энергоёмкость шелушения средних зерен пшеницы  $\left( US, \frac{Bm \cdot c}{\%} \right)$  определена посредством отношения энергетических затрат на процессы шелушения зерна пшеницы  $(EH, Bm \cdot c)$  к относительной массе средних зерен  $(SR, \%)$ :

$$US = \frac{EH}{SR}. \quad (2.16)$$

Потребляемая мощность по продолжительности шелушения зерен пшеницы  $(UP, Bm)$  определена посредством отношения энергетических затрат на процессы шелушения зерна пшеницы  $(EH, Bm \cdot c)$  к продолжительности процессов шелушения  $(PH, c)$ :

$$UP = \frac{EH}{PH}. \quad (2.17)$$

Энергетические затраты на процессы шелушения  $(y, Bm \cdot c)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна  $(\tau, \text{мин})$ , величины зазора лопатки  $(z, \text{мм})$ , количества установленных лопаток  $(n, \text{шт.})$  представляется функцией:

$$\begin{aligned} y = G(\tau, \ln z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot n + \\ & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot n^2 + \\ & + b_{12} \cdot \tau \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot \ln z \cdot n + \\ & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot n + \\ & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot \ln z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n + \\ & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot \ln^3 z + b_{333} \cdot n^3 + \\ & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot \ln z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot \ln^2 z \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n^2. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Энергоемкость шелушения крупных зерен  $\left(y, \frac{Вт \cdot с}{\%}\right)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна  $(\tau, мин)$ , величины зазора лопатки  $(z, мм)$ , количества установленных лопаток  $(n, шт.)$  представляется полиномиальной функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot z + b_3 \cdot n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot n^2 + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot z \cdot n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot n^3 + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot z^2 \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot z \cdot n^2.
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

Энергоёмкость шелушения средних зерен  $\left(y, \frac{Вт \cdot с}{\%}\right)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна  $(\tau, мин)$ , величины зазора лопатки  $(z, мм)$ , количества установленных лопаток  $(n, шт.)$  представляется функцией:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, z, \ln n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot z + b_{13} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln^2 n.
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Потребляемая мощность по продолжительности шелушения зерен  $(y, Вт)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна  $(\tau, мин)$ , величины зазора лопатки  $(z, мм)$ , количества установленных лопаток  $(n, шт.)$  представляется функцией:

$$\begin{aligned}
y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
& + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
& + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
& + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
& + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
& + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
& + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n.
\end{aligned} \tag{2.21}$$

С использованием полученных аналитических зависимостей основного и производных энергетических показателей  $y = y(\tau, z, n)$  от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) при уровне детерминации 95,35 % рассчитаны исправленные значения данных показателей [2, 78, 88].

Заметим, что такая важная характеристика обрабатываемого материала, как влажность зерна пшеницы, явным образом не была введена в аналитические зависимости результатных и энергетических показателей процессов шелушения зерна  $y = y(\tau, z, n)$ . Однако это нетрудно исправить, выявив в аналитическом виде из данных наблюдений, взаимосвязь продолжительности увлажнения зерна и его влажностью.

Влажность зерна ( $y$ , %) в зависимости от длительности его увлажнения ( $\tau$ , мин) представляется функцией:

$$y = y(\tau) = a + b \cdot \tau + c \cdot \exp(-\tau). \tag{2.22}$$

Обратно: длительность увлажнения зерна ( $y$ , мин) в зависимости от его влажности ( $w$ , %) представляется функцией:

$$y = y(w) = \alpha \cdot w^\beta \cdot \exp(\gamma \cdot w). \tag{2.23}$$

Аналитические зависимости результатных и энергетических показателей  $y = y(\tau, z, n)$  от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) при уровне детерминации не менее 95 % могут быть преобразованы в эквивалентные зависимости от влажности зерна ( $w$ , %), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) в виде

$$y = y(\tau, z, n) = y(\tau(w), z, n) = y(\alpha \cdot w^\beta \cdot \exp(\gamma \cdot w), z, n). \quad (2.24)$$

Разработанные технические решения в анализируемых патентах показали, что основным направлением разработки новых конструкций шелушителей является снижение энергозатрат на процесс и металлоемкости разрабатываемой конструкции, обеспечение снятия наружной оболочки зерна за один рабочий проход, уменьшения габаритных размеров установок за счет использования центробежных шелушительных установок.

### Выводы по главе

1. На основе анализа существующих технологий и серийно выпускаемого современного технологического оборудования для шелушения зерна пшеницы была разработана новая технология и предложена кинематическая схема роторно-лопастного шелушителя зерна с использованием рабочего органа для поэтапного удаления поверхностных слоев зерна пшеницы.

2. Предложена аналитическая модель исследования технологических процессов поэтапного шелушения зерна пшеницы с использованием интегрального критерия эффективности, включающая построенные зависимости с уровнем детерминации 95 % и относительной погрешностью ниже 5 %, учитывающая особенности эксплуатации и области уровня энергетических затрат.

3. При использовании разработанной аналитической модели совершенствования технологических процессов шелушения зерна пшеницы теоретически обоснованы эффективные технологические, конструктивные и режимные параметры эксплуатации предложенной машины для шелушения.

## Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Программа экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Технология, оборудование бродильных и пищевых производств» и в научно-исследовательском испытательном центре по контролю качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

Для решения поставленных в работе задач экспериментальные исследования проводились по составленной программе исследований, включающей:

- изучение технологии шелушения зерна пшеницы;
- обоснование многофакторной модели экспериментального исследования процесса шелушения зерна пшеницы на разработанной установке для шелушения;
- разработка и изготовление опытно-лабораторной установки для шелушения;
- проведение полнофакторного эксперимента второго порядка на опытно-лабораторной установке;
- обработка экспериментальных данных и получение регрессионных зависимостей, описывающих процесс шелушения зерна пшеницы на установке для шелушения, и их анализ;
- определение оптимальных технических параметров процесса шелушения зерна пшеницы на разработанной установке для шелушения, на основе полученных результатов экспериментальных данных и зависимостей.

Общий алгоритм экспериментальных исследований представлен на рисунке 3.1.

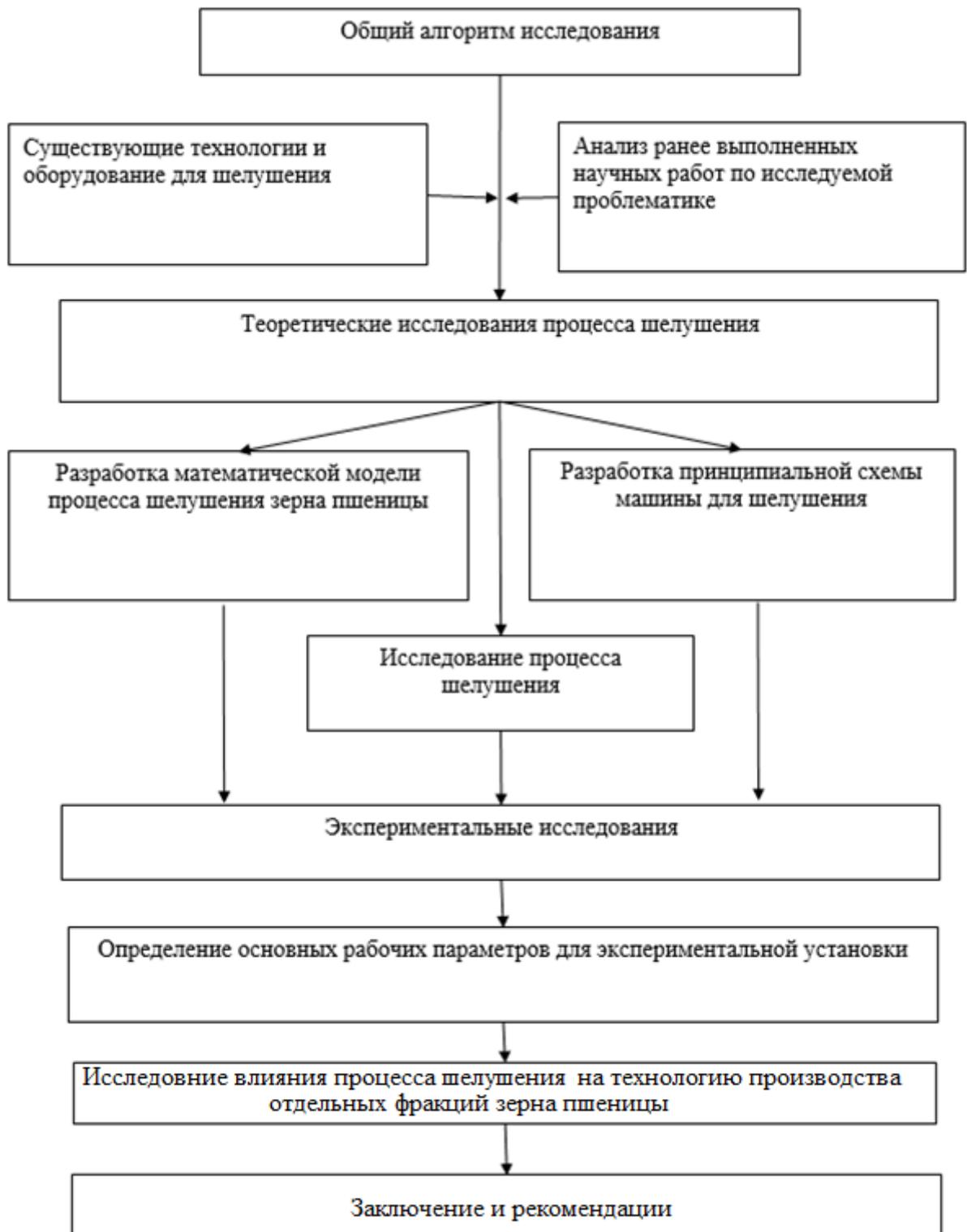


Рисунок 3.1 – Алгоритм экспериментальных исследований

Выполнение научных исследований по алгоритму последовательности их выполнения, представленной на рисунке 3.1, позволит получить отдельные фракции зерна пшеницы для производства пищевых продуктов, перечень которых представлен на рисунке 3.2 [153, 154].



Рисунок 3.2 – Технологическая схема производства пищевых продуктов из отдельных фракций шелушения

### 3.2. Измерительная аппаратура и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях Института пищевых производств, инжиниринговом центре, а также в научно-исследовательском испытательном центре Красноярского государственного аграрного университета.

При проведении экспериментальных исследований использовалась следующая измерительная аппаратура [122, 123, 131].

Для определения фактического числа оборотов приводного вала ротора шелушильной камеры бесконтактным способом фотоэлектрическим приемником и лазером использовался цифровой тахометр АТ-8 (контактно-бесконтактный). Общий вид тахометра приведен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Измеритель числа оборотов (тахометр) лазерный, контактно-бесконтактный АТ-8

Взвешивание продуктов шелушения осуществлялось с помощью аналитических весов VIBRA CT, с классом точности 1. Максимальный вес – 120 г, минимальный вес – 0,01 г. Дискретность 0,0001 г. Общий вид аналитических весов представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Весы аналитические, общий вид

Текущая влажность зерна пшеницы определялась с использованием анализатора влажности AND MF-50 (рис. 3.5), который предназначен для экспресс-анализа влажности в производственных и исследовательских лабораториях, пищевой, химической, фармацевтической промышленности, а также при входном и выходном контроле продукции. Принцип работы заключается в анализе влаги, испаряющейся при нагревании образца.



Рисунок 3.5 – Общий вид аналитического анализатора влажности AND MF-50

Для уменьшения вероятности ошибки эксперимента, при измерении технологических характеристик зерна пшеницы, были использованы современные цифровые приборы:

– цифровой штангенциркуль типа «ШЦ» с низкой погрешностью и малым шагом измерения, общий вид представлен на рисунке 3.6;



Рисунок 3.6 – Электронный штангенциркуль

– электронный микрометр «Зубр-244882-25» с диапазоном измерения 0-25 мм, погрешность прибора составляет 1 мкм, общий вид микрометра представлен на рисунке 3.7;



Рисунок 3.7 – Микрометр цифровой «Зубр 244882-25»

– монокулярный цифровой микроскоп Levenhuk Rainbow D2L, 0,3 Мпикс, увеличение в диапазоне от 40 до 400 крат, общий вид микроскопа приведен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Монокулярный цифровой микроскоп Levenhuk Rainbow D2L

Замеры крупности отдельных фракций шелушенного и нешелушенного зерна, плодовых и семенных оболочек, алейронового и субалейронового слоев определяли использованием набора лабораторных сит (рис. 3.9, 3.10) [145].



Рисунок 3.9 – Набор лабораторных сит



Рисунок 3.10 – Рассев пробы шелушенного зерна

### **3.3. Методика проведения экспериментальных исследований для оптимизации технологических процессов шелушения зерна пшеницы**

Проведение экспериментальных наблюдений за изменением случайной величины в каждом конкретном опыте приводит к построению статистических рядов и их математической обработке по известным методикам [124, 136, 137]. Для определения параметров роторно-лопастного шелушителя были проведены экспериментальные исследования по определению длины и толщины зерна пшеницы, толщины слоя плодородных и семенных оболочек, алейронового и субалейронового слоев, диаметра зародышей. Экспериментальные данные по технологическим параметрам зерна пшеницы приведены в приложении 1.

Основной характеристикой положения случайной величины в статистическом ряду является средняя арифметическая величина [3, 19], которая определяется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.1)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение статистического ряда;

$n$  – число опытов.

Каждое экспериментальное значение полученной переменной будет отличаться от средней случайной на незначительную величину, при этом создается рассеивание случайных величин, что определяется величиной размаха по формуле:

$$R = x_{max} - x_{min}, \quad (3.2)$$

где  $R$  – размах отклонения статистического ряда;

$x_{max}$  – максимальное значение статистического ряда;

$x_{min}$  – минимальное значение статистического ряда.

Важное значение при анализе статистических рядов имеет выявление процесса группирования отдельных значений  $x_i$  переменных вокруг среднестатистических величин  $\bar{x}$ . За количественную оценку меры рассеивания принимают сумму квадратов отклонений отдельных величин от среднего арифметического, которая определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3.3)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение.

Полученные величины характеристики статистического ряда являются основой для определения закона распределения исследуемой случайной величины по выбранным данным. Методы проверки соответствия предлагаемого исследования экспериментального закона распределения на основании выборочных данных теоретическому закону раскрыты в работах [4, 28, 36]. Для

определения закона распределения по основным экспериментальным данным используется коэффициент вариации, характеризующий меры относительного разброса случайной величины и показывающий, какую долю среднего значения этой величины составляет ее средний разброс, определяется по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (3.4)$$

где  $V$  – коэффициент вариации.

Определено, что обработка экспериментальных данных по нормальному закону распределения возможна при достижимых значениях коэффициента вариации от 0,25 до 0,33 [3, 4].

В математической статистике плотность вероятности случайных величин распределения по нормальному закону распределения имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.5)$$

где  $e$  – основание нормальных логарифмов, равное 2,719;

$\pi$  – число, равное 3,142;

$x_i$  – конкретное значение признака;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое;

$\sigma$  – стандартное отклонение.

Проверку сходимости экспериментальных и теоретических параметров нормального закона распределения проверяют по критерию  $\chi^2$  {хи-квадрат} – Пирсона [4, 28, 36].

При этом достаточно малую вероятность, при которой событие можно считать практически невозможным, называют уровнем значимости.

На практике обычно принимают уровни значимости, заключённые между 0,01 и 0,05,  $\alpha=0,05$  - это 5 % уровень значимости.

В качестве критерия проверки гипотезы примем величину:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n_i}, \quad (3.6)$$

где  $n_i$  – эмпирические частоты, полученные из выборки;

$n'_i$  – теоретические частоты, найденные теоретическим путем.

Доказано, что при  $n \rightarrow \infty$  закон распределения случайной величины {1} независимо от того, по какому закону распределена генеральная совокупность, стремится к закону  $\chi^2$  {хи-квадрат} с  $k$  степенями свободы.

Число степеней свободы находят по равенству:

$$k = S - 1 - r, \quad (3.7)$$

где  $S$  – число групп интервалов;

$r$  – число параметров.

Нормальное распределение:  $r = 2$ ,  $k = S - 3$ .

Проверка гипотезы по критерию Пирсона.

1. Для проверки гипотезы вычисляют теоретические частоты и находят:

$$\chi_{\text{набл}}^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}. \quad (3.8)$$

2. По таблице критических точек распределения  $\chi^2$  по заданному уровню значимости  $a$  и числу степеней свободы  $k$  находят  $\chi_{\text{кр}}^2(a, k)$ .

3. Если  $\chi_{\text{набл}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2$ , то нет оснований отвергать гипотезу; если не выполняется данное условие, то отвергают.

Для контроля вычислений применяют формулу для  $\chi^2$  в виде:

$$\chi_{\text{набл}}^2 = \sum \frac{n_i^2}{n'_i} - n. \quad (3.9)$$

Основным правилом нормального закона распределения является то, что практически все значения величины с вероятностью 0,997 лежат не далее трех сигм в любую сторону от математической средней. Произведение площади, занимаемой каждой из сигм, приведено на рисунке 3.11 [3, 4].

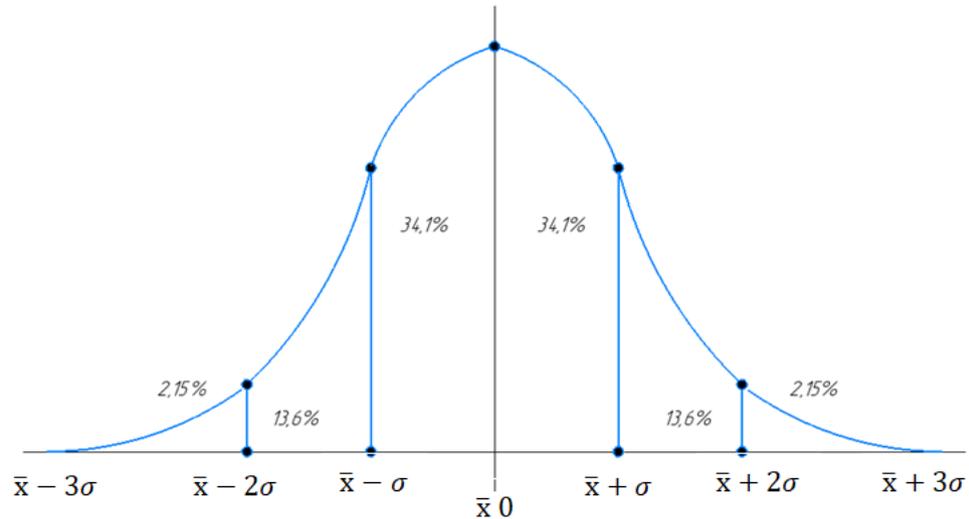


Рисунок 3.11 – Процентное содержание площадей, занимаемых тремя сигмами

Практическое использование правила трех сигм после обработки экспериментальных данных по нормальному закону распределения производится путем определения технологических параметров режущего инструмента исходя из поставленной задачи исследования.

При установке технологического зазора срезания наружной оболочки толщиной ( $\bar{x}$ ) с величиной  $2\bar{x}$  будет обработано 64,2 % зерна пшеницы, при установке  $4\bar{x}$  – обрабатывание составит 91,2 % и при установке технологического зазора  $6\bar{x}$  – обрабатывание составит 99,7 %, при этом не учитываются потери при установке параметров режущего инструмента при обработке 99,7 % поверхности зерна, что в последующем определяется экспериментальными данными при исследовании зерна на опытной установке.

## **Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1. Разработка и изготовление опытного образца роторно-лопастного шелушителя**

На основании анализа существующих конструкций устройств для шелушения зерна, а также результатов предварительных расчетов возникла необходимость конструкторской разработки нового устройства для выполнения технологической операции поэтапного шелушения зерна пшеницы [125-127, 133].

Для разработки новой конструкции шелушителя зерна проведены патентные исследования по российской и зарубежным информационным базам, что позволило разработать новую конструкцию роторно-лопастного шелушителя зерна пшеницы, техническая новизна подтверждается патентами на изобретения и полезные модели Российской Федерации №2709719 и №141853 [108, 113].

На основе кинематических схем, защищенных патентами РФ, разработана конструкторская документация на изготовление опытной лабораторной установки для шелушения зерна пшеницы с использованием нового метода роторно-лопастного шелушения. На рисунке 4.1 приведен общий вид разработанного устройства с габаритными размерами. Основные чертежи узлов конструкторской документации на разработанную лабораторную установку роторно-лопастного шелушителя приведены в приложении 2.

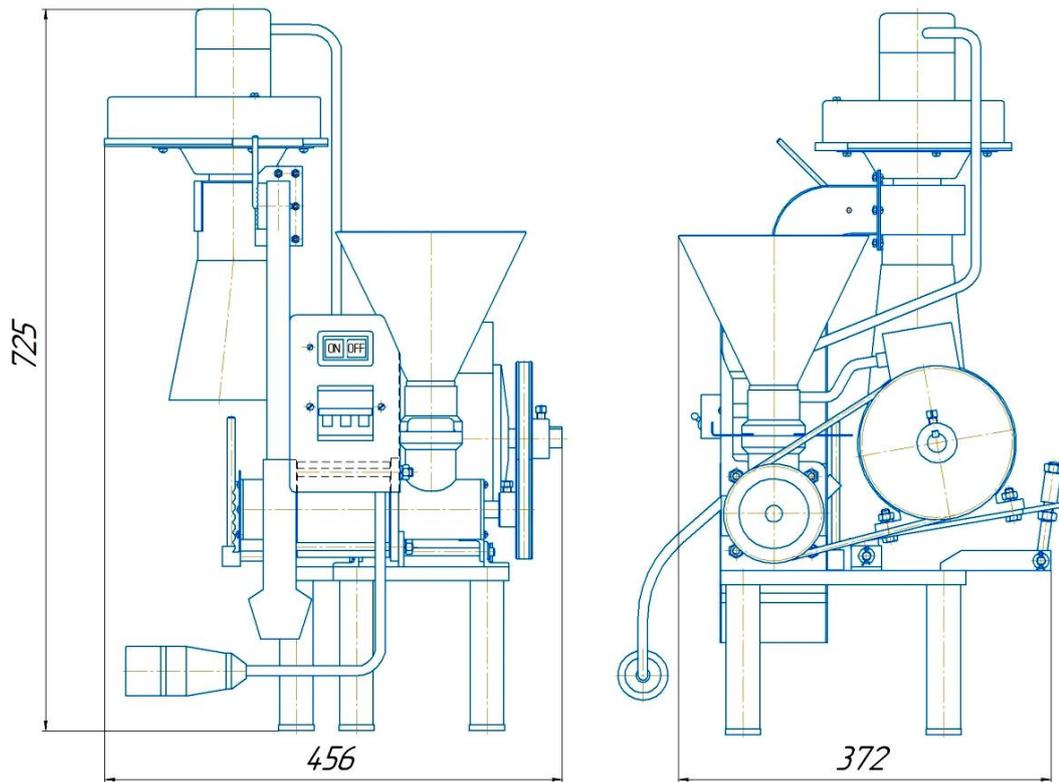


Рисунок 4.1 – Общий вид роторно-лопастного шелушителя

Схема узла роторно-лопастного шелушителя приведена на рисунке 4.2.

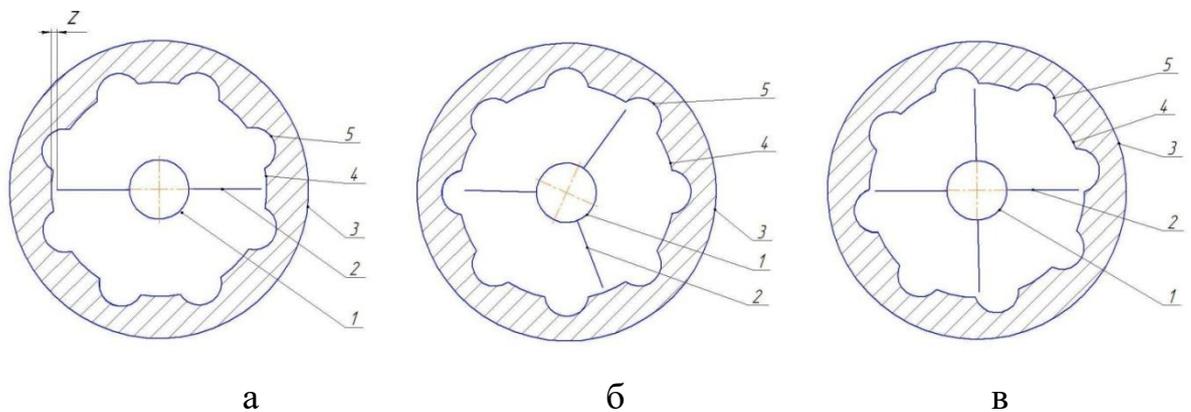


Рисунок 4.2 – Схема узла шелушения:

а – двухлопастной ротор; б – трехлопастной ротор, в – четырехлопастной ротор; z – рабочий зазор между лопастью и шелушильным барабаном; 1 – вал ротора; 2 – шелушильная лопасть; 3 – шелушильный барабан; 4 – сектор; 5 – канавка

Для проведения экспериментальных исследований изготовлена лабораторная роторно-лопастная установка для шелушения зерна пшеницы, общий вид приведен на рисунке 4.3 [128, 132, 134].

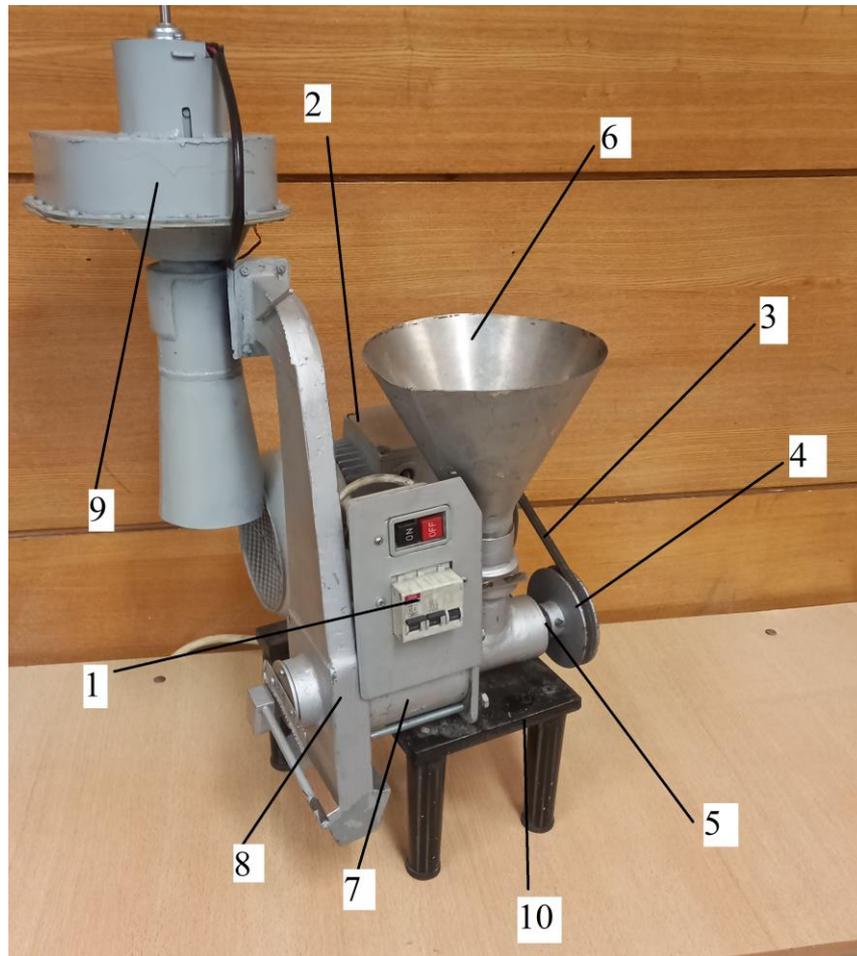


Рисунок 4.3 – Общий вид экспериментальной роторно-лопастной установки  
 1– пост управления кнопочный; 2 – электродвигатель; 3 – клиноременная передача; 4 – шкив; 5 – вал; 6 – бункер; 7 – камера шелушения; 8 – патрубок выхода продуктов шелушения; 9 – воздушный сепаратор; 10 – рама

На рисунке 4.4 приведен общий вид узла шелушения с набором экспериментальных сменных шелушильных пластин.

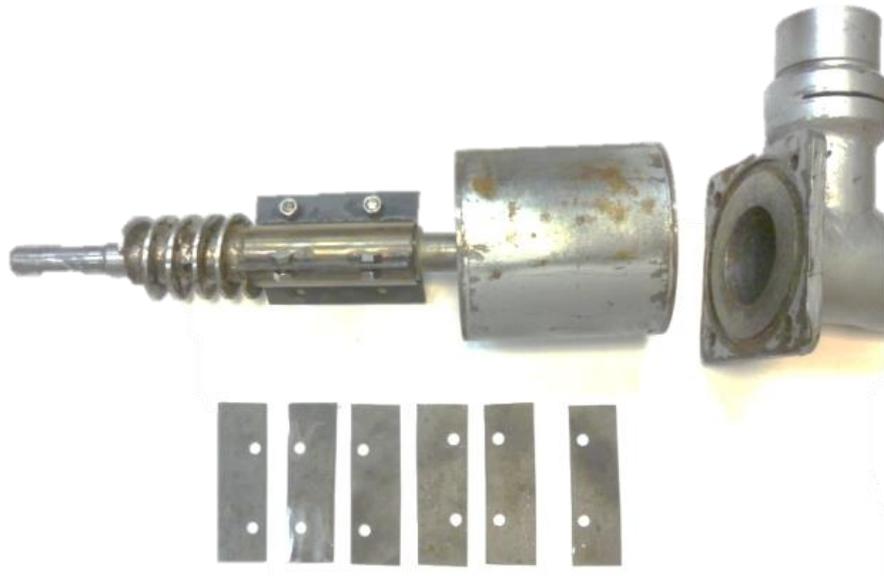


Рисунок 4.4 – Общий вид шелушильного узла

Разработанная нормативно-техническая документация и изготовленный опытный образец роторно-лопастного шелушителя зерна соответствуют требованиям к технической новизне, защищенной в авторских патентах РФ.

#### 4.2. Исследование технологических параметров зерна пшеницы для процесса шелушения

Результаты обработки статистического материала по длине зерна пшеницы представлены на рисунке 4.5.

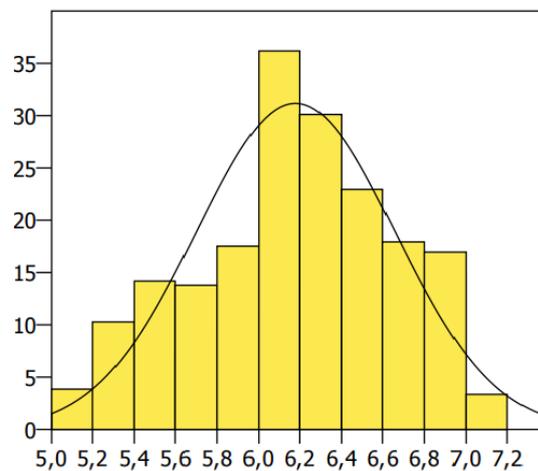


Рисунок 4.5 – Экспериментальные и теоретические параметры нормального закона распределения по длине зерна, мм

Теоретическая функция нормального закона распределения, используемого для обработки статистического экспериментального материала, представлена в виде:

$$f(t_1) = \frac{1}{0,48\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (4.1)$$

где  $t_i$  – текущее значение параметра в статистическом ряду;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра – 6,2;

$e$  – основание натурального логарифма – 2,71;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру – 3,14;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра;

$\delta$  – средне квадратичное отклонение случайной величины – 0,48

Оценка тесноты связей между экспериментальными и теоретическими параметрами производилась по  $\chi^2$  распределению Пирсона, и для параметров экспериментальных и теоретических зависимостей  $\chi^2=1,78$ ,  $\chi_{\Phi}^2=1,78 \leq \chi_{st}=2,73$ , это показывает, что гипотеза о нормальности распределения случайных чисел согласуется с наблюдениями при вероятности 0,95.

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по нормальному закону распределения сведены в приложении 1.

Результаты обработки статистического материала по диаметру зерна пшеницы представлены на рисунке 4.6.

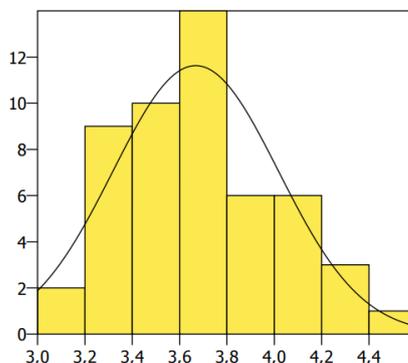


Рисунок 4.6 – Экспериментальные и теоретические параметры нормального закона распределения по диаметру зерна, мм

Теоретическая функция нормального закона распределения, используемого для обработки статистического экспериментального материала, имеет вид:

$$f(t_1) = \frac{1}{0,35\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (4.2)$$

где  $t_i$  – текущее значение параметра в статистическом ряду;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра – 3,7;

$e$  – основание натурального логарифма – 2,71;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру – 3,14;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра;

$\delta$  – средне квадратичное отклонение случайной величины – 0,35

Оценка тесноты связей между экспериментальными и теоретическими параметрами производилась по  $\chi^2$  распределению Пирсона, и для параметров экспериментальных и теоретических зависимостей  $\chi^2=1,78$ ,  $\chi_{\Phi}^2=1,78 \leq \chi_{st}=2,73$ , это показывает, что гипотеза о нормальности распределения случайных чисел согласуется с наблюдениями при вероятности 0,95.

Результаты обработки статистического материала по толщине плодовых и семенных оболочек зерна пшеницы представлены на рисунке 4.7.

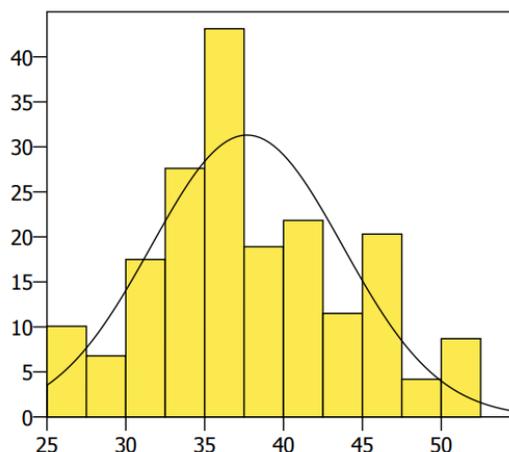


Рисунок 4.7 – Экспериментальные и теоретические параметры нормального закона распределения по толщине плодовых и семенных оболочек зерна, мкм

Теоретическая функция нормального закона распределения, используемого для обработки статистического экспериментального материала, имеет вид:

$$f(t_i) = \frac{1}{37,7\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (4.3)$$

где  $t_i$  – текущее значение параметра в статистическом ряду;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра – 6,7;

$e$  – основание натурального логарифма – 2,71;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру – 3,14;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра;

$\delta$  – средне квадратичное отклонение случайной величины – 37,7

Оценка тесноты связей между экспериментальными и теоретическими параметрами производилась по  $\chi^2$ - распределения Пирсона и для параметров экспериментальных и теоретических зависимостей  $\chi^2=1,78$ ,  $\chi^2_{\text{ф}}=1,78 \leq \chi_{st}=2,73$ , это показывает, что гипотеза о нормальности распределения случайных чисел согласуется с наблюдениями при вероятности 0,95.

Результаты обработки статистического материала по толщине алейронового и субалейронового слоя зерна пшеницы представлены на рисунке 4.8.

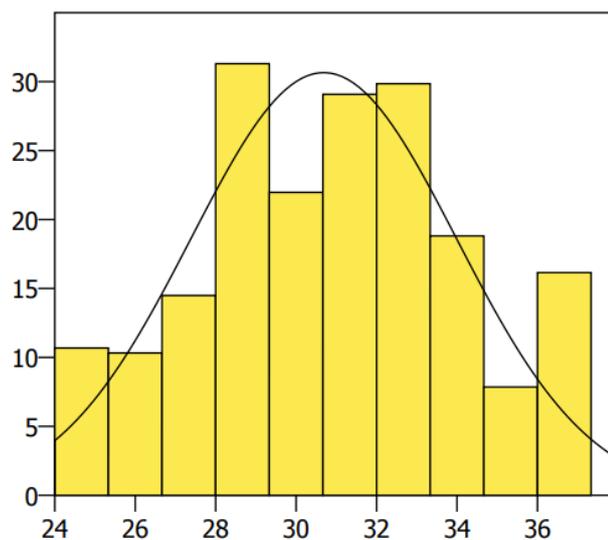


Рисунок 4.8 – Экспериментальные и теоретические параметры нормального закона распределения по толщине алейронового и субалейронового слоя зерна,

Теоретическая функция нормального закона распределения, используемого для обработки статистического экспериментального материала, имеет вид:

$$f(t_1) = \frac{1}{3,31\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (4.4)$$

где  $t_i$  – текущее значение параметра в статистическом ряду;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра – 30,7;

$e$  – основание натурального логарифма – 2,71;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру – 3,14;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра;

$\delta$  – средне квадратичное отклонение случайной величины – 3,31

Оценка тесноты связей между экспериментальными и теоретическими параметрами производилась по  $\chi^2$ - распределения Пирсона и для параметров экспериментальных и теоретических зависимостей  $\chi^2=1,78$ ,  $\chi^2_{\phi}=1,78 \leq \chi_{st}=2,73$ , это показывает что гипотеза о нормальности распределения случайных чисел согласуется с наблюдениями при вероятности 0,95.

Результаты обработки статистического материала по диаметру зародыша пшеницы представлены на рисунке 4.9.

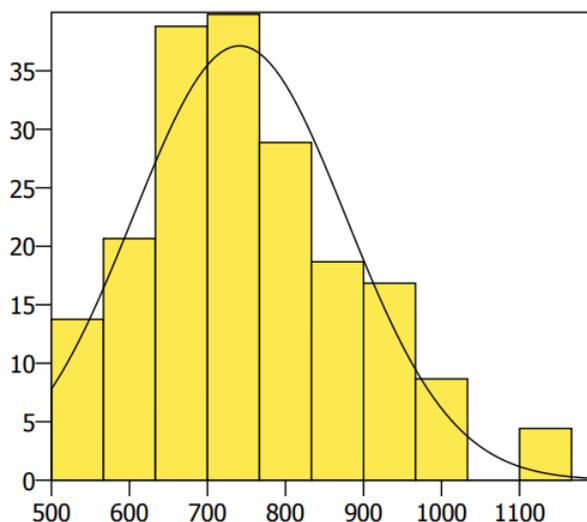


Рисунок 4.9 – Экспериментальные и теоретические параметры нормального закона распределения по размеру зародыша зерна пшеницы, мкм

Теоретическая функция нормального закона распределения, используемого для обработки статистического экспериментального материала, имеет вид:

$$f(t_1) = \frac{1}{136\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (4.5)$$

где  $t_i$  – текущее значение параметра в статистическом ряду;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра – 741;

$e$  – основание натурального логарифма – 2,71;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру – 3,14;

$\bar{t}$  – среднее значение параметра;

$\delta$  – средне квадратичное отклонение случайной величины – 136.

Оценка тесноты связей между экспериментальными и теоретическими параметрами производилась по  $\chi^2$ – распределения Пирсона и для параметров экспериментальных и теоретических зависимостей  $\chi^2=1,78$ ,  $\chi_{\text{ф}}^2=1,78 \leq \chi_{st}=2,73$ , это показывает, что гипотеза о нормальности распределения случайных чисел согласуется с наблюдениями при вероятности 0,95.

### 4.3. Результаты экспериментальных исследований

В качестве объекта исследования было взято зерно мягкой пшеницы сорта Новосибирская 15, выращенной в Красноярском крае, с натурой 740 г/л, исходной влажностью 14 %, количеством зерновой массы и сорных примесей 2,0 и 0,5 % соответственно. Результаты экспериментальных исследований отражены в работах автора [128-130].

Экспериментальные исследования выполнялись на опытном образце по двухфакторному плану эксперимента второго порядка, факторы (независимые переменные) приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Переменные факторы эксперимента

Обозначение входного параметра	Наименование входного параметра
$X_1$	Длительность увлажнения зерна пшеницы
$X_2$	Зазор между лопаткой и корпусом устройства
$X_3$	Число лопастей, шт.

Входной параметр  $X_1$  выбран, так как при шелушении зерна пшеницы большое значение имеет степень влажности эндосперма, это обуславливает ослабление или усиление сопротивляемости к разрушению: чем влажнее эндосперм, тем легче он сохраняется от разрушения.

Входной параметр  $X_2$  выбран в связи с тем, что величина зазора выбирается в зависимости от крупности зерна и влияет на его очистку, качество оголения и цельность шелушенного зерна.

Входной параметр  $X_3$  выбран в связи с тем, что количество лопастей выбирается в зависимости от производительности установки и числа оборотов.

В результате теоретических исследований были определены параметры оптимизации модели (выходные параметры) (табл. 4.2), показатели переменных факторов (табл. 4.3).

Таблица 4.2 – Параметры оптимизации модели

Обозначение выходного параметра	Наименование выходного параметра
$Y_1$	Масса крупных и крупнее 1,7 %
$Y_2$	Масса от 1,7 до 1,0 %
$Y_3$	Масса шелухи, %
$Y_4$	Масса мучки, %
$Y_5$	Влажность зерна, %
$Y_6$	Длительность процесса шелушения, с

Таблица 4.3 – Показатели переменных факторов эксперимента

Уровень показателя	Значение показателя
X1	
-1	0%
0	10%
+1	20%
X2	
-1	1 мм
0	2 мм
+1	3 мм
X3	
-1	2шт
0	3шт
+1	4шт

Сбор данных по всем проведенным точкам плана эксперимента проводился в трехкратной повторности (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Экспериментальные образцы зерна пшеницы

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты исследований

Уровень входного параметра			Значение выходного параметра								
$x_1$	$x_2$	$x_3$	Влажность зерна, %	Масса нешелушенных, %	Масса шелушенных, %	Масса крупных >1,7, %	Масса ≤1,7 >1,0, %	Масса шелухи 1, %	Масса шелухи 2, %	Длительность шелушения, с	Энергоемкость, Вт,с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-1	-1	-1	5,5	5,015	0	30,330	48,501	6,600	9,554	5,00	41,6
0	-1	-1	16,0	0	17	4,977	68,559	0	5,746	8,56	71,0
1	-1	-1	18,5	0	18	9,813	63,353	8,834	0	7,12	59,1
-1	0	-1	5,5	52,326	0	18,757	27,375	0	1,542	7,08	58,7
0	0	-1	16,0	14,313	57,812	18,774	7,342	1,687	0,072	8,63	71,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	-1	18,5	2,700	58,100	32,150	6,225	0,506	0,320	7,04	58,4
-1	1	-1	5,5	91,111	0	2,857	4,567	0,813	0,652	6,79	56,3
0	1	-1	16,0	79	13	2,286	5,496	0	0,218	6,87	57,0
1	1	-1	18,5	75	15	3,304	5,861	0,835	0	7,56	62,7
-1	-1	0	5,5	3,447	0	13,588	64,874	7,468	10,622	4,55	37,8
0	-1	0	16,0	0	0,836	31,392	61,830	3,510	2,433	5,58	46,3
1	-1	0	18,5	0	1,021	20,258	68,042	6,564	4,115	5,88	48,8
-1	0	0	5,5	14,122	0	39,163	42,413	1,321	2,982	3,42	28,3
0	0	0	16,0	0	8,715	55,717	33,097	2,004	0,467	5,78	48,0
1	0	0	18,5	3,003	9,204	49,408	34,917	3,302	0,167	5,85	48,5
-1	1	0	5,5	92,042	0	1,739	5,230	0,428	0,560	5,87	48,7
0	1	0	16,0	82,008	12,000	1,100	4,441	0,244	0,207	7,5	62,3
1	1	0	18,5	72,487	13,749	8,386	4,853	0,480	0,046	5,03	41,7
-1	-1	1	5,5	2,140	0	33,720	52,160	0	11,980	4,20	34,9
0	-1	1	16,0	0	3	30,821	57,694	7,367	1,118	5,12	42,5
1	-1	1	18,5	0	2,715	23,223	60,598	7,847	5,617	5,46	45,3
-1	0	1	5,5		0	77,641	19,938	1,063	1,358	7,00	58,1
0	0	1	16,0	5,101	47,827	29,709	15,829	1,506	0,028	8,93	74,1
1	0	1	18,5	1,839	47,866	31,368	16,326	1,786	0,814	10,9	90,5
-1	1	1	5,5	70	0	8,673	19,986	0	1,341	6,47	53,7
0	1	1	16,0	60	17	15,062	7,611	0	0,326	6,65	55,2
1	1	1	18,5	58	20	17,567	4,088	0,197	0,148	8,40	69,7

#### 4.4. Выбор эффективных технологических, конструктивных и режимных параметров шелушения зерна пшеницы

Формирование фракции нешелушенных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией (4.6) и графически отражено на рисунке 4.11:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{2}}, z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{2}} + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau \cdot z + b_{113} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{2}} + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln^2 n, \quad (4.6)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=-36,46870684$ ;  $b_1=39,94372938$ ;  $b_{11}=2,601827232$ ;  $b_{111}=-0,1104580722$ ;  $b_{112}=-0,3861659992$ ;  $b_{1123}=0,1873340887$ ;  $b_{113}=-1,130237068$ ;  $b_{12}=-74,15830713$ ;  $b_{122}=19,63983937$ ;  $b_{1223}=-16,36005236$ ;  $b_{123}=55,95636235$ ;  $b_{1233}=4,24235957$ ;  $b_{13}=-23,45996651$ ;  $b_{133}=-9,655297917$ ;  $b_2=68,0104316$ ;  $b_{22}=7,421415478$ ;  $b_{222}=-7,972978734$ ;  $b_{223}=59,00782975$ ;  $b_{23}=-123,6516255$ ;  $b_{233}=-60,40520827$ ;  $b_3=33,8491548$ ;  $b_{33}=40,16552626$ ;  $b_{333}=20,5476972$  – коэффициенты регрессии.

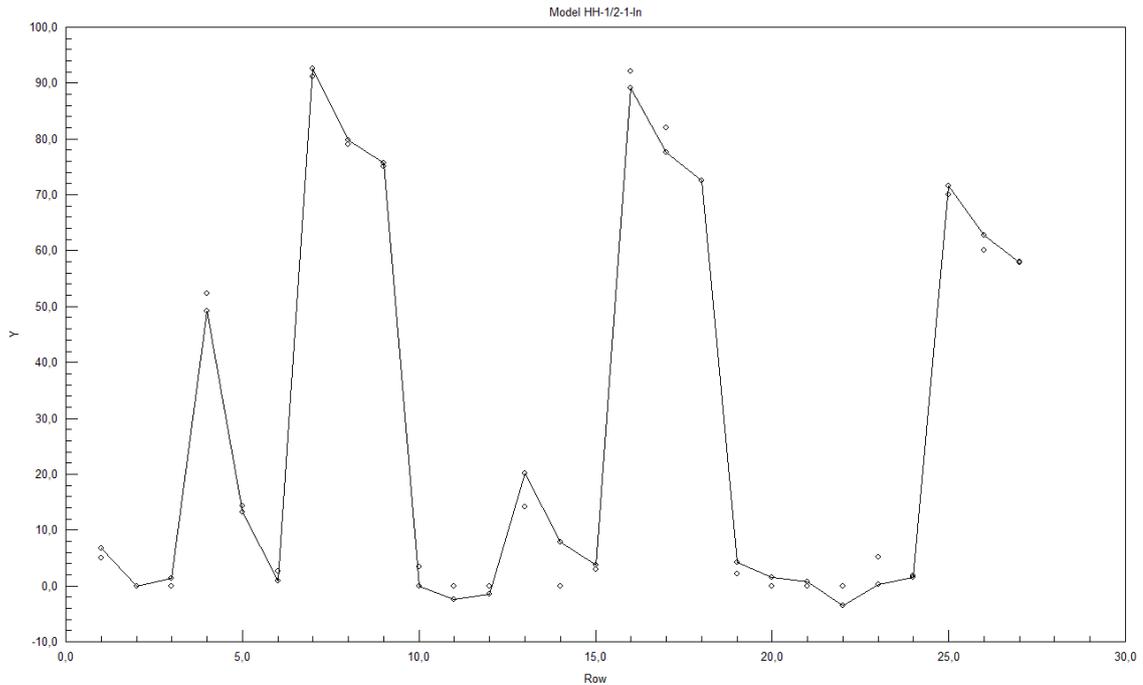


Рисунок 4.11 – Относительная масса нешелушенных зерен по вариантам опытов, %

Формирование фракции шелушенных зерен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ), представляется функцией (4.7) и графически отражено на рисунке 4.12:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
& + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
& + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
& + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n, \quad (4.7)
\end{aligned}$$

где  $b_0=29,06341112$ ;  $b_1=91,03187727$ ;  $b_{11}=21,37723134$ ;

$b_{111}=-8,963630171$ ;  $b_{112}=1,029791764$ ;  $b_{1123}=-0,9565419041$ ;  $b_{113}=4,254591797$ ;

$b_{12}=96,18676503$ ;  $b_{122}=-90,67483955$ ;  $b_{1223}=35,1077867$ ;  $b_{123}=-42,86007146$ ;

$b_{1233}=10,2107347$ ;  $b_{13}=-195,089448$ ;  $b_{133}=84,7416368$ ;  $b_2=5,216554827$ ;

$b_{22}=-10,17998744$ ;  $b_{222}=4,747312872$ ;  $b_{223}=0,4643170395$ ;  $b_{23}=-0,1439673669$ ;  $b_{233}=-$

$0,1678522928$ ;  $b_3=-88,26444363$ ;  $b_{33}=84,96471626$ ;  $b_{333}=-26,27149112$  –

коэффициенты регрессии.

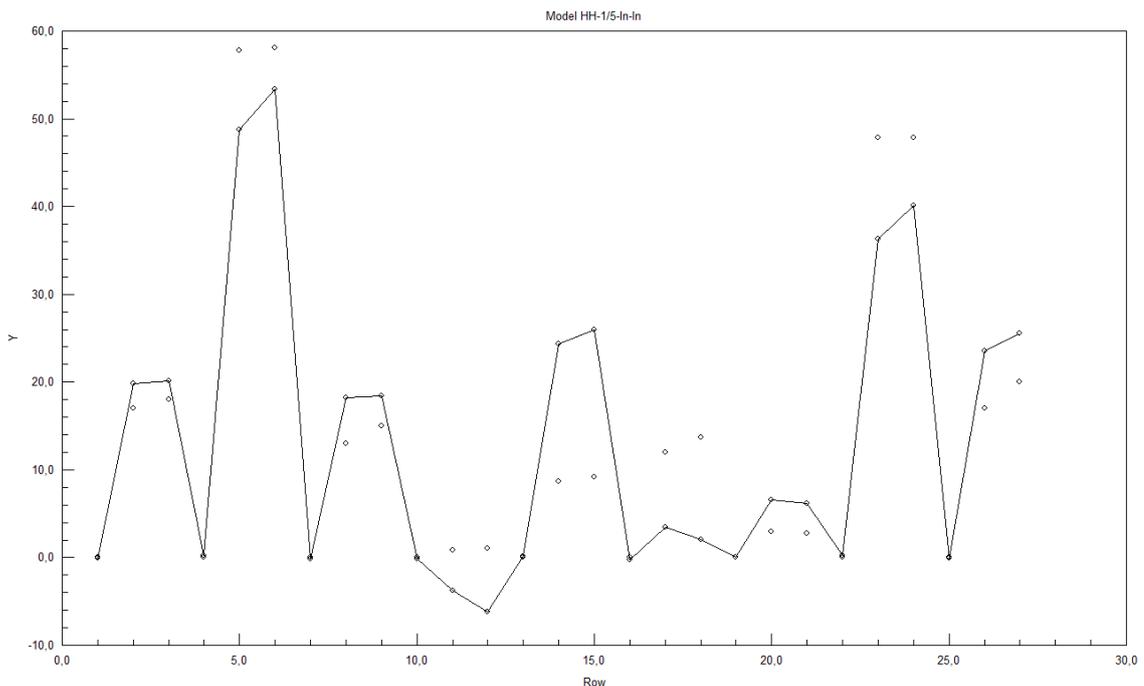


Рисунок 4.12 – Относительная масса шелушённых зёрен по вариантам опытов, %

Формирование фракции крупных зёрен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией (4.8) и графически отражено на рисунке 4.13:

$$\begin{aligned}
y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
& + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
& + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
& + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
& + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
& + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
& + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n, \quad (4.8)
\end{aligned}$$

где  $b_0=108,5744649$ ;  $b_1=-193,8299177$ ;  $b_{11}=-32,8200361$ ;  $b_{111}=25,78237861$ ;  
 $b_{112}=-41,73655797$ ;  $b_{1123}=55,66162363$ ;  $b_{113}=-58,90374375$ ;  $b_{12}=373,5832044$ ;  
 $b_{122}=-178,021236$ ;  $b_{1223}=185,241202$ ;  $b_{123}=-501,5678334$ ;  $b_{1233}=94,10811743$ ;  
 $b_{13}=439,8540188$ ;  $b_{133}=-156,6840402$ ;  $b_2=-226,7217508$ ;  $b_{22}=-27,35755941$ ;  
 $b_{222}=113,0684098$ ;  $b_{223}=-274,9100471$ ;  $b_{23}=507,5828915$ ;  $b_{233}=-97,20678325$ ;  
 $b_3=-106,1502498$ ;  $b_{33}=-56,87346205$ ;  $b_{333}=68,16994219$  – коэффициенты регрессии.

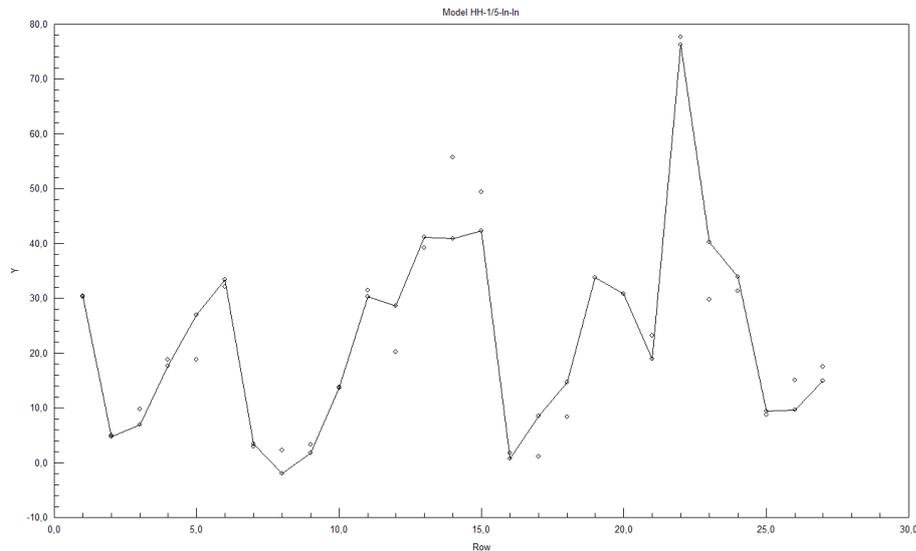


Рисунок 4.13 – Относительная масса крупных зёрен по вариантам опытов, %

Формирование фракции средних зёрен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ),

количества установленных лопаток ( $n$ , шт.), представляется функцией (4.9) и графически отражено на рисунке 4.14:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{2}}, z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{2}} + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau \cdot z + b_{113} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{2}} + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{2}} \cdot z \cdot \ln^2 n, \quad (4.9)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=-68,89568419$ ;  $b_1=84,93098562$ ;  $b_{11}=5,028959521$ ;  $b_{111}=-1,304094017$ ;  
 $b_{112}=2,040641579$ ;  $b_{1123}=-1,718122285$ ;  $b_{113}=4,448595019$ ;  $b_{12}=-82,92676317$ ;  
 $b_{122}=14,05521778$ ;  $b_{1223}=-10,37845099$ ;  $b_{123}=84,69339528$ ;  $b_{1233}=-17,92671542$ ;  $b_{13}=-$   
 $124,4115316$ ;  $b_{133}=35,04009503$ ;  $b_2=71,41778909$ ;  $b_{22}=12,92967202$ ;  
 $b_{222}=-5,001848026$ ;  $b_{223}=19,30328936$ ;  $b_{23}=-255,1819189$ ;  $b_{233}=89,5987167$ ;  
 $b_3=209,9058758$ ;  $b_{33}=101,8145312$ ;  $b_{333}=-109,5024858$  – коэффициенты регрессии.

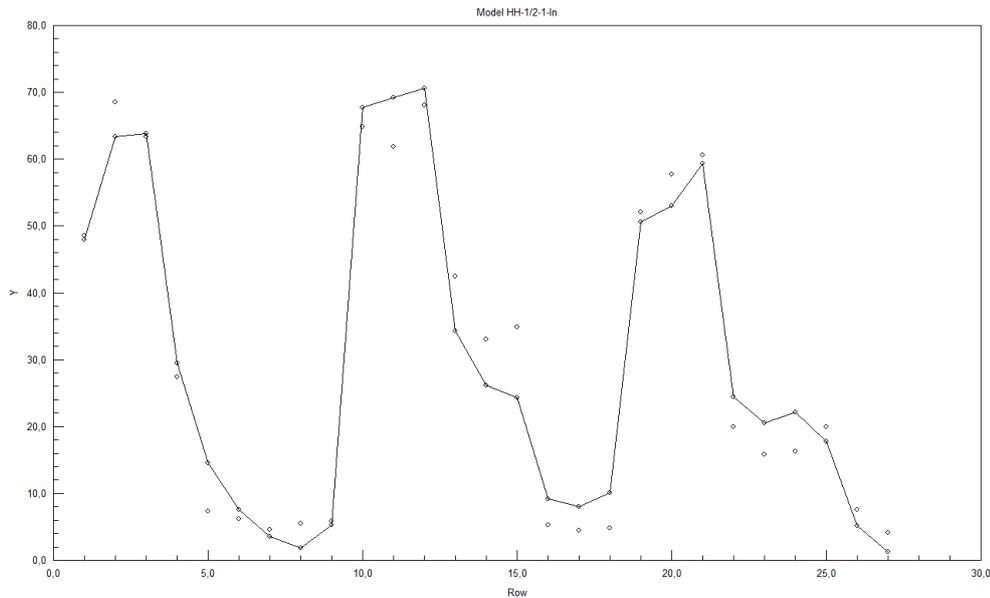


Рисунок 4.14 – Относительная масса средних зёрен по вариантам опытов, %

Формирование фракции шелухи от крупных зёрен ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией (4.10) и графически отражено на рисунке 4.15:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n, \quad (4.10)
 \end{aligned}$$

где  $b_0 = -7,941998138$ ;  $b_1 = -19,83553495$ ;  $b_{11} = 3,804607789$ ;  $b_{111} = 10,86578036$ ;

$b_{112} = -43,47892539$ ;  $b_{1123} = 32,77117147$ ;  $b_{113} = -30,10044413$ ;  $b_{12} = 65,44048936$ ;

$b_{122} = -12,43366129$ ;  $b_{1223} = 10,68679774$ ;  $b_{123} = -13,22884218$ ;  $b_{1233} = -29,75201454$ ;

$b_{13} = 4,264667488$ ;  $b_{133} = 26,61440464$ ;  $b_2 = 6,863892396$ ;  $b_{22} = 7,973250363$ ;

$b_{222} = 8,298079302$ ;  $b_{223} = -17,9431971$ ;  $b_{23} = -51,03180286$ ;  $b_{233} = 37,73172379$ ;

$b_3 = 21,97886963$ ;  $b_{33} = 8,774728101$ ;  $b_{333} = -14,73732886$  – коэффициенты регрессии.

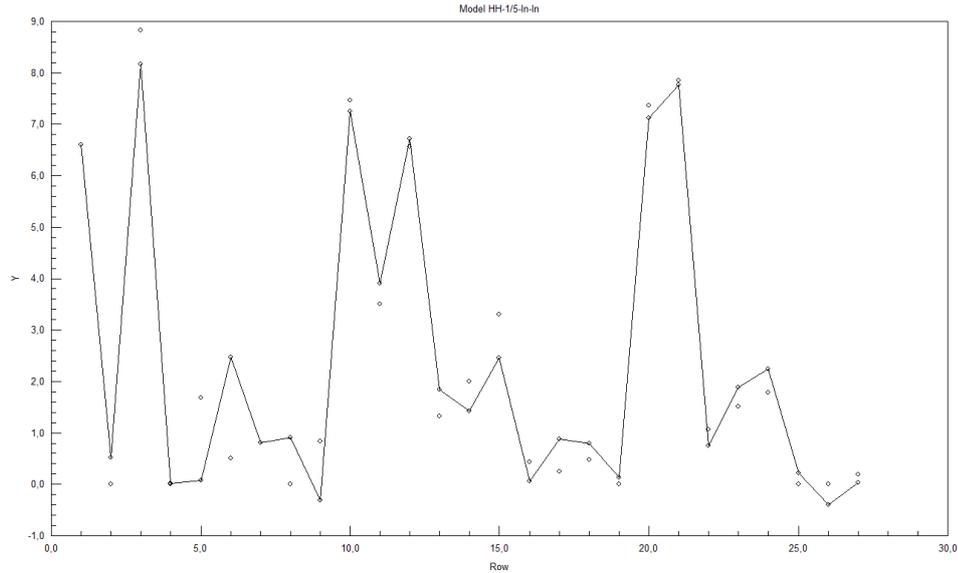


Рисунок 4.15 – Относительная масса шелухи от крупных зёрен по вариантам опытов, %

Формирование фракции шелухи от средних зёрен ( $y$ , %) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) представляется функцией 4.11 и графически отражено на рисунке 4.16:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n, \quad (4.11)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=7,133404887$ ;  $b_1=27,37530942$ ;  $b_{11}=-1,050869331$ ;  $b_{111}=-9,813728274$ ;  
 $b_{112}=36,01502519$ ;  $b_{1123}=-36,71640967$ ;  $b_{113}=35,40310638$ ;  $b_{12}=-56,20405108$ ;

$b_{122}=-0,4896450639$ ;  $b_{1223}=-2,660214024$ ;  $b_{123}=61,83521758$ ;  $b_{1233}=2,430459993$ ;  $b_{13}=-61,12482878$ ;  $b_{133}=-0,4674437577$ ;  $b_2=-10,12664391$ ;  $b_{22}=-2,208275796$ ;  $b_{222}=3,100975079$ ;  $b_{223}=5,365458487$ ;  $b_{23}=-3,359728007$ ;  $b_{233}=-2,37416517$ ;  $b_3=3,019842478$ ;  $b_{33}=0,7897898576$ ;  $b_{333}=-0,3903371987$  – коэффициенты регрессии.

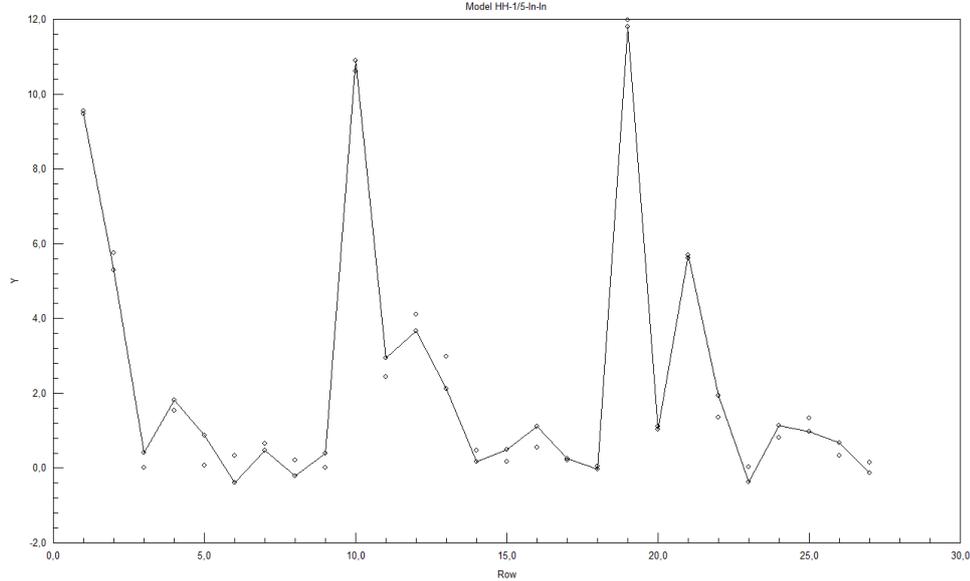


Рисунок 4.16 – Относительная масса шелухи от средних зёрен по вариантам опытов, %

Продолжительность процесса шелушения ( $m_s, \%$ ) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ), количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляется функцией (4.12) и графически отражено на рисунке 4.17:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, \ln z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot n^2 + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot \ln z \cdot n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot \ln z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot \ln^3 z + b_{333} \cdot n^3 + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot \ln z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot \ln^2 z \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n^2, \quad (4.12)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=10,07745103$ ;  $b_1=51,15067903$ ;  $b_{11}=-7,566720827$ ;  $b_{111}=0,2506870415$ ;  $b_{112}=0,02870292937$ ;  $b_{1123}=-0,007507320267$ ;  $b_{113}=0,01161710398$ ;

$b_{12}=-1,005051506$ ;  $b_{122}=0,7404866897$ ;  $b_{1223}=-0,3136059667$ ;  $b_{123}=0,1348150759$ ;  
 $b_{1233}=0,06763829666$ ;  $b_{13}=-0,2164590256$ ;  $b_{133}=-0,006230507315$ ;  $b_2=2,470455912$ ;  
 $b_{22}=-3,072349947$ ;  $b_{222}=2,049679837$ ;  $b_{223}=-0,462529945$ ;  $b_{23}=0,2746997131$ ;  
 $b_{233}=0,07735118339$ ;  $b_3=-1,441105376$ ;  $b_{33}=-0,942039814$ ;  $b_{333}=0,2397231267$  —  
 коэффициенты регрессии.

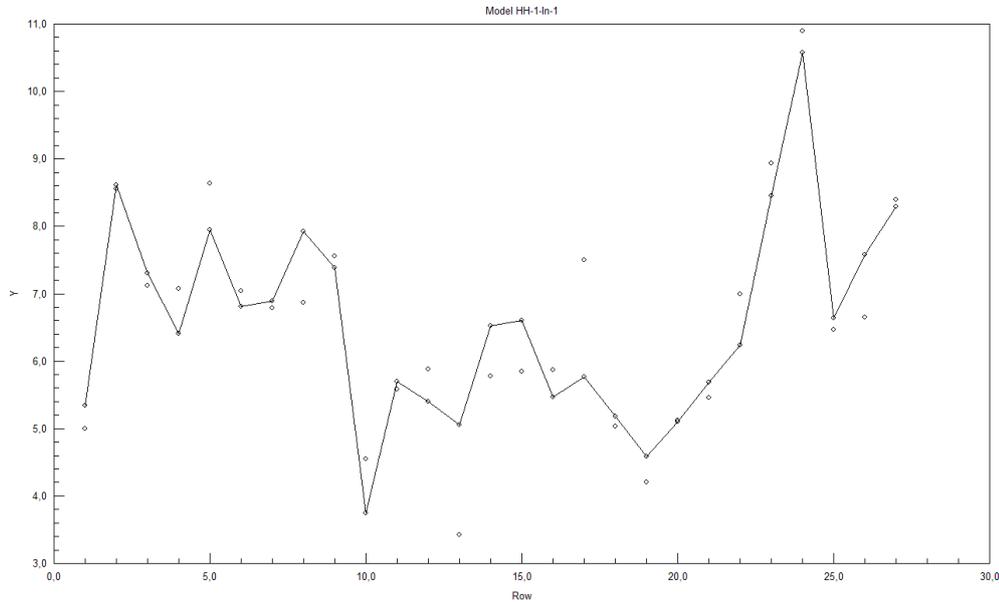


Рисунок 4.17 – Продолжительность шелушения по вариантам опытов, с  
 Энергетические затраты на процессы шелушения ( $y, \text{Вт} \cdot \text{с}$ ) в зависимости  
 от длительности увлажнения зерна ( $\tau, \text{мин}$ ), величины зазора лопатки ( $z, \text{мм}$ ),  
 количества установленных лопаток ( $n, \text{шт.}$ ) представляются функцией (4.13) и  
 графически отражено на рисунке 4.18:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, \ln z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot n^2 + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot \ln z \cdot n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot \ln z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot \ln^3 z + b_{333} \cdot n^3 + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot \ln z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot \ln^2 z \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot \ln z \cdot n^2, \quad (4.13)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=91,42035617$ ;  $b_1=56,44178973$ ;  $b_{11}=-7,593812889$ ;  $b_{111}=0,2404211912$ ;  
 $b_{112}=0,2357262764$ ;  $b_{1123}=-0,06175468349$ ;  $b_{113}=0,09604984638$ ;  $b_{12}=-8,250031206$ ;

$b_{122}=6,135319325$ ;  $b_{1223}=-2,603076573$ ;  $b_{123}=1,089870587$ ;  $b_{1233}=0,5641699756$ ;  $b_{13}=-1,776783014$ ;  $b_{133}=-0,05361898521$ ;  $b_2=7,616756774$ ;  $b_{22}=2,855773295$ ;  $b_{222}=1,359376346$ ;  $b_{223}=-3,883581075$ ;  $b_{23}=2,661351938$ ;  $b_{233}=0,5957529001$ ;  $b_3=-20,16283604$ ;  $b_{33}=-5,025364532$ ;  $b_{333}=1,683036359$  – коэффициенты регрессии.

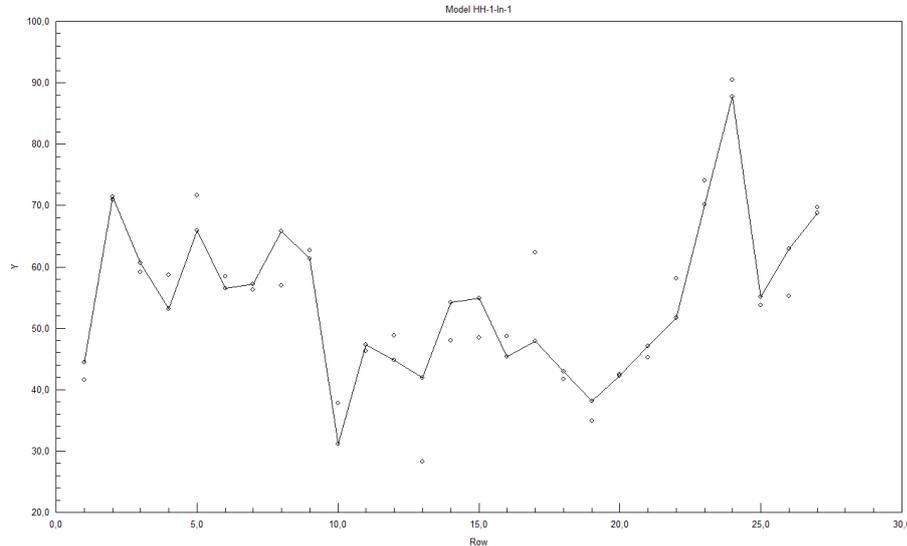


Рисунок 4.18 – Энергоёмкость шелушения по вариантам опытов, Вт·с

Энергоёмкость шелушения крупных зерен  $\left( y, \frac{Вт \cdot с}{\%} \right)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) представляется полиномиальной функцией (4.14) и графически отражено на рисунке 4.19:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, z, n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot z + b_3 \cdot n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot n^2 + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot z + b_{13} \cdot \tau \cdot n + b_{23} \cdot z \cdot n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot n + b_{122} \cdot \tau \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot n^2 + b_{233} \cdot z \cdot n^2 + b_{123} \cdot \tau \cdot n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot n^3 + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot z \cdot n + b_{1223} \cdot \tau \cdot z^2 \cdot n + b_{1233} \cdot \tau \cdot z \cdot n^2, \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=59,05985677$ ;  $b_1=56,8282868$ ;  $b_{11}=-7,520830696$ ;  $b_{111}=0,2455542629$ ;  $b_{112}=0,0002796962159$ ;  $b_{1123}=-0,0018016747$ ;  $b_{113}=0,04640788385$ ;

$b_{12}=-2,691328205$ ;  $b_{122}=0,8842659778$ ;  $b_{1223}=-0,1451648619$ ;  
 $b_{123}=-0,001182049109$ ;  $b_{1233}=0,1496255759$ ;  $b_{13}=-2,514107602$ ;  $b_{133}=0,1151655945$ ;  
 $b_2=-77,82368033$ ;  $b_{22}=-15,68885103$ ;  $b_{222}=5,243366071$ ;  $b_{223}=-2,118377379$ ;  
 $b_{23}=70,87956016$ ;  $b_{233}=-11,03625801$ ;  $b_3=-28,22422356$ ;  $b_{33}=-5,532824663$ ;  
 $b_{333}=2,117056293$  – коэффициенты регрессии.

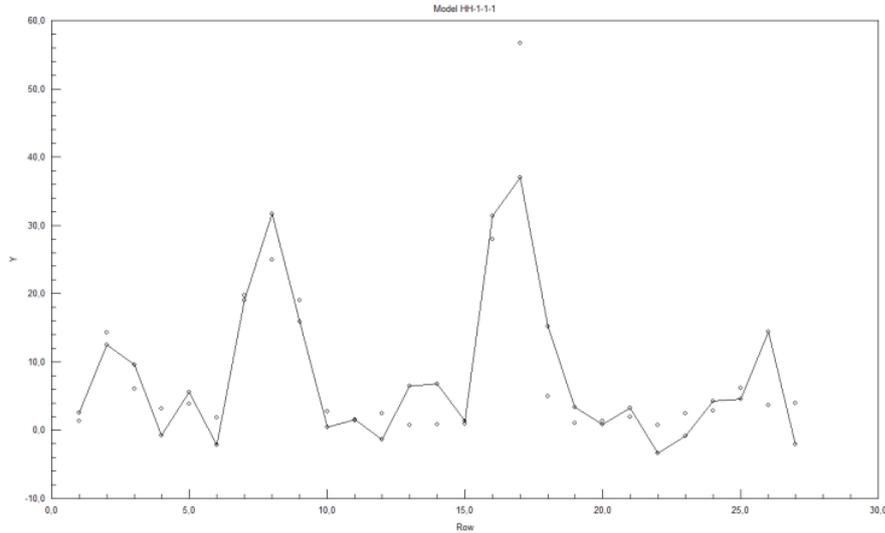


Рисунок 4.19 – Удельная энергоёмкость шелушения крупных зерен по вариантам опытов, Вт·ч/ кг

Энергоёмкость шелушения средних зерен  $\left( y, \frac{Вт \cdot с}{\%} \right)$  в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) представляется функцией (4.15) и графически отражено на рисунке 4.20:

$$\begin{aligned}
 y = G(\tau, z, \ln n) = & b_0 + b_1 \cdot \tau + b_2 \cdot z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^2 + b_{22} \cdot z^2 + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau \cdot z + b_{13} \cdot \tau \cdot \ln n + b_{23} \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^2 \cdot z + b_{113} \cdot \tau^2 \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau \cdot z^2 + b_{223} \cdot z^2 \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^3 + b_{222} \cdot z^3 + b_{333} \cdot \ln^3 n + \\
 & + b_{1123} \cdot \tau^2 \cdot z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau \cdot z^2 \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau \cdot z \cdot \ln^2 n, \quad (4.15)
 \end{aligned}$$

где  $b_0=20,81035013$ ;  $b_1=46,56425496$ ;  $b_{11}=-7,621403983$ ;  $b_{111}=0,2534519193$ ;  
 $b_{112}=-0,00610463154$ ;  $b_{1123}=0,004110658972$ ;  $b_{113}=0,01338582619$ ;  $b_{12}=5,567191291$ ;  
 $b_{122}=-1,034175916$ ;  $b_{1223}=0,9064125091$ ;  $b_{123}=-6,919868627$ ;  $b_{1233}=1,821973165$ ;  
 $b_{13}=5,824407321$ ;  $b_{133}=-1,899686896$ ;  $b_2=-21,80177101$ ;  
 $b_{22}=-4,106478579$ ;  $b_{222}=2,102120823$ ;  $b_{223}=-6,098723751$ ;  $b_{23}=63,20086707$ ;  
 $b_{233}=-22,03211656$ ;  $b_3=-32,27712102$ ;  $b_{33}=-17,49444608$ ;  $b_{333}=17,21173742$  –  
 коэффициенты регрессии.

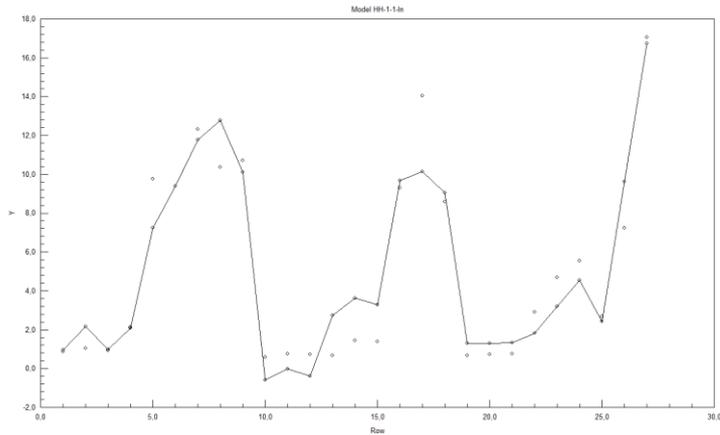


Рисунок 4.20– Удельная энергоемкость шелушения средних зерен по вариантам опытов, Вт·ч/кг

Потребляемая мощность по продолжительности шелушения зерен ( $y$ , Вт) в зависимости от длительности увлажнения зерна ( $\tau$ , мин), величины зазора лопатки ( $z$ , мм), количества установленных лопаток ( $n$ , шт.) представляется функцией (4.16) и графически отражена на рисунке 4.21:

$$\begin{aligned}
 y = G\left(\tau^{\frac{1}{5}}, \ln z, \ln n\right) = & b_0 + b_1 \cdot \tau^{\frac{1}{5}} + b_2 \cdot \ln z + b_3 \cdot \ln n + \\
 & + b_{11} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} + b_{22} \cdot \ln^2 z + b_{33} \cdot \ln^2 n + \\
 & + b_{12} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z + b_{13} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln n + b_{23} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{112} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z + b_{113} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln n + b_{122} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z + b_{223} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + \\
 & + b_{133} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 n + b_{233} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n + b_{123} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + \\
 & + b_{111} \cdot \tau^{\frac{3}{5}} + b_{222} \cdot \ln^3(z) + b_{333} \cdot \ln^3 n +
 \end{aligned}$$

$$+ b_{1123} \cdot \tau^{\frac{2}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln n + b_{1223} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln^2 z \cdot \ln n + b_{1233} \cdot \tau^{\frac{1}{5}} \cdot \ln z \cdot \ln^2 n, \quad (4.16)$$

где  $b_0=8,104727117$ ;  $b_1=0,0004955498425$ ;  $b_{11}=-0,1272958622$ ;  $b_{111}=0,05103257111$ ;  
 $b_{112}=-0,07328139449$ ;  $b_{1123}=0,04386958652$ ;  
 $b_{113}=-0,03576461466$ ;  $b_{12}=0,2036153886$ ;  $b_{122}=-0,0382176699$ ;  $b_{1223}=0,009589652218$ ;  
 $b_{123}=-0,1281222377$ ;  $b_{1233}=0,01458184516$ ;  $b_{13}=0,1722960895$ ;  $b_{133}=-0,04903599953$ ;  
 $b_2=-0,09858027543$ ;  $b_{22}=-0,04381800993$ ;  $b_{222}=0,0657194024$ ;  $b_{223}=-0,02472703411$ ;  
 $b_{23}=0,1067655094$ ;  $b_{233}=-0,02668687738$ ;  $b_3=0,7591715859$ ;  $b_{33}=-0,849966319$ ;  
 $b_{333}=0,2957982809$  – коэффициенты регрессии.

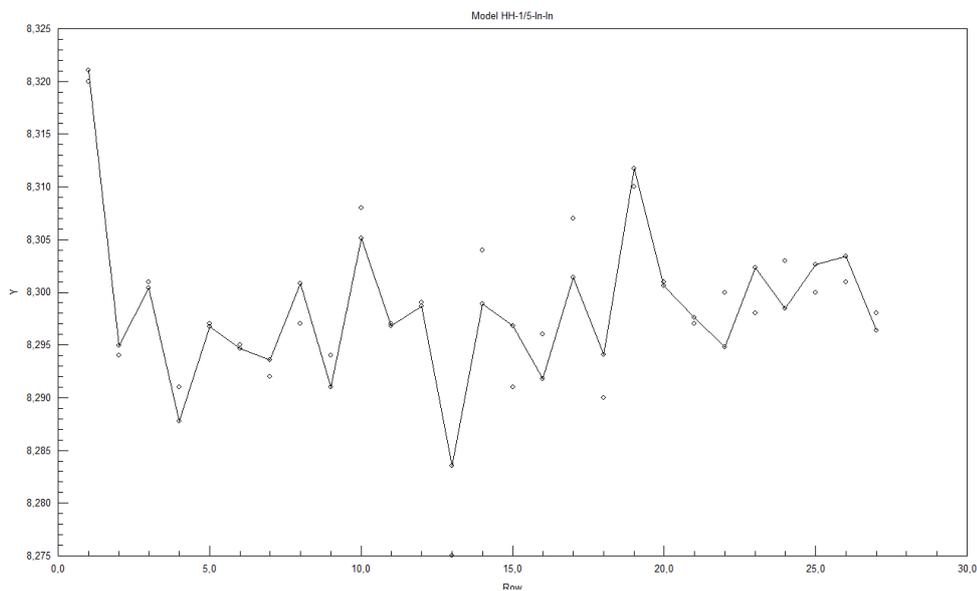


Рисунок 4.21– Потребляемая мощность по продолжительности шелушения зерен по вариантам опытов

Влажность зерна ( $y, \%$ ) в зависимости от длительности его увлажнения ( $\tau, \text{мин}$ ) представляется функцией (4.17) и графически отражена на рисунке 4.22:

$$y = y(\tau) = a + b \cdot \tau + c \cdot \exp(-\tau), \quad (4.17)$$

где  $a=13,50072645$ ;  $b=0,2499636784$ ;  $c=-8,000726448$  – коэффициенты регрессии.

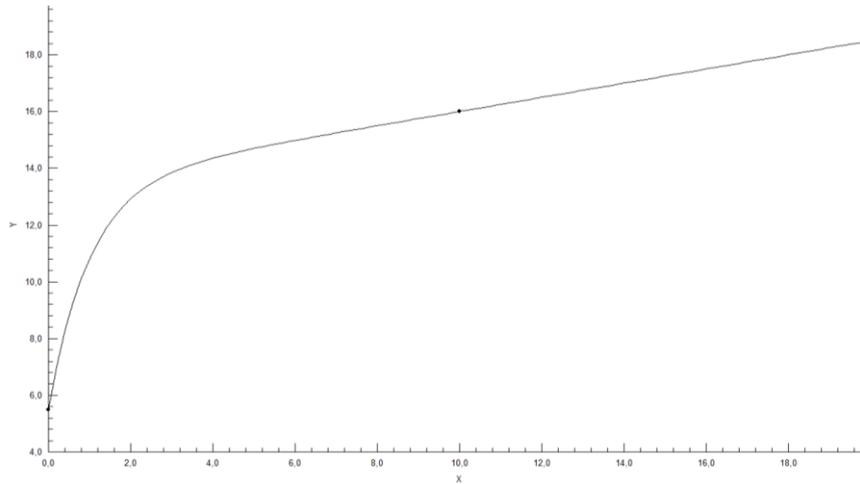


Рисунок 4.22 – Зависимость влажности зерна от продолжительности его увлажнения

Обратно: длительность увлажнения зерна ( $y$ , мин) в зависимости от его влажности ( $w$ , %) представляется функцией (4.18) и графически отражена на рисунке 4.23:

$$y = y(w) = \alpha \cdot w^{\beta} \cdot \exp(\gamma \cdot w), \quad (4.18)$$

где  $\alpha=0,0002782693023$ ;  $\beta=3,28022011$ ;  $\gamma=0,08711827713$  – коэффициенты регрессии.

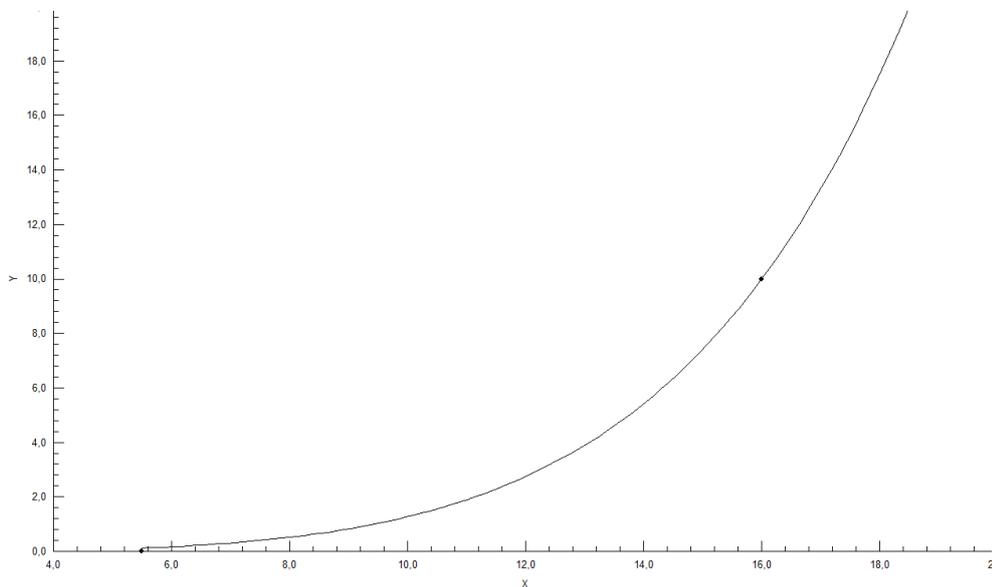


Рисунок 4.23 – Зависимость продолжительности увлажнения зерна от его влажности

Показатель формирования фракции шелушённых зёрен ( $SH, \%$ ) в координатах  $(\tau, z, n)$  имеет вид:

$$\begin{aligned} SH(\tau, z, n) = & 29.06341112 + 91.03187727\tau^{(1/5)} + 5.216554827\ln(z) \\ & - 88.26444363\ln(n) + 21.37723134\tau^{(2/5)} - 10.17998744\ln(z)^2 \\ & + 84.96471626\ln(n)^2 + 96.18676503\tau^{(1/5)}\ln(z) - 195.089448\tau^{(1/5)}\ln(n) \\ & - 0.1439673669\ln(z)\ln(n) + 1.029791764\tau^{(2/5)}\ln(z) + 4.254591797\tau^{(2/5)}\ln(n) \end{aligned}$$

А в координатах  $(w, z, n)$  этот же показатель имеет более сложный вид:

$$\begin{aligned} & - 90.67483955\tau^{(1/5)}\ln(z)^2 + 0.4643170395\ln(z)^2\ln(n) + 84.7416368\tau^{(1/5)}\ln(n)^2 \\ & - 0.1678522928\ln(z)\ln(n)^2 - 42.86007146\tau^{(1/5)}\ln(z)\ln(n) - 8.963630171\tau^{(3/5)} \\ & + 4.747312872\ln(z)^3 - 26.27149112\ln(n)^3 - 0.9565419041\tau^{(2/5)}\ln(z)\ln(n) \\ & + 35.1077867\tau^{(1/5)}\ln(z)^2\ln(n) + 10.2107347\tau^{(1/5)}\ln(z)\ln(n)^2 \\ SH(w, z, n) = & 29.06341112 + 17.70461791(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)} \\ & + 5.216554827\ln(z) - 88.26444363\ln(n) \\ & + 0.8086071492(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(2/5)} - 10.17998744\ln(z)^2 \\ & + 84.96471626\ln(n)^2 + 18.70718230(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(z) \\ & - 37.94257835(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(n) - 0.1439673669\ln(z)\ln(n) \\ & + 0.03895251772(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(2/5)}\ln(z) \\ & + 0.1609325964(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(2/5)}\ln(n) \\ & - 17.63517832(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(z)^2 + 0.4643170395\ln(z)^2\ln(n) \\ & + 16.48124092(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(n)^2 - 0.1678522928\ln(z)\ln(n)^2 \\ & - 8.335774366(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(z)\ln(n) \\ & - 0.06594215095(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(3/5)} + 4.747312872\ln(z)^3 \\ & - 26.27149112\ln(n)^3 - 0.03618179594(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(2/5)}\ln(z)\ln(n) \\ & + 6.828047141(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(z)^2\ln(n) \\ & + 1.985866511(w^{3.28022011}e^{(0.08711827713v)})^{(1/5)}\ln(z)\ln(n)^2 \end{aligned}$$

Определим обобщенный показатель эффективности процессов шелушения посредством свертки частных показателей относительной массы шелушённых

зерен, продолжительности шелушения, энергетических затрат на шелушение и потребляемой мощности по продолжительности шелушения зерен, то есть функции от длительности увлажнения, величины зазора и количества лопаток:

$$G(t, z, n) = -\alpha_{SH} \cdot SH(t, z, n) + \alpha_{PH} \cdot PH(t, z, n) + \alpha_{EH} \cdot EH(t, z, n) + \alpha_{UP} \cdot UP(t, z, n), \quad (4.19)$$

где  $\alpha_{SH}$ ,  $\alpha_{PH}$ ,  $\alpha_{EH}$ ,  $\alpha_{UP}$  – неотрицательные весовые коэффициенты, соответствующих частных показателей.

Интегральный критерий эффективности процессов шелушения – минимум среднего обобщённого показателя, соответственно, по длительности увлажнения, величине зазора, количестве лопаток:

$$J_{z,n} = \frac{1}{20} \int_0^{20} G(t, z, n) dt \rightarrow \min ,$$

$$J_{t,n} = \frac{1}{2} \int_1^3 G(t, z, n) dz \rightarrow \min ,$$

$$J_{t,z} = \frac{1}{2} \int_2^4 G(t, z, n) dn \rightarrow \min ,$$

где обобщённый показатель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} G(t, z, n) = & -\alpha_{SH} (29.06341112 + 91.03187727t^{(1/5)} + 5.216554827\ln(z) \\ & - 88.26444363\ln(n) + 21.37723134t^{(2/5)} - 10.17998744\ln(z)^2 \\ & + 84.96471626\ln(n)^2 + 96.18676503t^{(1/5)}\ln(z) - 195.089448t^{(1/5)}\ln(n) \\ & - 0.1439673669\ln(z)\ln(n) + 1.029791764t^{(2/5)}\ln(z) + 4.254591797t^{(2/5)}\ln(n) \\ & - 90.67483955t^{(1/5)}\ln(z)^2 + 0.4643170395\ln(z)^2\ln(n) + 84.7416368t^{(1/5)}\ln(n)^2 \\ & - 0.1678522928\ln(z)\ln(n)^2 - 42.86007146t^{(1/5)}\ln(z)\ln(n) - 8.963630171t^{(3/5)} \\ & + 4.747312872\ln(z)^3 - 26.27149112\ln(n)^3 - 0.9565419041t^{(2/5)}\ln(z)\ln(n) \\ & + 35.1077867t^{(1/5)}\ln(z)^2\ln(n) + 10.2107347t^{(1/5)}\ln(z)\ln(n)^2) + \alpha_{PH} (10.07745103 \\ & + 51.15067903t + 2.470455912\ln(z) - 1.441105376n - 7.566720827t^2 \\ & - 3.072349947\ln(z)^2 - 0.942039814n^2 - 1.005051506t\ln(z) - 0.2164590256tn \\ & + 0.2746997131\ln(z)n + 0.02870292937t^2\ln(z) + 0.01161710398t^2n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 0.7404866897t \ln(z)^2 - 0.462529945 \ln(z)^2 n - 0.006230507315t n^2 \\
& + 0.07735118339 \ln(z) n^2 + 0.1348150759t \ln(z) n + 0.2506870415t^3 \\
& + 2.049679837 \ln(z)^3 + 0.2397231267n^3 - 0.007507320267t^2 \ln(z) n \\
& - 0.3136059667t \ln(z)^2 n + 0.06763829666t \ln(z) n^2 + \alpha_{EH} (91.42035617 \\
& + 56.44178973t + 7.616756774 \ln(z) - 20.16283604n - 7.593812889t^2 \\
& + 2.855773295 \ln(z)^2 - 5.025364532n^2 - 8.250031206t \ln(z) - 1.776783014t n \\
& + 2.661351938 \ln(z) n + 0.2357262764t^2 \ln(z) + 0.09604984638t^2 n \\
& + 6.135319325t \ln(z)^2 - 3.883581075 \ln(z)^2 n - 0.05361898521t n^2 \\
& + 0.5957529001 \ln(z) n^2 + 1.089870587t \ln(z) n + 0.2404211912t^3 \\
& + 1.359376346 \ln(z)^3 + 1.683036359n^3 - 0.06175468349t^2 \ln(z) n \\
& - 2.603076573t \ln(z)^2 n + 0.5641699756t \ln(z) n^2 + \alpha_{UP} (8.104727117 \\
& + 0.0004955498425t^{(1/5)} - 0.09858027543 \ln(z) + 0.7591715859 \ln(n) \\
& - 0.1272958622t^{(2/5)} - 0.04381800993 \ln(z)^2 - 0.849966319 \ln(n)^2 \\
& + 0.2036153886t^{(1/5)} \ln(z) + 0.1722960895t^{(1/5)} \ln(n) + 0.1067655094 \ln(z) \ln(n) \\
& - 0.07328139449t^{(2/5)} \ln(z) - 0.03576461466t^{(2/5)} \ln(n) \\
& - 0.0382176699t^{(1/5)} \ln(z)^2 - 0.02472703411 \ln(z)^2 \ln(n) \\
& - 0.04903599953t^{(1/5)} \ln(n)^2 - 0.02668687738 \ln(z) \ln(n)^2 \\
& - 0.1281222377t^{(1/5)} \ln(z) \ln(n) + 0.05103257111t^{(3/5)} + 0.0657194024 \ln(z)^3 \\
& + 0.2957982809 \ln(n)^3 + 0.04386958652t^{(2/5)} \ln(z) \ln(n) \\
& + 0.009589652218t^{(1/5)} \ln(z)^2 \ln(n) + 0.01458184516t^{(1/5)} \ln(z) \ln(n)^2
\end{aligned}$$

причём выполняется условие нормировки

$$\frac{1}{80} \cdot \iiint_{[0, 20] \times [1, 3] \times [2, 4]} G(t, z, n) dt dz dn = 1,$$

а весовые коэффициенты  $\alpha_{SH}$ ,  $\alpha_{PH}$ ,  $\alpha_{EH}$ ,  $\alpha_{UP}$  подбираются исходя из дополнительного условия

$$\min_{z, n} J_{z, n} = -1, \quad \max_{z, n} J_{z, n} = 1,$$

$$\min_{t, n} J_{t, n} = -1, \quad \max_{t, n} J_{t, n} = 1,$$

$$\min_{t, z} J_{t, z} = -1, \quad \max_{t, z} J_{t, z} = 1.$$

Расчет среднего значения относительной массы шелушенных зерен показывает, что этот показатель достигает наибольшего значения при величине зазора  $z=1,75$  мм при каждом значении количества лопаток  $n=2, 3, 4$  шт., и

достигает наименьшего значения при количестве лопаток  $n=3$  шт. (ближайшее целое к  $n=2,9$ ) при любой величине зазора  $z=1 \dots 3$  мм (рис. 4.24 – 4.26).

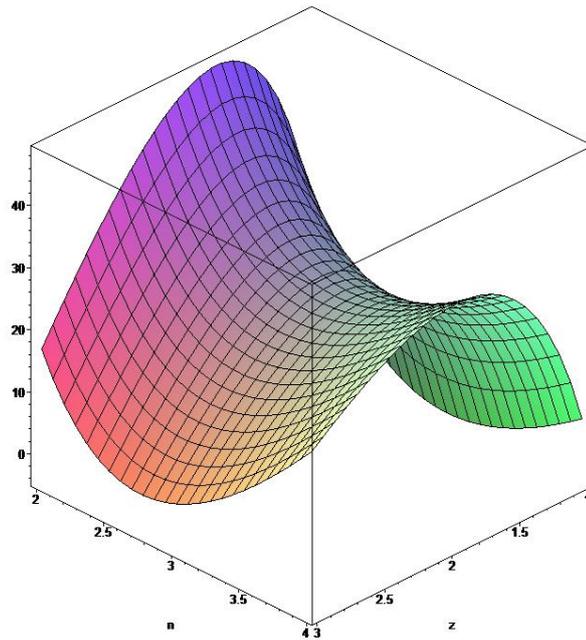


Рисунок 4.24 – Среднее значение относительной массы шелушенных зерен по длительности увлажнения в зависимости от величины зазора и количества ЛОПАТОК

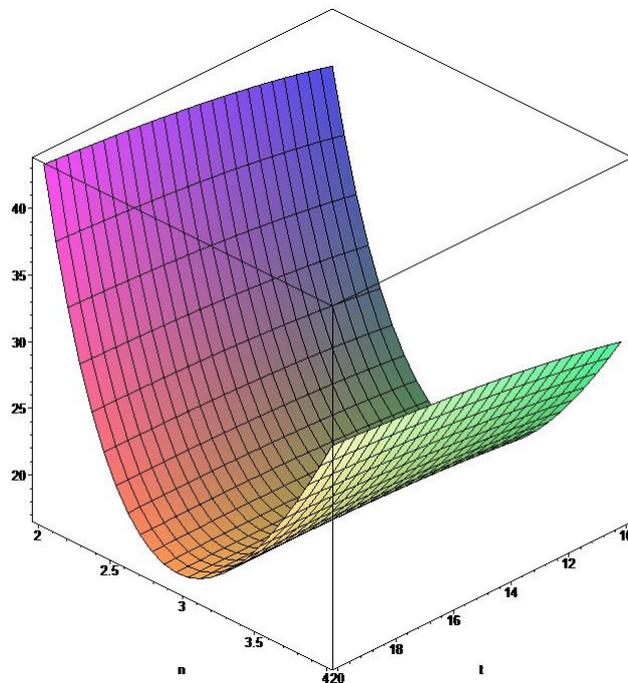


Рисунок 4.25 – Среднее значение относительной массы шелушенных зерен по величине зазора в зависимости от длительности увлажнения и количества ЛОПАТОК

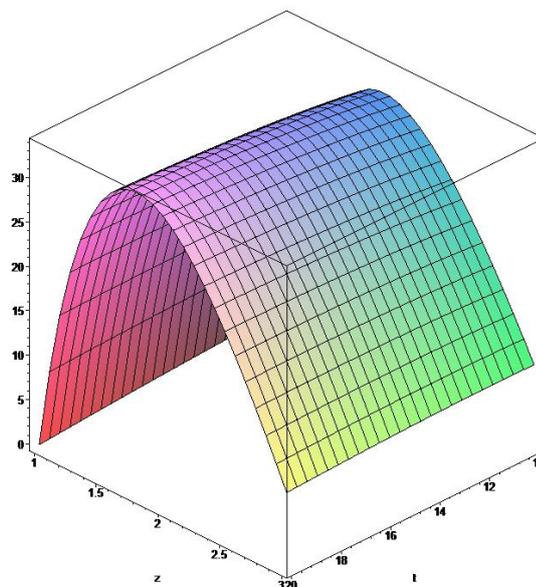


Рисунок 4.26 – Среднее значение относительной массы шелушённых зёрен по количеству лопаток в зависимости от длительности увлажнения и величины зазора

Расчет среднего значения продолжительности шелушения зерен показывает, что этот показатель достигает наименьшего значения при величине зазора  $z=1,0$  мм и количестве лопаток  $n=4$  шт (ближайшее целое к  $n=3,65$ ), а при величине зазора больше 1,75 мм и количестве лопаток  $n=3$  шт. достигает наименьшего значения (рис. 4.27).

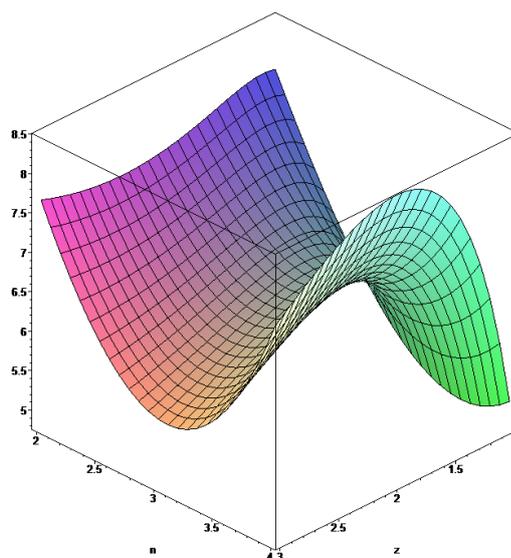


Рисунок 4.27 – Среднее значение продолжительности шелушения по длительности увлажнения в зависимости от величины зазора и количества лопаток

Расчет среднего значения энергетических затрат на процессы шелушения зерен показывает, что этот показатель достигает наименьшего значения при длительности увлажнения зёрен  $\tau=16$  мин (рис. 4.28 – 4.29).

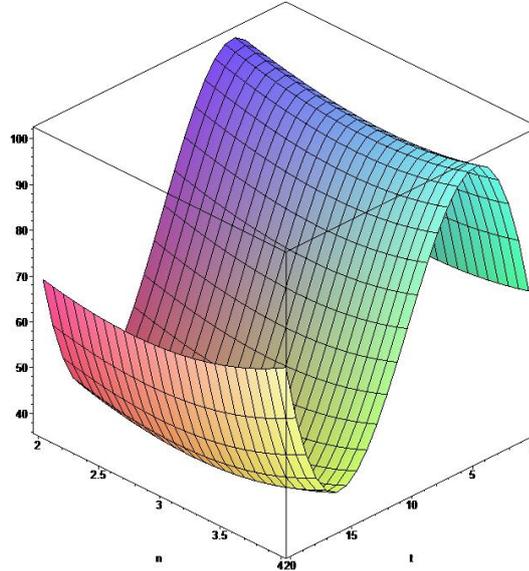


Рисунок 4.28 – Среднее значение энергетических затрат по величине зазора в зависимости от длительности увлажнения и количества лопаток

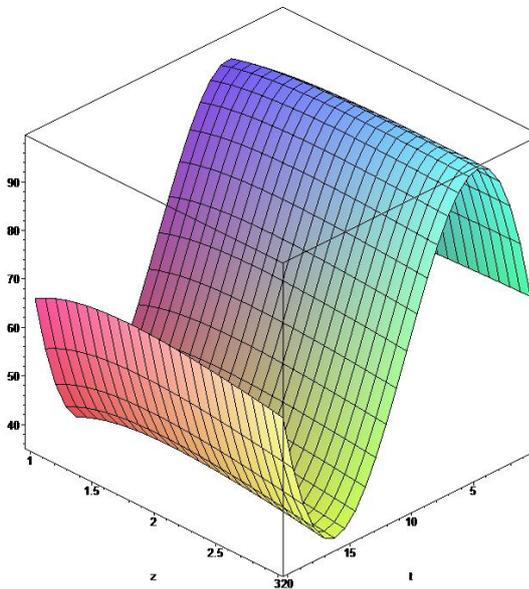


Рисунок 4.29 – Среднее значение энергетических затрат по количеству лопаток в зависимости от длительности увлажнения и величины зазора

Расчет среднего значения потребляемой мощности на процессы шелушения зерен показывает, что этот показатель имеет наименьшее значение при количестве

лопаток  $n=2$  шт.,  $n=3$  шт (ближайшее целое  $k_n=3,4$ ) и величине зазора  $z=1$  мм,  $z=2,5$  мм (рис. 4.30 – 4.32).

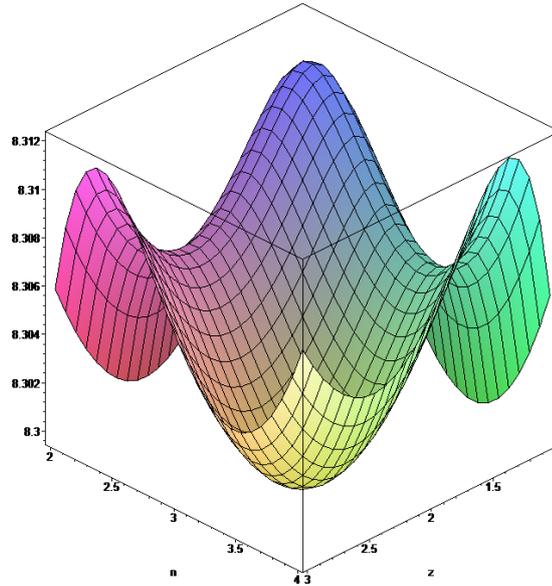


Рисунок 4.30 – Среднее значение потребляемой мощности по длительности увлажнения в зависимости от величины зазора и количества лопаток

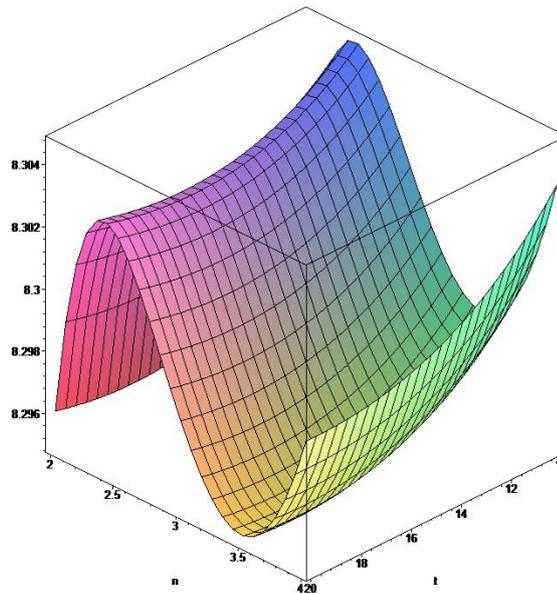


Рисунок 4.31 – Среднее значение потребляемой мощности по величине зазора в зависимости от длительности увлажнения и количества лопаток

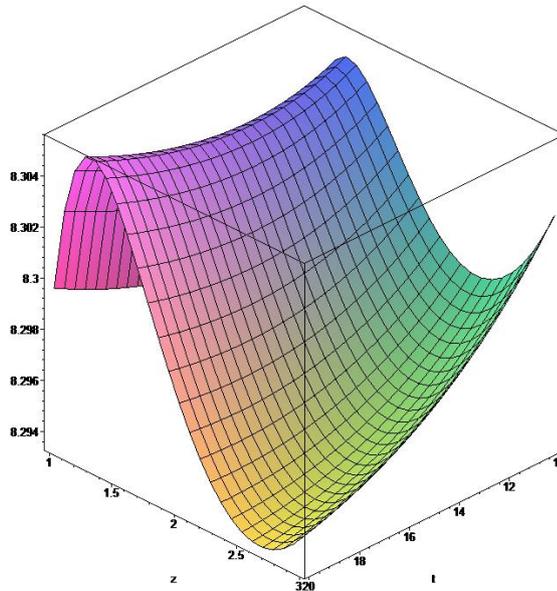


Рисунок 4.32 – Среднее значение потребляемой мощности по количеству лопаток в зависимости от длительности увлажнения и величины зазора

Расчет значения обобщенного показателя процессов шелушения зерен показывает, что он имеет наименьшее значение при длительности увлажнения зерна  $\tau=16$  мин, величине зазора  $z=1,75$  мм, количестве лопаток  $n=2$  шт (рис. 4.33 – 4.35).

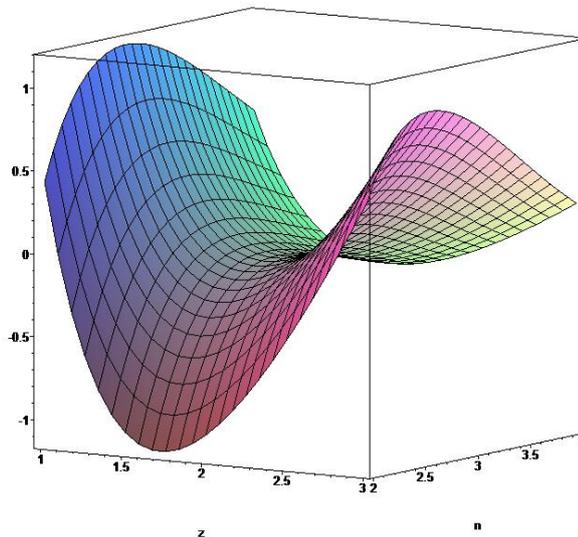


Рисунок 4.33 – Среднее значение обобщённого показателя по длительности увлажнения в зависимости от величины зазора и количества лопаток

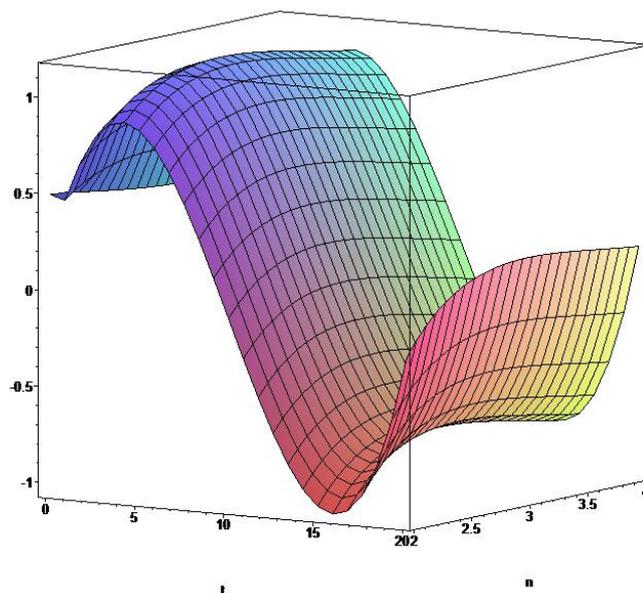


Рисунок 4.34 – Среднее значение обобщённого показателя по величине зазора в зависимости от длительности увлажнения и количества лопаток

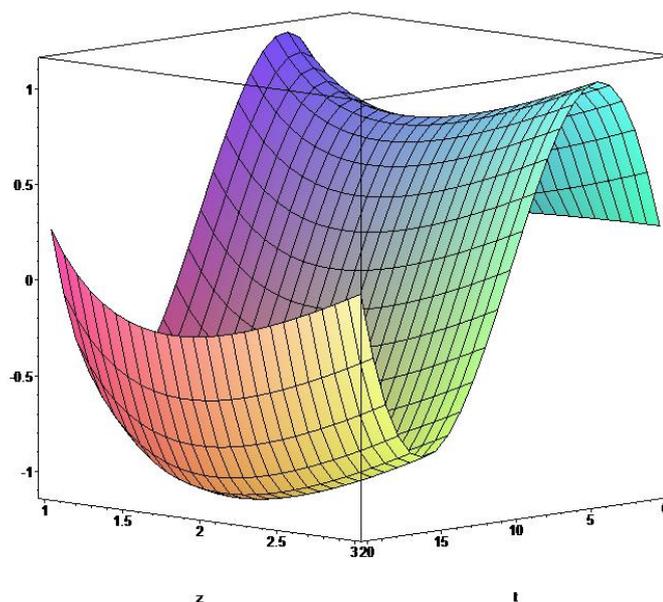


Рисунок 4.35 – Среднее значение обобщённого показателя по количеству лопаток в зависимости от длительности увлажнения и величины зазора

Таким образом, в качестве эффективных параметров комплекса технологических процессов шелушения зерна пшеницы рекомендуется принять: длительность увлажнения зерна  $\tau=16$  мин, величина зазора  $z=1,75$  мм, количество лопаток  $n=2$  шт.

Тогда прогнозируемые по аналитической модели энергетические затраты на комплекс технологических процессов шелушения 100 г зерна пшеницы составят:

$$EH(16, 1,75, 2) = 49,504 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Сопоставив эту величину со средним уровнем энергетических  $EH_{cp} = 54,474 \text{ Вт} \cdot \text{с}$  найдём средний энергетический эффект от реализации эффективных параметров шелушения 100 г зерна пшеницы:

$$\Delta EH = 54,474 - 49,504 = 4,970 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Отсюда непосредственно получим, что средний энергетический эффект от совершенствования технологических процессов шелушения зерна пшеницы, посредством выбора и реализации эффективных технологических, конструктивных и режимных параметров, оценивается величиной:

$$\Delta EH = 13,805 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}.$$

### **Выводы по главе**

1. На основе предложенного интегрального критерия эффективности комплекса технологических процессов шелушения зерна пшеницы разработана аналитическая модель, включающая построенные зависимости с уровнем детерминации 95 % и относительной погрешностью ниже 5 %, учитывающая особенности эксплуатации и области уровня энергетических затрат.

2. С использованием предложенного интегрального критерия эффективности технологических процессов шелушения зерна пшеницы теоретически обоснованы эффективные технологические, конструктивные и режимные параметры эксплуатации предложенной установки: величина зазора  $z=1,75$  мм, количество лопаток  $n=2$  шт., длительность увлажнения зерна  $\tau=16$  мин, с выбором и реализацией которых на практике прогнозируемый средний энергетический эффект составит  $13,805 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{т}$ .

## Глава 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Разработанная установка была испытана в производственных условиях ООО «Енисей» Минусинского района Красноярского края. Для сравнения технико-экономических показателей и определения годового экономического эффекта показатели разработанной машины сравнивались с показателями машины А1-ЗШН-3, предназначенной для шелушения ржи и пшеницы при обойных помолах и ржаных сортовых помолах на мукомольных заводах, шлифования и полирования ячменя при выработке перловой крупы [140, 142].

Разработанная технология поэтапного шелушения зерна пшеницы реализуется по представленной ниже машинно-аппаратурной схеме (рис. 5.1).

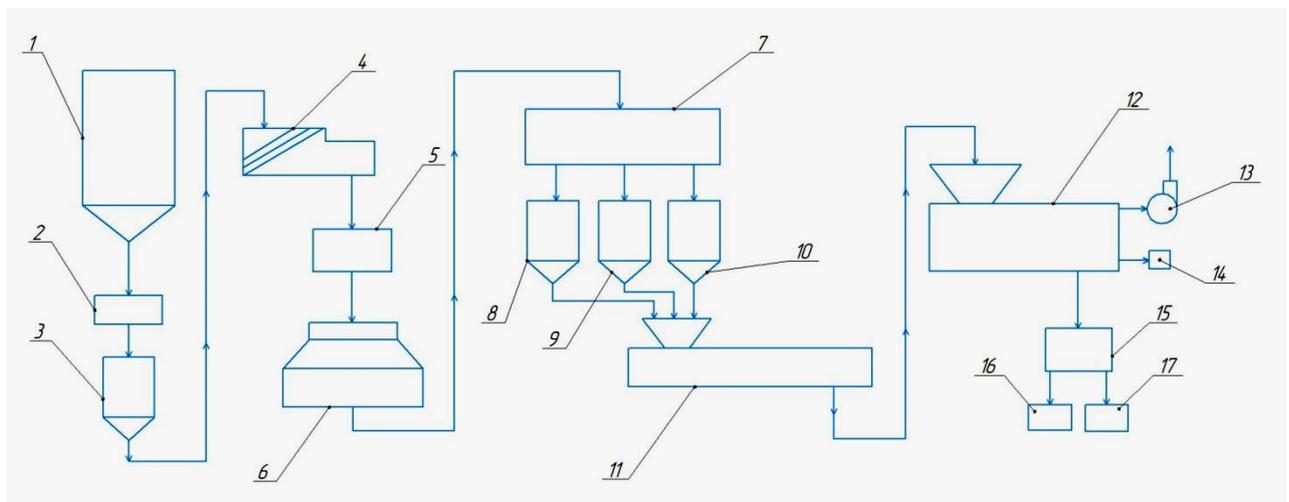


Рисунок 5.1 – Машинно-аппаратурная схема цеха шелушения зерна пшеницы:

1– приемный бункер; 2 – автоматические весы; 3 – промежуточный бункер; 4 – зерноочистительная машина; 5 – магнитный сепаратор; 6 – триер; 7 – калибровочная машина; 8 – бункер мелкого зерна; 9 – бункер среднего зерна; 10 – бункер крупного зерна; 11 – увлажнитель зерна; 12 – роторно-лопастная шелушильная машина; 13 – циклон вывода плодовой и семенной оболочек; 14 – бункер для сбора эндосперма; 15 – вибрационный разделитель; 16 – бункер для сбора алейронового и субалейронового слоев; 17 – бункер для сбора зародыша

Оценка экономической эффективности роторно-лопастного шелушителя зерна пшеницы производилась в соответствии с методическими рекомендациями по эффективности сельского хозяйства [143].

Определим часовую производительность шелушителя действия по формуле:

$$W_{\text{ч}} = (60 \cdot t) / T_{\text{ц}}, \quad (5.1)$$

где  $t$  – коэффициент использования рабочего времени смены,  $t = 0,60 \dots 0,95$ ;

$T_{\text{ц}}$  – время одного рабочего цикла, мин.

а) для базового варианта:

$$W_{\text{ч}0} = (60 \cdot 0,6) / 200 = 0,18 \text{ ед./ч.}$$

б) для нового варианта:

$$W_{\text{ч}1} = (60 \cdot 0,6) / 160 = 0,23 \text{ ед./ч.}$$

Рассчитаем энергоемкость процесса по формуле:

$$\text{Эе} = N_{\text{е}} / W_{\text{ч}}, \quad (5.2)$$

где  $N_{\text{е}}$  – потребляемая конструкцией мощность, кВт.

а)  $\text{Эе}0 = 55 / 0,18 = 305,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед.}$

б)  $\text{Эе}1 = 55 / 0,23 = 239,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед.}$

Рассчитаем металлоемкость процесса по формуле:

$$M_{\text{е}} = G / (W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}} \cdot T_{\text{сл}}), \quad (5.3)$$

где  $G$  – масса конструкции, кг;

$T_{\text{год}}$  – годовая загрузка станда, ч;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы станда, лет.

а)  $M_{\text{е}0} = 2000 / (0,18 \cdot 1820 \cdot 10) = 0,61 \text{ кг/ед.}$

б)  $M_{\text{е}1} = 1584 / (0,23 \cdot 1820 \cdot 10) = 0,38 \text{ кг/ед.}$

Фондоемкость процесса вычислим по формуле:

$$F_{\text{е}} = C_{\text{б}} / (W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}), \quad (5.4)$$

где  $C_{\text{б}}$  – балансовая стоимость станда, руб.

а)  $F_{\text{е}0} = 300000 / (0,18 \cdot 1820) = 915,75 \text{ руб./ед.}$

б)  $F_{\text{е}1} = 374220 / (0,23 \cdot 1820) = 893,98 \text{ руб./ед.}$

Вычислим трудоемкость процесса:

$$T_e = N_{\text{обсл.}}/W_{\text{ч}}, \quad (5.5)$$

где  $N_{\text{обсл.}}$  – количество обслуживающего персонала, чел.

$$\text{а) } T_{e0} = 2/0,18 = 11,1 \text{ чел.} \cdot \text{ч/ед.}$$

$$\text{б) } T_{e1} = 2/0,23 = 8,7 \text{ чел.} \cdot \text{ч/ед.}$$

Себестоимость работы находим из выражения:

$$S = C_{\text{зп}} + C_{\text{э}} + C_{\text{рто}} + A + \text{Пр}, \quad (5.6)$$

где  $C_{\text{зп}}$  – затраты на оплату труда с единым социальным налогом, руб./ед.

$$C_{\text{зп}} = z \cdot T_e \cdot K_{\text{соц}}, \quad (5.7)$$

где  $z$  – часовая тарифная ставка рабочих, руб./ед.;  $K_{\text{соц.}}$  – коэффициент, учитывающий единый социальный налог,  $K_{\text{соц.}} = 1,356$ .

$$\text{а) } C_{\text{зп}0} = 4,82 \cdot 11,1 \cdot 1,356 = 72,55 \text{ руб./ед.}$$

$$\text{б) } C_{\text{зп}1} = 4,82 \cdot 8,7 \cdot 1,356 = 56,86 \text{ руб./ед.}$$

Затраты на ТСМ и электроэнергию определим по формуле:

$$C_{\text{э}} = C_{\text{компл.}} \cdot g_{\text{т}} + C_{\text{оэ}} \cdot \text{Ээ}, \quad (5.8)$$

где  $C_{\text{компл.}}$  – комплексная цена топлива, руб./кг;

$g_{\text{т}}$  – норма расхода топлива, кг/ед.;

$C_{\text{оэ}}$  – отпускная цена электроэнергии, руб./кВт-ч;

$$\text{а) } C_{\text{э}0} = 10 \cdot 20 + 1,60 \cdot 305,6 = 688,96 \text{ руб./ед.}$$

$$\text{б) } C_{\text{э}1} = 10 \cdot 20 + 1,60 \cdot 239,1 = 582,56 \text{ руб./ед.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание станда вычисляются по формуле:

$$C_{\text{рто}} = (C_{\text{б}} \cdot N_{\text{рто}})/(100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}), \quad (5.9)$$

где  $N_{\text{рто}}$  – норма затрат на ремонт и техническое обслуживание, %.

$$\text{а) } C_{\text{рто}0} = (300000 \cdot 8)/(100 \cdot 0,18 \cdot 1820) = 73,26 \text{ руб./ед.}$$

$$\text{б) } C_{\text{рто}1} = (374220 \cdot 8)/(100 \cdot 0,23 \cdot 1820) = 71,52 \text{ руб./ед.}$$

Амортизационные отчисления находим по формуле:

$$A = (C_{\text{б}} \cdot a)/(100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}), \quad (5.10)$$

где  $a$  – норма амортизации, %.

$$\text{а) } A_0 = (300000 \cdot 14,2)/(100 \cdot 0,18 \cdot 1820) = 130,04 \text{ руб./ед.}$$

$$\text{б) } A_1 = (374220 \cdot 14,2)/(100 \cdot 0,23 \cdot 1820) = 126,94 \text{ руб./ед.}$$

Пр – прочие затраты,  $Пр = 5...10\%$  от суммы предыдущих элементов.

Подставим все вычисленные данные в формулу, и получим:

$$а) S_0 = (72,55 + 688,96 + 73,26 + 130,04) \cdot 1,05 = 1013,05 \text{ руб./ед.}$$

$$б) S_1 = (56,86 + 582,56 + 71,52 + 126,94) \cdot 1,05 = 879,77 \text{ руб./ед.}$$

Уровень приведенных затрат на работу конструкции определяется по формуле:

$$С_{пр} = S + E_n \cdot Fe, \quad (5.11)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,

$$E_n = 0,15.$$

$$а) С_{пр0} = 1013,05 + 0,15 \cdot 915,75 = 1150,41 \text{ руб./ед.}$$

$$б) С_{пр1} = 879,77 + 0,15 \cdot 893,98 = 1013,87 \text{ руб./ед.}$$

Годовая экономия в рублях определяется по формуле:

$$\text{Эгод} = (S_0 - S_1) \cdot W_{ч1} \cdot T_{год1}, \quad (5.12)$$

где  $T_{год1}$  – годовая нормативная загрузка конструкции, ч.

$$\text{Эгод} = (1013,05 - 879,77) \cdot 0,23 \cdot 1820 = 55791,01 \text{ руб.}$$

Рассчитаем годовой экономический эффект по формуле:

$$\text{Егод} = \text{Эгод} - E_n \cdot K_{доп}, \quad (5.13)$$

где  $K_{доп}$  – дополнительные капитальные вложения, равные балансовой стоимости конструкции, руб.

$$\text{Егод} = 55791,01 - 0,15 \cdot 74220 = 44658,01 \text{ руб.}$$

Срок окупаемость дополнительных капитальных вложений:

$$T_{ок} = C_{б1} / \text{Эгод}, \quad (5.14)$$

$$T_{ок} = 374220 / 55791,01 = 6,7 \text{ лет.}$$

Вычислим фактический коэффициент эффективности дополнительных вложений:

$$E_{эф} = \text{Эгод} / C_{б1} = 1 / T_{ок}, \quad (5.15)$$

$$E_{эф} = 55791,01 / 374220 = 0,16.$$

Все вышеприведенные числовые данные сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Техничко-экономические показатели эффективности оборудования

Показатель	Числовые значения показателя	
	Для базового варианта	Для нового варианта
Стоимость конструкции, руб.	970000	575000
Время одного рабочего цикла, мин.	200	160
Часовая производительность, ед./ч	0,18	0,23
Энергоемкость процесса, кВт-ч/ед.	305,6	239,1
Металлоемкость процесса, кг/ед.	0,61	0,38
Фондоемкость процесса, руб./ед.	915,75	893,98
Трудоемкость процесса, чел.-ч/ед.	11,1	8,7
Затраты на оплату труда, руб./ед.	72,55	56,86
Затраты на ТСМ и электроэнергию, руб./ед.	688,96	582,56
Затраты на ремонт и техническое обслуживание конструкции, руб./ед.	73,26	71,52
Амортизационные отчисления, руб./ед.	130,04	126,94
Себестоимость работы, руб./ед.	1013,05	879,77
Уровень приведенных затрат на работу конструкции, руб./ед.	1150,41	1013,87
Годовая экономия, руб.	-	557910,01
годовой экономический эффект, руб.	-	446580,01
Срок окупаемости, лет	-	6,7
Коэффициент эффективности дополнительных вложений	-	0,16

Определенные технико-экономические показатели, сведенные в таблицу 5.1 показывают, что замена существующих конструкций шелушильных аппаратов на предлагаемую роторно-лопастную шелушильную машину, позволило снизить время выполнения рабочего цикла на 20% и металлоемкость оборудования на 30%, при затраченных энергозатратах 13,805 Вт ч/тонн.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теоретических и экспериментальных исследований совершенствования технологии производства отдельных фракций зерна пшеницы на роторно-лопастном шелушителе для производства пищевых продуктов получены следующие новые результаты.

1. Результаты исследований, анализа и систематизация существующих технологий шелушения зерна пшеницы, а также выполненные патентные исследования показали, что для совершенствования технологии поэтапного шелушения зерна пшеницы обосновано использование роторно-лопастного метода шелушения.

2. Разработана технология и теоретически обоснована целесообразность совершенствования процесса роторно-лопастного шелушения для получения отдельных фракций зерна пшеницы при производстве пищевых продуктов.

3. Разработана новая конструкция технологического оборудования для поэтапного шелушения зерна пшеницы, техническая новизна которой защищена патентами РФ № 2709719 «Машина для шелушения зерна» и №141853 «Устройство для обработки поверхности зерен», разработана конструкторская документация и изготовлена экспериментальная установка для определения оптимальных технологических параметров и режимов работы роторно-лопастного шелушителя.

4. Получена математическая модель взаимодействия зерна пшеницы с рабочими органами роторно-лопастного шелушителя и определен основной технологический параметр в виде коэффициента шелушения ( $K_{ш}=0,84$  %) характеризующий качество технологического процесса поэтапного шелушения при этом полученные фракции распределены в следующей пропорции: 5,8 % оболочек, алейроновый и субалейроновый слои – 7,7 %, эндосперм – 84% и зародыш – 2,5%.

5. Экспериментально определено, что основными технологическими факторами, влияющими на процесс поэтапного роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы, являются: величина зазора – 1,75 мм, количество лопастей – 2 шт, длительность увлажнения зерна – 16 мин, с выбором и реализацией которых на практике определены энергозатраты в размере 13,805 Вт ч/т.

6. Расчёт экономической эффективности от применения разработанной технологии с использованием роторно-лопастного шелушителя показал, что годовой экономический эффект предприятия составит 446580,01 руб.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Айзикович Л.Е., Абрамова А.Н. Извлечение зародыша при сортовых помолах пшеницы на мельницах за рубежом // Вестник технической и экономической информации // - ЦИНТИ Госкомзагаз СССР. – 1964. - №7. – С.18-21.
2. Алимкулов Ж.С. Исследование технологических свойств и гидротермической обработки шелушённого зерна при многосортном помолу пшеницы: дис. канд. техн. наук. –М., 1979.
3. Алексеев Г.В., Аксенова О.И. Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 3. – С. 1–10.
4. Алексеев Г.В., и др. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования: учеб. пособие. – СПб., 2014.
5. Анисимова Т.В. Исследование особенностей взаимодействия анатомических частей зерна пшеницы с водой при гидротермической обработке: дис. канд. техн. наук. – М., 1977.
6. Анисимов А.В. Шелушение зерна пшеницы как метод подготовки к помолу // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. статей студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. – 2014. – С. 41–42.
7. Анисимов А.В., Рудик Ф.Я., Загородских Б.П. Совершенствование технологии подготовки зерна к помолу на малых предприятиях // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – №4. – С. 603–623.
8. А.с. 1518005 СССР. Устройство для шелушения зерна / Вашкевич В.В., Браслин С.Н., Бахтушина Л.И., Горнец О.Б. – №4359827. заявл. 06.01.1988, опубл. 30.10.89, Бюл. №28.
9. А.с. 1321463 СССР. Устройство для шелушения зерна / Мельников Е.М., Берестов А.П. – №3928736, заявл. 18.07.1985, опубл. 07.07.87, Бюл. № 25.

10. А.с. 1412803 СССР. Устройство для шелушения, шлифования и полирования зерна. / Гросул Л.И., Петько В.Ф., Дударев И.Р. и др. – №4186235, заявл. 26.01.1987, опубл. 30.07.88, Бюл. №28.

11. А.с. 1323120 СССР. Устройство для шелушения зерна / Акылбеков А.А., Алимпиев Л.Н., Дженкулов С.А. – №402266, заявл. 09.12.1985, опубл. 15.07.87, Бюл. №26.

12. А.с. 1329817 СССР. Шелушильная машина / Солдатенко Л.С., Терехова И.В. – №3937552, заявл. 23.07.1985, опубл. 15.08.87, Бюл. №30.

13. А.с. 262610 СССР. Устройство для шелушения зерна с помощью воздушной струи сверхзвуковой скорости. / Жислин Я.М., Соколов А.Я., Крикунов А.Е. и др. – №1059412, заявл. 04.03.1966, опубл. 26.01.70, Бюл. №6.

14. А.с. 1139400 СССР. Устройство для обрушивания. / Ложешник В.К., Кудрин Ю.П., Толчинский Ю.А. и др. – №3452796, заявл. 11.06.1982, опубл. 15.02.85, Бюл. №6.

15. Афанасьев В.А. и др. Энергоресурсосберегающие технологии переработки зернобобового, масличного и эфиромасличного сырья: учеб. пособие. – Воронеж, – 2017. – 150 с.

16. Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Мануйлов В.В. Разработка комплекта оборудования для производства зерновых хлопьев для комбикормов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 1. – С. 74–86.

17. Байбатыров Т.А. и др. Изменение микрофлоры зерна ячменя после процесса шелушения и гидротермической обработки // Молодой ученый. – 2015. – № 6.3 (86.3). – С. 19-20. – URL: <https://moluch.ru/archive/86/16473/> (дата обращения: 23.05.2020).

18. Балтабаев У.Н. Влияние частоты вращения ротора и производительности на эффективность работы шелушителя горизонтального типа // Universum: Технические науки: электронный научный журнал. – 2016. – №6 (27). – URL :<http://7universum.com/ru/tech/archive>.

19. Белов А.А., Баллод Б.А., Елизарова Н.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник – Ростов-н/Д: Феникс, – 2008. – 318 с.
20. Брасалин С.Н. Оценка технологической эффективности шелушения зерна в крупяном производстве // Хлебопродукты. – 2014. – № 9. – С. 60-62.
21. Бузоверов С.Ю., Лобанов В.И. Исследование процесса увлажнения зерна перед помолом на спиральном шнеке // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – №3(125). – С.135-139.
22. Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. Технологии зерноперерабатывающих производств: учеб. для вузов. – М.: Интеграф сервис, 1999. – 472 с.
23. Бутковский В.А., Галкина Л.С., Птушкина Г.Е. Современная техника и технология производства муки: учеб. Пособие. – М.: ДеЛипринт, 2006. – 319 с.
24. Бутковский В.А., Птушкина Г.Е. Технологическое оборудование мукомольного производства: учеб. пособие для вузов. – М.: ГП «Журнал Хлебопродукты», 1999. – 208 с.
25. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). – М.: Агропромиздат, 1989. – 463 с.
26. Василенко П.М. Элементы методики математической обработки экспериментальных исследований. – М.: Наука, 1985. – 163 с.
27. Вашкевич В.В., Горнец О.Б., Ильичев Г.Н. Технология производства муки на промышленных и малых мельзаводах: учебник. – Барнаул, 1999. – 215 с.
28. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
29. Веселов С.А. Практикум по вентиляционным установкам. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Колос, 1982. – 255 с.
30. Верболоз Е.И., Соковкин Е.Л. Инновационные технологии для повышения качества хлебобулочных изделий // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-2. – С. 32-35.

31. Власов Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1982. – 255 с.
32. Володин Н.П., Касторных М.Г., Кривошеин А.И. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. – М.: Колос, 1984. – 288 с.
33. Вобликов Е.М. Технология элеваторной промышленности: учеб. для вузов. – СПб.: Лань, 2010. – URL <http://e.lanbook.com/view/book/4133/>.
34. Димитров Н., Орешков И., Тановски Г. Установяванена технологична схема за производство на пшеничен зародиш. // Хранителна промишленост. - 1972. – г.21. – №5. – С.20-23.
35. Гафин М.М. Шелушение зерна // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. –2014. №13. – С. 96-100.
36. Грачёв Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования экспериментов. – М.: ДеЛипринт, 2005. – 296 с.
37. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы – М.: Колос, 1984. – 304 с.
38. Гончарова З.Д. Влияние гидротермической обработки зерна пшеницы на его структурно-механические свойства: дисс. канд. техн. наук. – М., 1962.
39. ГОСТ Р 27842-88. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия.– М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
40. ГОСТ 9404-88. Мука и отруби. Метод определения влажности. – М.: Стандартинформ, 2007. – 5 с
41. ГОСТ Р 52189-2003. Мука пшеничная. Общие условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.
42. ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
43. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

44. ГОСТ Р 8.563-96. Методики выполнения измерений. – М.: Стандартинформ, 2007. – 23 с.
45. ГОСТ 8.401-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.
46. ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. – М.: Госстандарт, 2006. – 19 с.
47. ГОСТ 8.432-81. Влажность зерна и продуктов его переработки. Методика выполнения измерений на образцовой вакуумно-тепловой установке. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
48. ГОСТ 13586.2-81. Зерно. Методы определения содержания сорной, зерновой, особо учитываемой примеси, легких зерен и крупностей. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 23 с.
49. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 10 с.
50. ГОСТ Р 50436-. Зерновые. Отбор проб зерна. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 15 с.
51. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 13 с.
52. Демина Н.Ф. Экономика и управление на предприятиях АПК. Красноярск. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – 204 с.
53. Дмитриев А.В., Нуруллин Э.Г. Определение уравнения кривой горизонтального сечения лопасти броскового вентилятора // Труды Казанской государственной академии (раздел: технические науки). Казань, 2002. Том 70. – с. 136–139.
54. Егоров Г.А. Гидротермическая обработка зерна. – М.: Колос, 1984. – 240 с.
55. Егоров Г.А., Мельников Е.М., Максимчук Б.М. Технология муки, крупы и комбикормов: учеб. для вузов. – М.: Колос, 1984. – 376 с.

56. Егоров Г.А., Петренко Т.П. Технология муки и крупы: учебник. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 1999. – 366 с.
57. Егоров Г.А. Управление технологическими свойствами зерна: учебник. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 348 с.
58. Жислин Я.М. Исследование процесса аэродинамического шелушения зерна и создание аэродинамической шелушильной машины // Труды ВНИЭКИ продмаш. 1970. – Вып. 21.
59. Заявка №62-43739 Япония, Рисорушка ударного типа. Ямамото Соити. – опубл. 16.09.1987, Бюл № 2-1094.
60. Зимняков В.М., Курочкин А.А. Оборудование перерабатывающих производств: учеб. пособие. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 110 с.
61. Курочкин А.А. и др. Оборудование перерабатывающих производств: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 363 с.
62. Информационно-измерительная техника и технологии: учеб. для вузов / под ред. Г.Г. Раннева. – М., 2002. – 454 с.
63. Иванова Т.Н. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учебник. – М.: Академия, 2004. – 285 с.
64. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. ОСТ 70.2.18-73. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 66 с.
65. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки. ОСТ 70.2.2-73. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 23 с.
66. Казаков Е.Д. Методы оценки качества зерна. – М.: Агропромиздат, 1987. – 215 с.
67. Казаков Е.Д., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. – М.: Агропромиздат, 1989. – 367 с.
68. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 510 с.
69. Казаков Е.Д. Основные сведения о зерне: учебник. – М.: Зерновой Союз, 1997. – 144 с.

70. Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н. Роль шелушения зерна в технологии переработки твердой пшеницы // Хлебопродукты. – 2013. – № 3. – С. 44–45.
71. Колпакова В., Юдин Т., Севериненко С. Сухая пшеничная клейковина – эффективный улучшитель муки. Хлебопродукты. – 2006. – № 10. – С. 50-53.
72. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: метод. указания к лаборатор. работам / под ред. В.А. Самолетова. – СПб., 2003. – 57 с.
73. Лачуга Ю.Ф. и др. Моделирование траектории движения зерна по рабочим органам пневмомеханического шелушителя. Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – №4. – С. 73–76.
74. Лисин П.А. Компьютерное моделирование производственных процессов в пищевой промышленности.– 1-е изд. – М.: Лань, 2015. – 256 с.
75. Личко Н. М. Личко А.К. Зерноведение: учеб. для вузов – М.: ТД ДеЛи, 2021. – 283 с.
76. Лобанов В.И., Бузоверов С.Ю., Федорченко С.П.. Влияние влажности зерна первой дранной системы на основные показатели качества и выхода муки// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. –2014. – №2 С.147–151.
77. Манжесов В.И. и др. Технология хранения продукции растениеводства: учебник / под общ. ред. В. И. Манжесова. – СПб : ГИОРД, 2018. – 464 с.
78. Математическая статистика: учебник / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 371 с.
79. Математическое моделирование пористых структур пищевых продуктов на основе модульной геометрической модели / Ю.С. Степанов, Е.А. Белкин, А.Ф. Кулаков [и др.]. // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. – №3. – С. 61-64.

80. Марченко И.В., Салыхов Д.В. и др. Разработка оборудования для шелушения зерна // Инновационные тенденции развития российской науки: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2013. – С. 176–178.

81. Мацкевич И.В., Невзоров В.Н. Модернизация оборудования для производства безмучного хлеба из зерна пшеницы // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Красноярск, 2015. – С. 186–189.

82. Машины и аппараты пищевых производств: учеб.: в 2 кн / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов [и др.]; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.

83. Мацкевич И.В., Мальцев А.А. Совершенствование технологии и оборудования шелушения зерна пшеницы // Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения первого Президента Кабардино-Балкарской Республики Валерия Мухамедовича Кокова. – Нальчик, 2021. – С. 303-306.

84. Мельников Е.М. Интенсификация технологических процессов крупяного производства: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.02. – Москва, 1980. – 41 с.

85. Мерко И.Т. Технология мукомольного и крупяного производства – М.: Агропромиздат, 1985. – 288 с.

86. Михайлова О.В., Коробков А.Н. Изучение технологических операций подготовки зерна к помолу // Вестник НГИЭИ. – 2011. – № 4 (5). – С. 20–26.

87. Мякинков А.Г. Производство быстрорастваривающейся крупы и зерновых хлопьев // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2000. – №3. – С. 828.

88. Налимов В.Н. Логические основания планирования эксперимента: учебник под ред. Е.А. Шалыгина – 2-е изд. – М.: Колос, 2001.

89. Назаров Н.И. Технология и оборудование пищевых производств. – М., 1977. – 310 с.

90. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Модернизация технологии и оборудования предприятий по глубокой переработке зерна // Международные научные исследования. – 2015. – №4. – С. 15–21.

91. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Технология и оборудование для шелушения зерна пшеницы // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 6. – С. 162–166.

92. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Оптимизация технологического процесса шелушения зерна пшеницы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – Краснодар, 2018. – № 1. – С. 78–83.

93. Невзоров В.Н. и др. Технология и оборудование для производства зернового хлеба // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф. (22–23 апреля 2015 г.). – Красноярск, 2015. – Часть 2. – С. 113–117.

94. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В., и др. Внедрение технологии и оборудования для производства зернового хлеба в республике Кипр // Сборник международной научно- практической конференции. – Красноярск, 2019. – С.93–97.

95. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Инновационные проекты переработки животноводческого и растительного сырья в Эвенкийском муниципальном районе Красноярского края // Социально-экономические и экологические аспекты развития регионов и муниципальных образований: проблемы и пути их решения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – М., 2016. – С. 215–223.

96. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Технология и оборудование производства безмучного хлеба из зерна пшеницы для районов Крайнего севера// Социально-экономические и экологические аспекты развития регионов и муниципальных образований: проблемы и пути их решения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – М., 2016. – С. 230-238.

97. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Модернизация оборудования для производства безмучного хлеба из зерна пшеницы // Проблемы современной

аграрной науки: мат-лы междунар. науч.-практич. конф. – Красноярск, 2015. – С. 186–189.

98. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Новая технология и оборудование для глубокой переработки зерна пшеницы // Современные тенденции развития науки и производства: мат-лы V Междунар. науч.-практич. конф. / Западно-сибирский научный центр. – Кемерово, 2017. – С. 62–66.

99. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Рекомендации по внедрению инновационных технологий и оборудования при переработке продукции традиционных промыслов малых коренных народов Севера. Красноярск, 2017. – 145 с.

100. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Разработка оборудования для переработки недревесного растительного сырья в Сибири // Приоритеты и перспективы эколого-экономического развития: региональный и муниципальный аспекты: мат-лы междунар. науч.-практич. конф. 2018. – С. 368–374.

101. Невзоров В.Н., Салыхов Д.В. и др. Технология сепарации зерна на вибрационной машине // Вестник КрасГАУ. – 2018. – №5 (140). – С. 198–202.

102. Никифорова Т.А., Волошин Е.В. Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодовоовощной продукции и виноградарства: учеб. пособие. – Оренбург: ОГУ, 2017. – Ч.1. – 148 с.

103. Нилова Л.П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учебник. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 448 с.

104. Нилова Л.П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учебник. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 448 с.

105. Нуруллин Э.Г. Разработка и обоснование параметров пневмомеханической установки для шелушения зерна гречихи: дис....канд. техн. наук, Казань, 1995. – 162 с.

106. Одинец С.С., Топилин Г.А. Средства измерения крутящего момента. – М., 1977. – 160 с.

107. Пархоменко Н.А., Эдельман А.М. Получение кормового пшеничного зародыша на мельничных предприятиях // ЦИНТИ Госкомзага СССР. Хранение и переработка зерна. – 1968. – Вып.2. – С.18–22.

108. Пат. ПМ. 141853 RU, МПК В02В 3/08. Устройство для обработки поверхности зерен / Фомин О.В., Салыхов Д.В. – Заявитель и патентообладатель Салыхов Дмитрий Викторович №2013109793/13; заявл. 05.03. 2013; опубл. 20.06.2014.

109. Пат. 2630245 RU, МПК В02В 3/00 Устройство для шелушения зерна пленчатых культур / Самойлов В.А., Невзоров В.Н., Янова М.А., Ярум А.И., Салыхов Д.В., Колесникова Н.А.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – №2016140745; заявл. 17.10. 2016; опубл. 06.09.2017.

110. Пат. 2616045 RU, МПК В07В 1/06, В07В 1/46, В07В 7/08. Центробежный сепаратор / Самойлов В.А., Невзоров В.Н., Ярум А.И., Салыхов Д.В.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» №2016119071; заявл. 17.05. 2016; опубл. 12.04.2017.

111. Пат. 2699190 RU, МПК В02В 1/08. Устройство для пропаривания зерна / Невзоров В.Н., Мацкевич И.В., Безъязыков Д.С., Кавкин Р.В., Салыхов Д.В.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – №2018130546; заявл. 22.08.2018; опубл. 03.09.2019.

112. Пат. 2701802 RU, МПК В02В 3/00. Устройство для шелушения зерна / Невзоров В.Н., Мацкевич И.В., Тепляшин В.Н., Кавкин Р.В., Салыхов Д.В.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – №2018106189; заявл. 19.02.2018; опубл. 01.10.2019.

113. Пат. 2709719 RU, МПК В02В 5/02. Машина для шелушения зерна / Невзоров В.Н., Мацкевич И.В., Тепляшин В.Н., Кавкин Р.В., Салыхов Д.В.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»; – №2018130591; заявл. 22.08.2018; опубл. 19.12.2019.

114. Патент 2090261 RU, МПК В02В 3/02. Устройство для шелушения зерна / Трусов Н.А., Кравцов С.И., Нюшков Н.В. и др.; – заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «Ермак М ЛТД» Опытное проектно-конструкторско-технологическое бюро Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводств №95111337/13, заявл. 30.06.1995, опубл. 20.09.97. Бюл. №26.

115. Пат. 2043154 RU, МПК В02В 3/00. Устройство для шелушения зерна / Зотов Ю.Н.; – заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью «Наука». – №5046443/13; заявл. 05.06.1992; опубл. 10.09.1995.

116. Пат. 2302899 RU, МПК В02В 3/00. Вихревой шелушитель зерновых материалов / Кузнецов В. И., Макаров В.В., Грязнов С.В., Клюстер В.Ф., Чекусов М.С., Шариков О.А.; – заявитель и патентообладатель Организация научного обслуживания "Опытно-конструкторское бюро Государственного научного учреждения Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук (ОНО ОКБ ГНУ СибНИИСХ СО РАСХН). – №20041199241; заявл. 29.06.2004; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.

117. Пат. 2491124 RU, МПК В02В 3/02. Шелушительно-сушильная машина / Анисимов А.В., Богданова М.С.; – заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – №2012104970/13; заявл. 13.02.2012; опубл. 27.08.2013.

118. Пат. 2511754 RU, МПК В02В 3/08. Машина для шелушения зерна / Самойлов В.А, Ярум А.И., Невзоров В.Н.; – заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – №2012146811/13; заявл. 01.11.2012; опубл. 10.04.2014.

119. Пат. 2203736 RU, МПК В02В 3/04. Вальцедековая шелушительная машина / Филин В.М., Филин Д.В., Филин М.В. – заявитель и патентообладатель

Общество с ограниченной ответственностью «Агропродмаш». – №2001103705/13; заявл. 12.02.2001; опубл. 10.05.2003.

120. Пат. 2436632 RU, МПК В02В 3/00. Устройство для шелушения зерна / Диданов М.Ц., Диданов А.М., Исакова Г.А. – заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ). – №2010108876/12; заявл. 09.03.2010; опубл. 20.12.2011.

121. Пащенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебопекарного производства.– 3-е изд., испр. и доп. – М.: Лань, 2014. – 608 с.

122. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.

123. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях.– М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1990. Ч 1.– 81 с.

124. Практикум по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» / С.В. Харламов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 200 с.

125. Проектирование, конструирование и расчет техники пищевых технологий / под ред. В.А. Панфилова. – 1-е изд. – М.: Лань, 2013. – 912 с.

126. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, [и др.] – М., 1990. – 464 с.

127. Процессы и аппараты пищевой технологии / под ред. С.А. Бредихина. – 1-е изд. – 2014. – 480 с.

128. Салыхов Д.В., Невзоров В.Н., Мацкевич И.В. Совершенствование технологии переработки зерна пшеницы на роторно-лопастном шелушителе // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 3. – С. 157–163.

129. Салыхов Д.В. Невзоров В.Н., Мацкевич И.В. Результаты оценки качественных показателей хлебопекарного теста с использованием объемно-винтового способа замеса // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2016. – С. 125–128.

130. Салыхов Д.В. Невзоров В.Н., Тепляшин В.Н. Влияние влажности

зерна пшеницы на процесс шелушения // Актуальные вопросы переработки и формирование качества продукции АПК: мат-лы Междунар. науч. конф. (24 ноября 2021 г., г. Красноярск) / отв. за вып. В.Л. Бопп, Е.А. Речкина; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2021. – С. 14–16.

131. Сажин С.Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2012. – URL: <http://e.lanbook.com/view/book/4134>.

132. Самойлов В.А. и др. Разработка технологического оборудования для шелушения риса // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы Междунар. науч.-практич. конф. – Красноярск, 2015. – С. 193–196.

133. Самойлов В.А. и др. Новое оборудование для переработки зерновых культур в пищевые продукты; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 198 с.

134. Самойлов, В.А. и др. Разработка нового оборудования для переработки зерна пшеницы в регионах Сибири // Концепция устойчивого развития науки третьего тысячелетия: мат-лы Междунар. науч.-практич. конф. – Красноярск, 2016. – С. 76–80.

135. Самойлов В.А. и др. Научные исследования пищевого технологического оборудования на основе патентных разработок: метод. указания / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск. 2012. – 64 с.

136. Семенов Е.В., Глебов А.А., Петров К.Н. Моделирование процесса обработки зерна шелушением с позиций системного подхода // Хранение и переработки сельхозсырья. – 1997. № 11.

137. Солонин И.С. Математическая обработка в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.

138. Степанова Н. Ю., Марченко В. И. Биохимические основы переработки и хранения сырья растительного происхождения. – СПб, 2017. – 312 с.

139. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс] // Открытые реестры. – URL: <http://www1.fips.ru/wps/portal>.

140. Филиппов А.Н. Техничко-экономическое проектирование предприятий пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1990.

141. Цагоева О.К. Изучение микробиологических показателей зерна для использования в спиртовом производстве // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: мат-лы VII Междунар. науч.-практич. конф. посвященной памяти Заслуженному деятелю науки РФ, КБР, Республики Адыгея профессора Б.Х. Фиапшева. – Нальчик, 2021. – С. 80–82.

142. Цугленок Г.И. Матюшев В.В., Янова М.А. Инновационные технологии переработки продукции растениеводства в Красноярском крае // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 4. – С. 206-209.

143. Цыганова, Т.Б., Костюченко, Л.Л. Авдеева М.Н. Проектирование предприятий: учеб.-практ. пособие. – М.: МГФУФ, 2012. – 160 с.

144. Экспериментально-аналитический центр агробизнеса [Электронный ресурс] // URL: Российский рынок зерна - тенденции и прогнозы - Agrovesti.net АПК.

145. Юсупова Г.Г., Бердышникова О.Н. Технология мукомольного производства: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 180 с.

146. Ander E. Die Bearbeitung der Getreideoberfläche in der Reinigung und der Einflufi auf dieVermahlung. Die Miihle, 1968, 48, 112–118.

147. Arendt, E. K. Cereal grains for the food and beverage industries/ E. K. Arendt, E. Zannini. – UK : Woodhead Publishing, 2013. – 512 p. 157.

148. Berghofer, L. K. Microbiology of wheat and flour milling in Australia / L. K. Berghofer, A. D. Hocking, D. Miskelly, E. Jansson // Int. J. Food Microbiology. – 2003. – Vol. 85. – P. 137–149.

149. Collins, H. M. Variability in fine structures of noncellulosic cell wall polysaccharides from cereal grains: potential importance in human health and nutrition / H. M. Collins, R. A. Burton, D. L. Topping, M. L. Liao, A. Bacic, G.B. Fincher // Cereal Chemistry. – 2010. – Vol. 87 (4). – P. 272–282.

150. Koehler, P. Chemistry of Cereal Grains / P. Koehler, H. Wieser // Handbook on Sourdough Biotechnology. – New York [et. al.] : Springer, 2013. – P. 11–46.
151. Larsen, N. Comparison of industrial and laboratory dough mixers and development / N. Larsen, K. Halgh, A. Wilson. – P. Higgins. 2004. – 57 p.
152. Lockhard G.L., Lai F.S., Pomeranz J. Variability gliadin electrophoresis and hardness of individual kernel selected from foundation seed on the basis of grain morphology. *Cer. Chem.*, 1985, 62, 3, 185.190.
153. Nagi, H. P. S. Effect of Storage Period and Packaging on the Shelf Life of Cereal Bran Incorporated Biscuits / H. P. S. Nagi, J. Kaur, B. N. Dar, S. Sharma // *American Journal of Food Technology*. – 2012. – № 7. – P. 301–310.
154. Prochazka, Prihodova J. Technologie oddelen ipsenic nychklick uvemlynea jejichstabi-lizace. // *Mlynsko-pekarens kyprumysl.* - 1978. – v.24. - №6. - C.179–181.
155. Zerb G.C., Hall C.W. Some mechanical and rheological properties of grains. *J. Agrn. Eng. Res.* 1990,5, 1, 83.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение 1

### Экспериментальные материалы по технологическим параметрам зерна пшеницы

Диаметр зерна, мм	Длина зерна, мм	Толщина ПСО, мкм	Толщина алейронового и субалейронового слоя, мкм	Диаметр зародыша, мкм
2	3	4	5	6
3,67	6,65	34	26	600
3,72	6,5	35	27	650
3,05	6,85	24	23	400
3,6	6,8	25	27	500
3,65	6,67	33	24	550
3,68	6,5	34	25	575
3,92	5,5	40	30	650
3,91	6,2	41	30	700
4,42	6,15	52	39	1100
3,32	5,5	29	31	550
3,85	5,1	35	28	600
3,82	5,35	36	39	650
3,25	5,29	34	30	700
3,9	6,2	39	29	650
3,4	6,1	46	34	850
3,7	6,8	33	23	500
3,84	6	35	25	600
3,25	6,85	34	32	650
3,35	7,1	29	24	700
3,7	6,7	32	24	550
3,35	6,9	29	22	600
3,71	5,9	32	25	600
3,2	5,2	25	24	450
3,6	6,6	31	22	500
3,1	5,9	24	24	4,25
3,89	6,4	38	29	650
3,4	5,95	36	28	600
3,2	6,1	27	26	500
3,4	5,8	32	28	700
3,3	5,4	25	24	450
3,3	6,63	24	25	400
3,7	6,6	33	27	600
3,42	5,7	27	28	550
3,44	5,73	26	26	600
3,45	5,78	27	29	600
3,47	5,79	25	24	500
3,64	5,5	30	27	500
3,6	6,28	28	26	550
3,61	6,7	25	21	500
3,62	6,35	27	26	800
3,49	6,37	35	27	650
3,59	6,38	37	30	650
3,58	6,39	32	30	500
4,1	6,5	43	32	700
4,15	6,55	44	33	700
4,18	6,1	48	32	950
4,19	6,15	47	34	950
4,27	6,17	50	36	1000
4,29	6,19	50	38	1000
4,18	6,37	47	35	900
4,15	6,38	46	34	850
4,39	6,17	45	39	1000

Приложение 2

Конструкторская документация «Роторно-лопастной шелушитель»

**1** Резервы для straps  
**2** Соединение оси, кодаж шкивов в передней и задней дально  
 даль не более 4мм  
**3** Пирамиды - эволь. 10-15 серия ГОСТ 6465-76 по одному главу  
 стандарты Го-1021 ГОСТ 25129-82

Р/ШЛ-100.0000.05		Лист	1/2	Всего листов
Исполн.	М.В.В.	Дата	28	1,2
Провер.	С.В.В.	Дата		
Утверд.	С.В.В.	Дата		
Специальн. зам.		Дата		
Изм.		Дата		

Роторно-лопастной шелушитель  
 чертёж

97 0000001-П/ШЛ

725

456

372

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 15 16 17 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

А-А

В-В

Г-Г

15°

45°

Положение рукоятки при открытой заслонке сепаратора

Положение рукоятки при закрытой заслонке узла сепарации



№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание
						на из-на деле	в комп-лекты	на ре-гуляра	
1									
2	Шайба 8.65Г.019		ГОСТ 6402-70			12			
3									
4	Шайба 7.65Г.076		ГОСТ 11648-75			1			
5									
6	Шплинт 2,5×14.01		ГОСТ 397-79			4			
7									
8	Ремень Z10-710		ГОСТ 1284.1-89			1			
9									
10	Электродвигатель								
11	АИР 80 А4 У3								
12	380В; 50Гц; 0,55кВт								
13	n=1500об/мин					1			
14									
15	Электродвигатель								
16	АВ-042-2МУ3								
17	220/380В; 50Гц; 40Вт								
18	n=2700об/мин								
19	в сборе с вентилятором					1			
20									
21	Вилка силового переносная								
22	Модель 014; 16А; 380В		ГОСТ Р 51323.1-99, ГОСТ Р 51323.2-99			1			
23									
24	Пост управления кнопочный								
25	с двумя управляющими элементами					1			
26									
27	Выключатель автоматический								
28	ВА 47-63		ГОСТ Р 50345-99			1			
29									

Инд. № подл. Подл. и дата

Взм. инд. № Подл. и дата

Инд. № подл. Подл. и дата

Р/Ш-100.000 ВП

Формат А3

Копирован

Изм./Лист

№ док-м.

Подл.

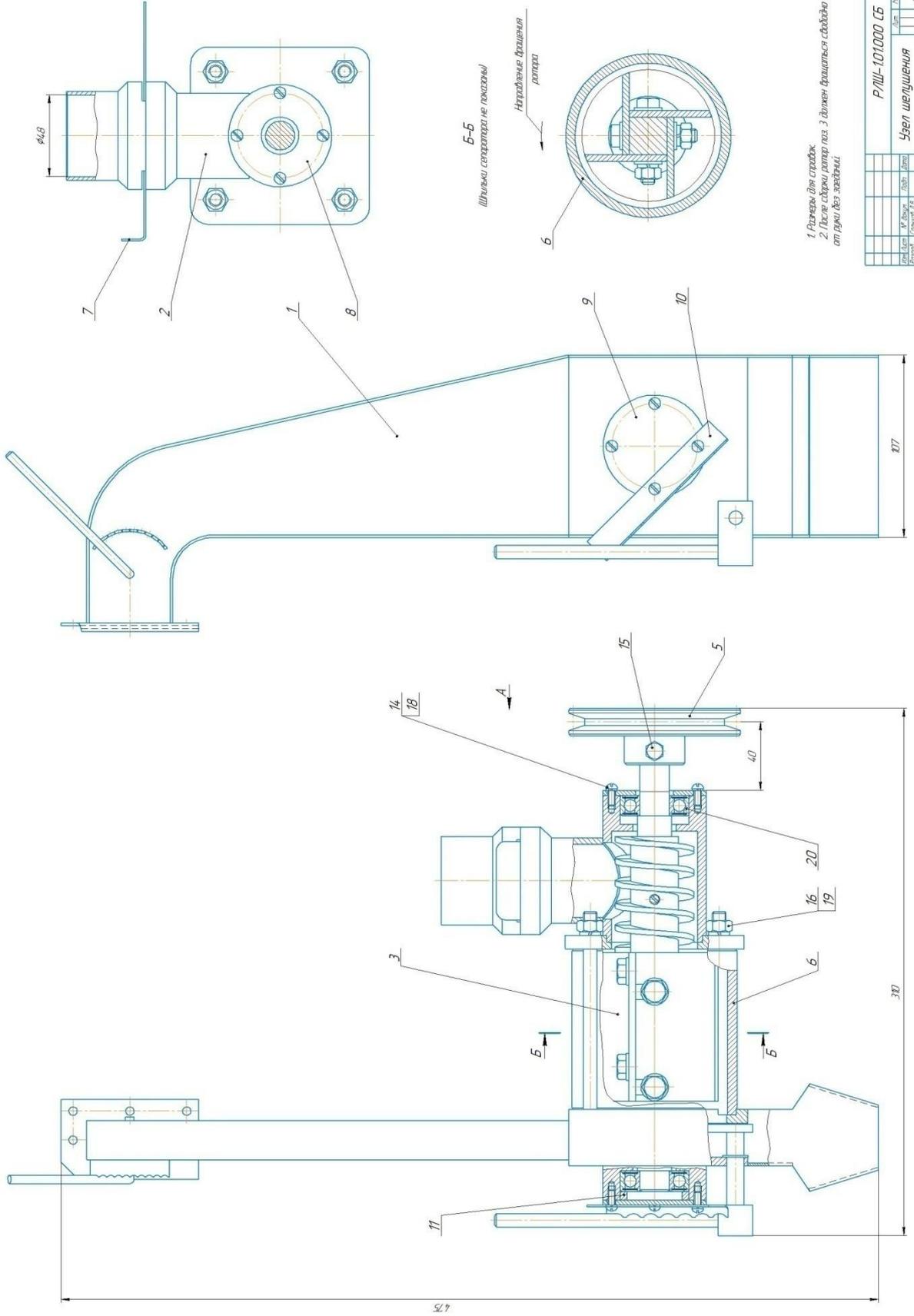
Дата

Лист

2

№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Приме- чание	
						на из- деле	в комп- лекты	на ре- всего гулур.		
1										
2			Материалы							
3										
4	Трубка 305 ТВ-40,7, делая									
5	высшего сорта		ГОСТ 19034-82			0,4м				
6	Трубка 305 ТВ-40,9, черная									
7	высшего сорта		ГОСТ 19034-82			0,9м				
8										
9	Провод ПВЗ									
10	10 Б		ГОСТ 6323-79			1,5м				
11	15 Б		ГОСТ 6323-79			1,2м				
12	15 Ж		ГОСТ 6323-79			1,2м				
13	15 К		ГОСТ 6323-79			1,2м				
14	15 Г		ГОСТ 6323-79			0,75м				
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
						Р/Ш-100.000 ВП			Лист	3
						Копиредел			Формат А3	
Имя, № подл.		Имя, № подл.		Имя, № подл.		Имя, № подл.		Имя, № подл.		
Подп. и дата		Подп. и дата		Подп. и дата		Подп. и дата		Подп. и дата		
Взам. инв. №		Инд. № инв.		Инд. № инв.		Инд. № инв.		Инд. № инв.		

Р/Ш-101000 СБ



1. Размеры для сборки.  
2. После сборки радиус поз. 3 должен выставляться свободно от дужки без заедов.

Б-Б  
Шпильки соединяются попарно!  
Направление вращения  
радиуса

Р/Ш-101000 СБ	
Лист	Изменения
84	11
Лист	Листов
1	1

Узел шестушения  
Сборочный чертеж

Исполн.	Проверен	Утвержден
М.П.	М.П.	М.П.
Дата	Дата	Дата

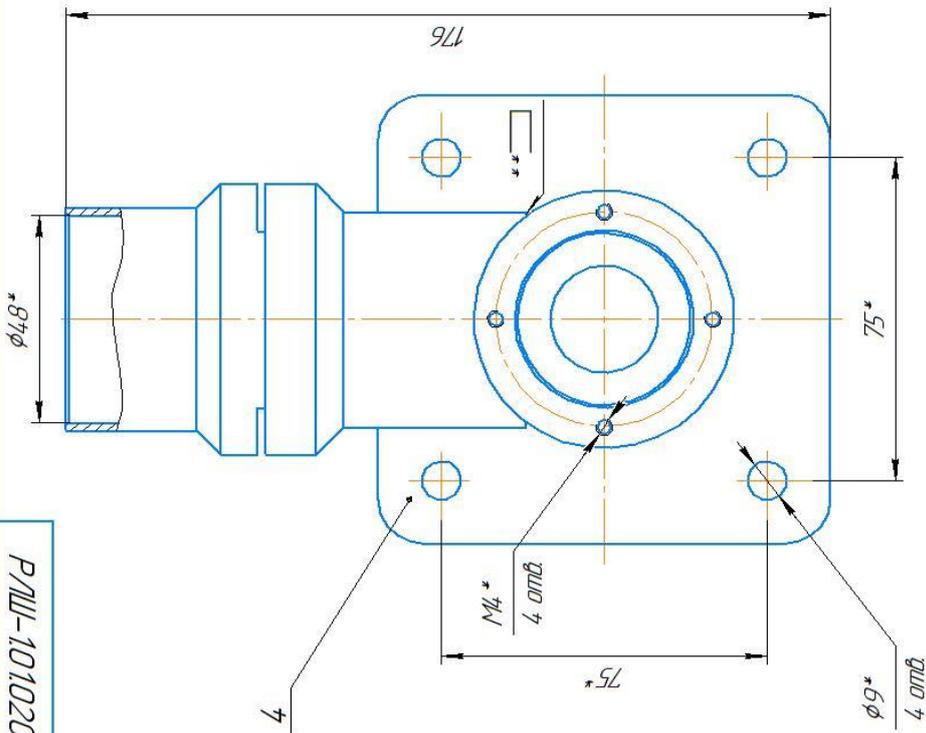
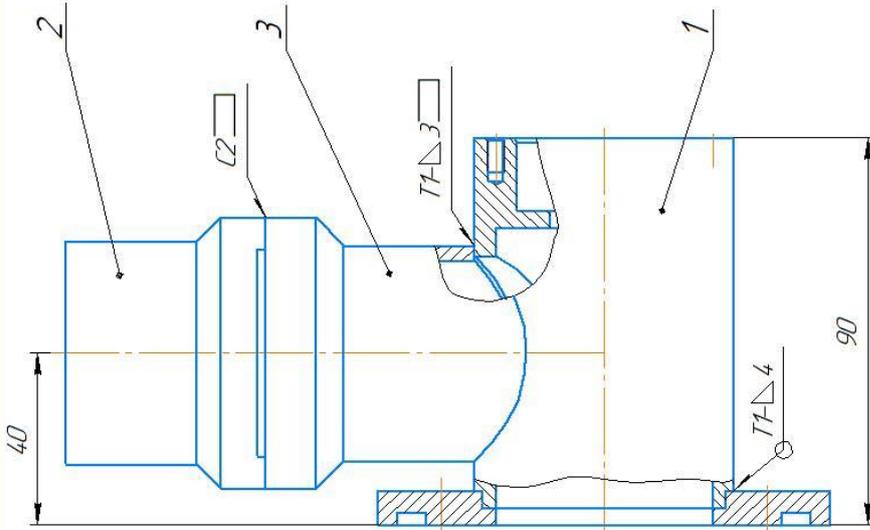
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
<u>Документация</u>							
A1			АОП-101000 СБ	Сборочный чертеж			
<u>Сборочные единицы</u>							
A4	1		АОП-101010	Сепаратор	1		
A4	2		АОП-101020	Корпус	1		
A4	3		АОП-101030	Ротор	1		
<u>Детали</u>							
A4	5		АОП-101001	Шкив	1		
A3	6		АОП-101002	Барабан	1		
A4	7		АОП-101003	Заслонка	1		
A4	8		АОП-101004	Крышка	1		
A4	9		АОП-101005	Крышка	1		
A4	10		АОП-101006	Сектор	1		
A4	11		АОП-101007	Кольцо	1		
<u>Стандартные изделия</u>							
	14			Винт ВМ4-6d×10.48.016 ГОСТ 17473-80	8		
<b>Р/Ш-101000</b>							
				<b>Узел шелушения</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Салыхов Д.В.				1	2
Проб.		Фамин О.В.					
Н.контр.		Тепляшин В.Н.					
Утв.		Невзоров В.Н.					





Формат Зона Поз.	Обозначение		Наименование		Кол.	Приме- чание	
Перв. примен.							
				<u>Документация</u>			
Справ. №	A2		АОП-101.010 СБ	Сборочный чертеж			
				<u>Сборочные единицы</u>			
	A4	1	АОП-101.100	Рычаг	1		
				<u>Детали</u>			
	A3	3	АОП-101.101	Фланец	1	0,52 кг	
	A3	4	АОП-101.102	Фланец	1	0,36 кг	
	A3	5	АОП-101.103	Фланец	1	0,04 кг	
	A4	6	АОП-101.104	Заслонка	1	0,14 кг	
	A4	7	АОП-101.105	Обойма	1	0,28 кг	
	A4	8	АОП-101.106	Рукоятка	1	0,02 кг	
	A4	9	АОП-101.107	Шпилька	4	0,05 кг	
	A4	10	АОП-101.108	Стенка	1	0,07 кг	
	A4	11	АОП-101.109	Стенка	1	0,1 кг	
	A4	12	АОП-101.111	Стенка	2	0,26 кг	
A4	13	АОП-101.112	Баковина	2	0,08 кг		
A4	14	АОП-101.113	Сектор	1	0,006 кг		
Подп. и дата							
Инв. № дубл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
				<b>РЛШ-101.010</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Салыхов Д.В.				1	2
Проб.		Фомин О.В.					
Н.контр.		Тепляшин В.Н.					
Утв.		Недзаров В.Н.					
<b>Сепаратор</b>							





Р/Ш-101020 СБ

Инд. № подл.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Взам инд. №	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.
Спроб. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Лист примен.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

- \* Размеры для справок.
- \*\* Сварной шов нестандартный; сварка ручная дуговая.

Р/Ш-101020 СБ		Лист	Масса	Масштаб
Корпус		18	18	11
Сборочный чертеж		Лист	Листов	1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Селькис Д.В.	Фонин С.В.		
Проб.	Фонин С.В.	Фонин С.В.		
Техн.пр.				
Начектр.	Тепляшин В.Н.			
Утв.	Невзоров В.Н.			

- Сварные швы по ГОСТ 5264-80.
- Предельные отклонения размеров по ±IT16/2.





Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
А3			АОП-101030 СБ	Сборочный чертеж		
<i>Сборочные единицы</i>						
А4	1		АОП-101300	Шнек	1	
<i>Детали</i>						
А3	3		АОП-101301	Вал	1	
А4	4		АОП-101302	Лопасть	2	
-	5		-01	Лопасть	2	
<i>Стандартные изделия</i>						
		7		Болт М8-6d×4.5.58.019 ГОСТ 7798-70	4	
		8		Винт М6-6d×25.4.5Н.4.5.05 ГОСТ 14.77-93	1	
		9		Гайка М8-7Н.05.019 ГОСТ 5915-70	4	
		10		Шайба 8.65Г.019 ГОСТ 6402-70	4	
		11		Шайба 8.05.019 ГОСТ 11371-78	8	
<b>РЛШ-101030</b>						
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Салыхов Д.В.				
Проб.		Фамин О.В.				
Н.контр.		Тепляшин В.Н.				
Утв.		Нейзоров В.Н.				
<b>Ротор</b>				Лит.	Лист	Листов
						1

## Приложение 3

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 709 719** (13) **C1**

(51) МПК  
**B02B 5/02 (2006.01)**  
 (52) СПК  
**B02B 5/02 (2019.02)**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:  
 Пошлина: 02.07.2021)  
 Срок подачи ходатайства о восстановлении срока действия патента до 22.02.2024.

(21)(22) Заявка: [2018130561](#), 22.08.2018(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.08.2018Дата регистрации:  
19.12.2019Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 22.08.2018(45) Опубликовано: [19.12.2019](#) Бюл. № [35](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2491124 C1, 27.08.2013. RU  
2511754 C1, 10.04.2014. RU 2196000 C2,  
10.01.2003. US 6562396 B1, 13.05.2003.Адрес для переписки:  
660049, г. Красноярск, пр-кт Мира, 90,  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, инженер по  
патентно-изобретательской работе  
Лушников М.С.

(72) Автор(ы):

Невзоров Виктор Николаевич (RU),  
 Мацкевич Игорь Викторович (RU),  
 Тепляшин Василий Николаевич (RU),  
 Кавкин Радислав Вадимович (RU),  
 Салыхов Дмитрий Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Красноярский  
 государственный аграрный университет"  
 (RU)

(54) Машина для шелушения зерна

## Приложение 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **141 853** (13) **U1**(51) МПК  
**B02B 3/08 (2006.01)**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 06.09.2021)  
 Пошлина: учтена за 5 год с 06.03.2017 по 05.03.2018. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: **2013109793/13**, 05.03.2013(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**05.03.2013**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **05.03.2013**(45) Опубликовано: **20.06.2014** Бюл. № **17**

Адрес для переписки:

**660113, г.Красноярск, ул. Елены Стасовой,  
29, кв. 23, Салыхов Дмитрий Викторович**

(72) Автор(ы):

**Фомин Олег Васильевич (RU),  
Салыхов Дмитрий Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Салыхов Дмитрий Викторович (RU)****(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРЕН**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к зерноперерабатывающей технике, а именно к устройствам, используемым для отделения оболочек зерен и минеральных поверхностных загрязнений при шелушении зерна на мукомольных, крупяных и комбикормовых предприятиях. Устройство для обработки поверхности зерен, содержащее корпус, расположенный в нем ротор с лопатками, приспособление для загрузки, приспособление для управления перемещением зерна в корпусе виде подвижных отражателей регулирующих выпускное сечения корпуса и аспирационный канал, причем, все рабочие поверхности с которыми, соприкасается зерно в процессе шелушения покрыты мягким вязкоупругим материалом, а именно: загрузочный корпус с внутренней стороны, корпус и лента подающего зерно шнека, цилиндрический корпус устройства обработки зерна с внутренней стороны, лопатки ротора со всех сторон, подвижные регулирующие отражатели с двух сторон, поверхность аспирационного канала. Техническим результатом является шелушение пленок зерна с большим выходом цельной ядрицы путем равномерного разрушения во времени пленок зерна вращением зерна вокруг своей оси и истиранием поверхности зерна только о поверхности соседних зерен в процессе шелушения, а также предохранение зерна от случайного раскрытия оболочек твердыми поверхностями: при подаче зерна на шелушение, при регулировании перемещения зерна в корпусе и разгрузке, при разделении продуктов шелушения в аспирационном канале. 3.П.Ф. 4 Ил.

## Приложение 5

### Акты производственных испытаний ООО «Енисей»



Общество с ограниченной ответственностью  
«Енисей»

662621, Красноярский край, Минусинский район,  
с. Селиваниха, ул. Заречная, д.3  
ИНН/КПП 2455031366/245501001, ОГРН 1112455000800  
Тел: (39132) 75-6-12, E-mail: mzp3@yandex.ru



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО «Енисей»

А.В. Блинов

«25» ноября 2021 г.

#### Акт

**производственных испытаний технологии шелушения зерна с использованием  
роторно-лопаточной машины**

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: главного инженера ООО «Енисей» А.К. Климовича, представителя организации изготовителя шелушительной машины ООО «Алейрон» О.В. Фомина, представителей ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ д.с.х.н., профессора В.Н. Невзорова, доцента каф. Технология, оборудование бродильных и пищевых производств, к.т.н. И.В. Мацкевич, аспирант Д.В. Салыхов, магистр А.А. Мальцев, составили настоящий акт о том, что в условиях ООО «Енисей» 25 ноября 2021 года проведены испытания роторно-лопаточного шелушителя, изготовленного по патентам РФ № 2709719 «Машины для шелушения зерна» и №141853 «Устройство для обработки поверхности зерен», производственные испытания проводились по разработанной технологии аспирантом Д.В. Салыховым, которая предусматривает поэтапное шелушение зерна пшеницы и проведение сбора отдельных фракций продуктов шелушения в виде семенной и плодовой оболочек, алейронового и субалейронового слоев, эндосперма и зародыша.

Производственные испытания производились при следующих конструктивных параметрах: величина зазора между шелушительной лопастью и корпусом шелушителя 1,75 мм; количество шелушительных лопастей 2 шт; длительность увлажнения зерна 16 мин. Для испытаний использовалась пшеница. Результаты испытаний 5000 гр зерна

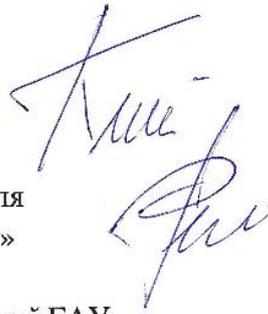
Таблица 1 – Процентное соотношение технологических параметров

Общая масса зерна для исследований, г	Масса семенных и плодовых оболочек, г	Масса алейронового и субалейрового слоев, г	Масса зародыша, г	Масса эндосперма, г
5000	290	385	125	4200
100%	5,8%	7,7%	2,5%	84%

Анализ таблицы 1 показывает, что полученные результаты массы фракций от общей массы зерна не выходят за пределы требований ГОСТ 9853-2016 «Пшеница. Технические условия».

Настоящий акт подтверждает практическую ценность результатов исследования и возможность внедрения выполненной работы в производство.

Главный инженер ООО «Енисей»



А.К. Климович

Представитель организации изготовителя  
шелушительной машины ООО «Алейрон»

О.В. Фомин

*Представители ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ*

Зав. кафедрой «Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств», д.с-х.н.

В.Н. Невзоров

Доцент кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств, к.т.н.

И.В. Мацкевич

Аспирант кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств

Д.В. Салыхов

Магистр кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств

А.А. Мальцев

## Приложение 6

# Акты производственных испытаний ООО «Абазинское промышленное хозяйство»

Общество с ограниченной ответственностью  
«Абазинское промышленное хозяйство»

655750 Республика Хакасия, город Абаза, ул. Кулакова д.137  
ИНН 1909051942; КПП 190901001, ОГРН 1041904000951  
email: aphabaza@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ООО «Абазинское промышленное хозяйство»  
В.В. Дементьев  
«13» октября 2021 г.



### Акт

#### о проведении производственных испытаний совершенствованной технологии шелушения зерна пшеницы с использованием опытного образца роторно-лопастной шелушильной машины

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: начальника производственного цеха по производству зернового хлеба Сорайкина О.И. и инженера организации эксплуатации технологического оборудования Кузьмина Н.П. представители ООО «Абазинское промышленное хозяйство»; доцента каф. технологии, оборудование бродильных и пищевых производств, к.т.н. Мацкевич И.В., зав. каф. технологии, оборудование бродильных и пищевых производств, д.с.х.н., профессор Невзоров В.Н., зав. каф., хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств к.с.-х.н. Янова М.А., аспирант Салыхов Д.В. – представители ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ, составили настоящий акт о том, что в производственных условиях ООО «Абазинское промышленное хозяйство» 13 октября 2021 года проведены испытания совершенствованной технологии шелушения зерна пшеницы с использованием опытного образца разработанной роторно-лопастной шелушильной машины.

Полученная шелушенная пшеница предназначена для производства хлебобулочных изделий «Хлеб зерновой» с повышенным содержанием пищевых волокон.

Технологию поэтапного шелушения зерна пшеницы и шелушильную машину разработал аспирант ФГБОУ Красноярский ГАУ Салыхов Дмитрий Викторович.

Результаты испытаний представлены в таблице 1 в виде процентного соотношения полученных технологических параметров по сравнению с действующей на предприятии производственной технологией.

Таблица 1 – Процентное соотношение технологических параметров

№	Наименование технологических параметров	По ГОСТ 9853-2016 «Пшеница. Технические условия»	По результатам роторно-лопастного шелушения
1	Плодовые и семенные оболочки	5-9	5,8
2	Субалейроновый и алейроновый слой	6-9	7,7
3	Зародыш	2-3,5	2,5
4	Эндосперм	78-86	84,0

По результатам производственных испытаний подготовки зерна пшеницы для производства зернового хлеба, полученное шелушенное зерно по разработанной технологии соответствует требованиям ГОСТ 25832-89.

*Представители ООО «Абазинское промышленное хозяйство»*

Директор ООО «Абазинское промышленное хозяйство»



В.В. Дементьев

Начальник производственного цеха



О.И. Сарайкина

Инженер организации и эксплуатации технологического оборудования



Н.П. Кузьмин

*Представители ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ*

Зав. кафедрой «Технологии, оборудование бродильных и пищевых производств», д.с-х.н.



В.Н. Невзоров

Зав. кафедрой «Хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств», к. с-х.н.



М.А. Янова

Доцент кафедры Технологии, оборудование бродильных и пищевых производств, к.т.н



И.В. Мацкевич

Аспирант кафедры Технологии, оборудование бродильных и пищевых производств



Д.В. Салыхов

## Приложение 7

### Акты производственных испытаний СПСОК «АГРОАРКТИК»

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СБЫТОВОЙ  
ОБСЛУЖИВАЮЩИЙ КООПЕРАТИВ  
«АГРОАРКТИКА»

662608 Красноярский край, Минусинский р-н, г. Минусинск, ул. Штабная, д.20, кв 3  
ИНН 7707083893, КПП 246602001, БИК 045004774  
Телефон сотовый 89237701898, email: mish1n.voff@yandex.ru

Президент СПСОК «АГРОАРКТИКА»



УТВЕРЖДАЮ:  
В.В. Мишин  
«20» января 2022 г.

Акт

**о использовании результатов диссертационной работы Салыхова Дмитрия Викторовича по теме «Совершенствование технологии роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы» на СПСОК «АГРОАРКТИКА»**

Совершенствование технологии шелушения зерна пшеницы осуществляется за счет разработки новой конструкции роторно-лопастного шелушения позволяющего повысить технологические процессы шелушения путем поэтапного отделения семенных и плодовых оболочек, айлеронового и субалейронового слоев, зародыша и эндосперма.

Производственные испытания показали, что наилучшие технологические показатели процесса шелушения осуществляются при величине зазора между лопастями и корпусом шелушительного барабана составляет 1,75 мм, количество установленных лопастей 2 шт, длительность увлажнения зерна 16 мин, энергозатраты составили 13,805 Вт ч/т.

Разработанная и изготовленная опытная установка для роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы по патентам Российской Федерации №2709719 «Машины для шелушения зерна» и №141853 «Устройство для обработки поверхности зерен» имеет высокие технологические характеристики и производственные показатели.

Представители СПСОК «АГРОАРКТИКА»  
Председатель СПСОК  
Заместитель председателя по производству



В.В. Мишин  
А.В. Соловьева

Представители ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  
Зав. кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств  
Доцент кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств  
Аспирант кафедры Технологии, оборудование бродильных  
и пищевых производств



В.Н. Невзоров  
И.В. Мацкевич



Д.В. Салыхов

## Приложение 8

### Акты внедрения ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»

Утверждаю

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО Красноярский государственный  
аграрный университет

  
В. Л. Бош  
02 февраля 2022 год



АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы  
в учебный процесс

Результаты научно-исследовательской работы и практические решения по шелушению при переработке зерна пшеницы, выполненные в Красноярском ГАУ, при непосредственном участии аспиранта Салыхова Дмитрия Викторовича, внедрены в учебный процесс Института пищевых производств.

Разработанная технология и изготовленное новое технологическое оборудование для роторно-лопастного шелушения зерна пшеницы, используются при организации научно-исследовательской и практической работы по направлениям подготовки ИПП: 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (уровень подготовки – бакалавриат), и 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» (уровень подготовки – магистратура).

Директор института пищевых  
производств, доктор  
технических наук, профессор



В.В. Матюшев

Аспирант



Д.В. Салыхов