

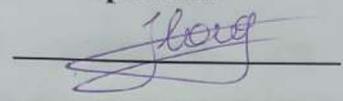
диссертации был получен патент на изобретение  
квалификационной работы Нигманов Р.Э. показав

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»  
Институт механизации и технического сервиса  
Кафедра машин и оборудования в агробизнесе  
Направление подготовки – 35.04.06 Агроинженерия  
Магистерская программа – Техника и технологии в агробизнесе

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

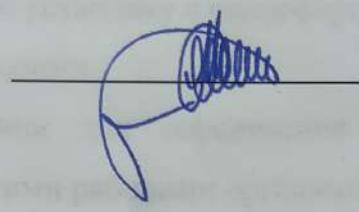
**ТЕМА: Разработка и исследование устройства для шелушения зерна  
гречихи**

Студент магистратуры



Нигманов Р.Э.

Научный руководитель,  
к.т.н., доцент



Дмитриев А.В.

Заседание кафедры по допуску к защите ВКР очное бакалавриат и  
магистратура, протокол №10 от 29.05.2024

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент  
ученое звание

  
подпись

Халиуллин Д.Т.  
Ф.И.О.

Казань - 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Классификация способов шелушения зерна.....	14
1.3 Анализ конструкций машин для шелушения зерна.....	18
1.4 Анализ теоретических исследований процесса шелушения зерна.....	31
1.5 Краткие выводы. Цели и задачи исследования.....	41
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА С ПОЛУСФЕРИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ	
2.1 Конструктивно-технологическая схема.....	43
2.2 Технологический и конструктивный расчет.....	46
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.	
3.1 План экспериментальных исследований .....	56
3.2 Методика определения влажности зерна.....	58
3.3 Методика определения показателей эффективности шелушения в зависимости от влажности зерна .....	60
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	
4.1 Результаты определения влажности зерна.....	66
4.2 Результаты определения показателей эффективности шелушения в зависимости от влажности зерна.....	67
ВЫВОД.....	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	74
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	79

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Крупяные культуры, широко используются в человеческом рационе. Гречиха, рис, овес, пшеница и кукуруза занимают тринадцать процентов от потребляемых зерновых культур во всем мире. В России потребление круп стабильно растет. Согласно данным BusinesStat, в 2023 году продажи крупы в России составило 1643 тыс. т, что на 30 % больше, чем в 2019 году [1]. Этот рост обусловлен растущим спросом на здоровое питание. Гречневая крупа обладает высокой питательностью и полезными свойствами для организма. Гречневая крупа богата клетчаткой, содержит больше белка, чем большинство других злаков, не содержит глютена, богата антиоксидантами, имеет низкий гликемический индекс, содержит магний, калий и другие минералы, является хорошим источником селена.

Переработка зерна на крупы состоит из нескольких этапов. Сначала необходимо выделить из зерна дефектные семена, сорняки и их семена, разнообразный мусор и минеральные элементы, затем производят гидротермическая обработка, состоящая из нескольких стадий. После гидротермической обработки следует снятие с зерна оболочки, то есть шелушение. Некоторые крупяные культуры после шелушения ещё и шлифуют. Переработанное зерно очищают взвешивают и упаковывают.

Шелушение является основным процессом при производстве крупы. Основными требованиями для новых конструкций машин для шелушения зерна, являются повышение качества продукции, уменьшение энерго- и ресурсозатрат и повышение производительности агрегатов [2].

Степень разработанности темы исследования. Над процессом шелушения трудились как отечественные, так и зарубежные ученые: Дмитриев А.В., Нуруллин Э.Г., Халиуллин Д.Т., Зиганшин Б.Г., Филин В.М., Филин Д.В., Верещинский А.П., Дулаев В.Г., Наумов И.А., Osei S., Alli O.D., Nathan C., Raymond G. и др.

Цель исследования. Повышение эффективности процесса шелушения путём разработки сферической машины, обеспечивающего повышение эффективности процесса шелушения.

Объект исследования. Исследование технологического процесса шелушения зерна гречихи в шелушителях.

Предмет исследования. Закономерности процесса шелушения зерна гречихи.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать чертеж устройства для шелушения с полусферическими рабочими органами с направляющими;
2. Собрать лабораторную установку с полусферическими рабочими органами с направляющими;
3. Провести исследования для определения эффективности работы устройства для шелушения зерна гречихи с полусферическими рабочими органами с направляющими.

## АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе на тему «Разработка и исследование устройства для шелушения зерна гречихи» на первом этапе рассмотрены вопросы шелушения зерна гречихи с точки зрения существующих способов шелушения зерна, проведен анализ теоретических исследований шелушения, дан обзор существующих конструкций и устройств шелушения.

На основе этих исследований были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать чертеж устройства для шелушения с полусферическими рабочими органами с направляющими;
2. Собрать лабораторную установку с полусферическими рабочими органами с направляющими;
3. Провести исследования для определения эффективности работы устройства для шелушения зерна гречихи с полусферическими рабочими органами с направляющими..

Данная работа состоит из 73 страниц пояснительной записки, 30 рисунков, 46 формул, 7 таблиц, 36 использованной литературы.

## ANNOTATION

In the final qualifying work on the topic "Development and research of a device for peeling buckwheat grain", at the first stage, the issues of peeling buckwheat grain from the point of view of existing grain peeling methods are considered, theoretical studies of peeling are analyzed, an overview of existing structures and peeling devices is given.

Based on these studies, the following tasks were set and solved:

1. Develop a drawing of a peeling device with hemispherical working bodies with guides;
2. Assemble a laboratory installation with hemispherical working bodies with guides;
3. To conduct research to determine the effectiveness of the device for peeling buckwheat grain with hemispherical buckwheat working bodies with guides..

This work consists of 73 pages of explanatory notes, 30 figures, 46 formulas, 7 tables, 36 references.

# 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Общие сведения

Гречиха посевная или обыкновенная- это трав-однолеток, высотой стеблей которого составляет от 30 до 80 см. Растет в условиях умеренного климата. В России более пятидесяти процентов посевных площадей расположены в Оренбургской области и Алтайском крае. Кроме Оренбургской области и Алтайского края гречиху выращивают в Республике Татарстан, Удмуртской Республике, Республике Башкортостан, также в регионах, расположенных на Урале, Сибири и Дальнего Востока. Гречневая крупа содержит множество полезных элементов и обладает высокой энергетической ценностью.

Таблица 1.1 – Химический состав, пищевая ценность.

Название элементов	Содержание элемента и пищевая ценность (на 100грамм продукта)	Доля от суточной нормы.
Углеводы	74,95 грамм	24,2 %
Белки	11,73 грамм	15,6 %
Жиры	2,71 грамм	3,2 %
Вода	8,41 грамм	0,3 %
Зола	2,2 грамм	-
Калорийность	346 кКал	15,7 %
Клетчатка	10,3 грамм	34,3 %
Содержание витаминов		
Витамин В1	0,2 мг	18,7
Витамин В2	0,3 мг	20,8
Витамин В3	5,1 мг	32,1
Витамин В4	54,2 мг	10,8
Витамин В5	1,2 мг	24,7
Витамин В6	0,4 мг	27,2
Витамин В9	42 мкг	10,5

Таблица 1.2 – Минеральный состав, доля от суточной нормы.

Название элементов	Содержание элемента и пищевая ценность (на 100грамм продукта)	Доля от суточной нормы.
Минеральный состав		
Кальций	17 мг	1,7 %
Железо	2,5 мг	24,7 %
Магний	221 мг	55,3 %
Фосфор	319 мг	45,6 %
Калий	320 мг	6,8 %
Натрий	11 мг	0,8 %
Цинк	2,4 мг	22 %
Медь	0,6 мг	69,3 %
Марганец	1,6 мг	70,3 %
Селен	8,4 мг	15,3 %

В порции гречихи весом сто грамм основную энергетическую ценность ,300 кКал., составляют углеводы, но кроме углеводов в гречихе так же высокое содержание белка (11,73 грамма, что составляет 15,6 % от суточной нормы). Гречиха богата на водорастворимые витамины группы В, имеет богатый минеральный состав, что положительно влияет на гемоглобин, состояние сосудов и уровень холестерина. Клетчатка, содержащиеся в гречихе, и высокое содержание органических кислот благоприятно влияет на пищеварительную систему и улучшают усвоение пищи. Аминокислоты, входящие в состав гречневой крупы, необходимы для нормальной работы нервной системы. Гречневая крупа рекомендуется людям, которые имеют нарушения метаболизма, ишемическую болезнь сердца и нарушения в работе иммунной системы.

Рынок гречневой крупы на территории Российской Федерации можно охарактеризовать следующими тезисами::  
 - Увеличение площадей для возделывания гречихи резкого уменьшения в 2017-2018 годах. В 2023 году посевные площади гречихи составляло

1286,3 тыс. га., а в 2022 составляло 1138,8 тыс. га. Произошло увеличение посевных площадей на 13 % или на 147,5 тыс. га.

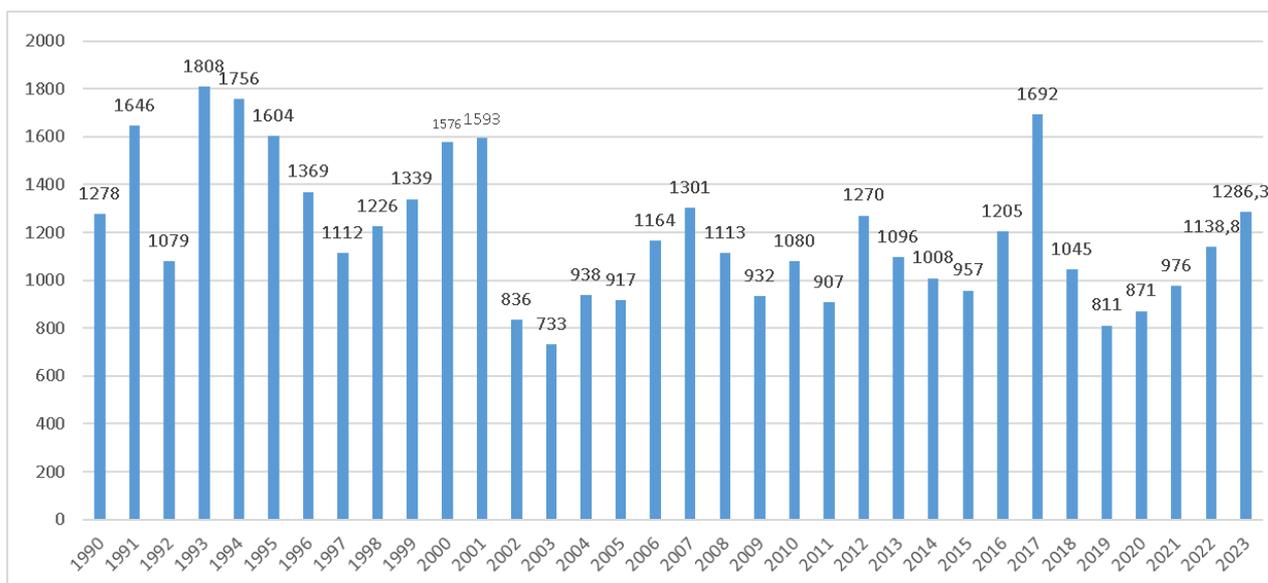


Рисунок 1.1 - Посевные площади гречихи в России в 1990- 2023г.

- Рекордными показателями валового сбора продукта в 2023 году.

В 2023 году в Российской Федерации было собрано 1 600 тыс. тонн гречихи, что на 30,9 процентов больше по отношению к 2022 году. В сравнении с 2019 годом, сборы которого составляло 785,7 тыс. тонн, произошел рост в более чем в 2 раза.

- Увеличением урожайности гречихи, что и позволило увеличить валовый сбор продукции. В 2023 году урожайность с Российских полей составило 12,9 ц/га, что на 16,2 процента выше показателя в 2022 году, урожайность тогда составило 11,1 ц/га. При этом, наблюдается устойчивый рост урожайности на протяжении всего периода наблюдения. Среднегодовая урожайность в 2014-2023 годах составило 10,4 ц/га, в 2004-2013 годах 8,18 ц/га, в 1994-2003 годах 5,91 центнера с гектара. Произошло увеличение среднегодовой урожайности по сравнению с 2004-2013 годами в 27,14 процентов, а по сравнению с 1994-2003 годами в 75,97 процента. Использование среднегодовой урожайности за длительный срок значительно снижает влияние

природно-климатических факторов на урожайность и позволяет отметить влияние применение новых технологий и техники в возделывании гречихи.

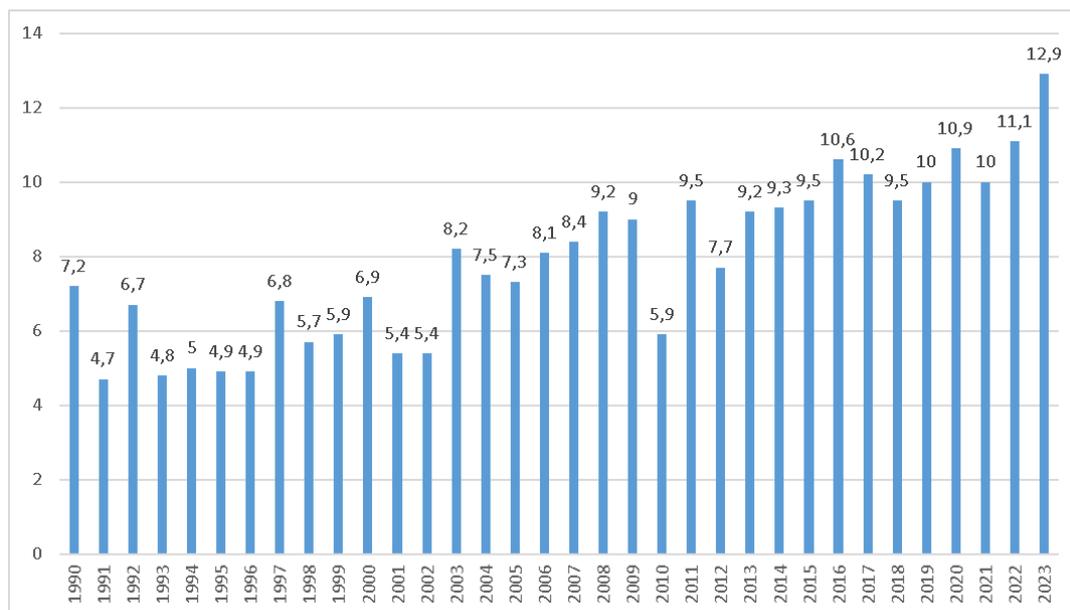


Рисунок 1.2 – Урожайность гречихи (ц/га) в России в 1990- 2023г - Увеличением экспорта гречихи в 2023 году, после снижения в 2022 году. С января по сентябрь 2023 года объём экспорта гречихи вырос в 2,4 раза по сравнению с прошлым годом в том же периоде, а в 2022 году объём экспорта сократился на 13,7 процента по сравнению с 2021 годом. Основными покупателями гречихи из России являются: Китай, Латвия, Литва, Польша и Япония.

- Ростом производства гречневой крупы в 2022 и 2023 годах. По сравнению с сезоном с 2021 по 2022 год произошло увеличение производства гречневой крупы на 14 процентов.

**Стадии технологического процесса и характеристика комплексов оборудования.** Производство гречневой крупы состоит из нескольких стадий, которые содержат в себе технологические и вспомогательные операции. Зерно гречихи поступившую на производственную линию гречневой крупы для начала необходимо очистить от примесей и поврежденных зерен. Предварительную очистку зерна производят с помощью сит и

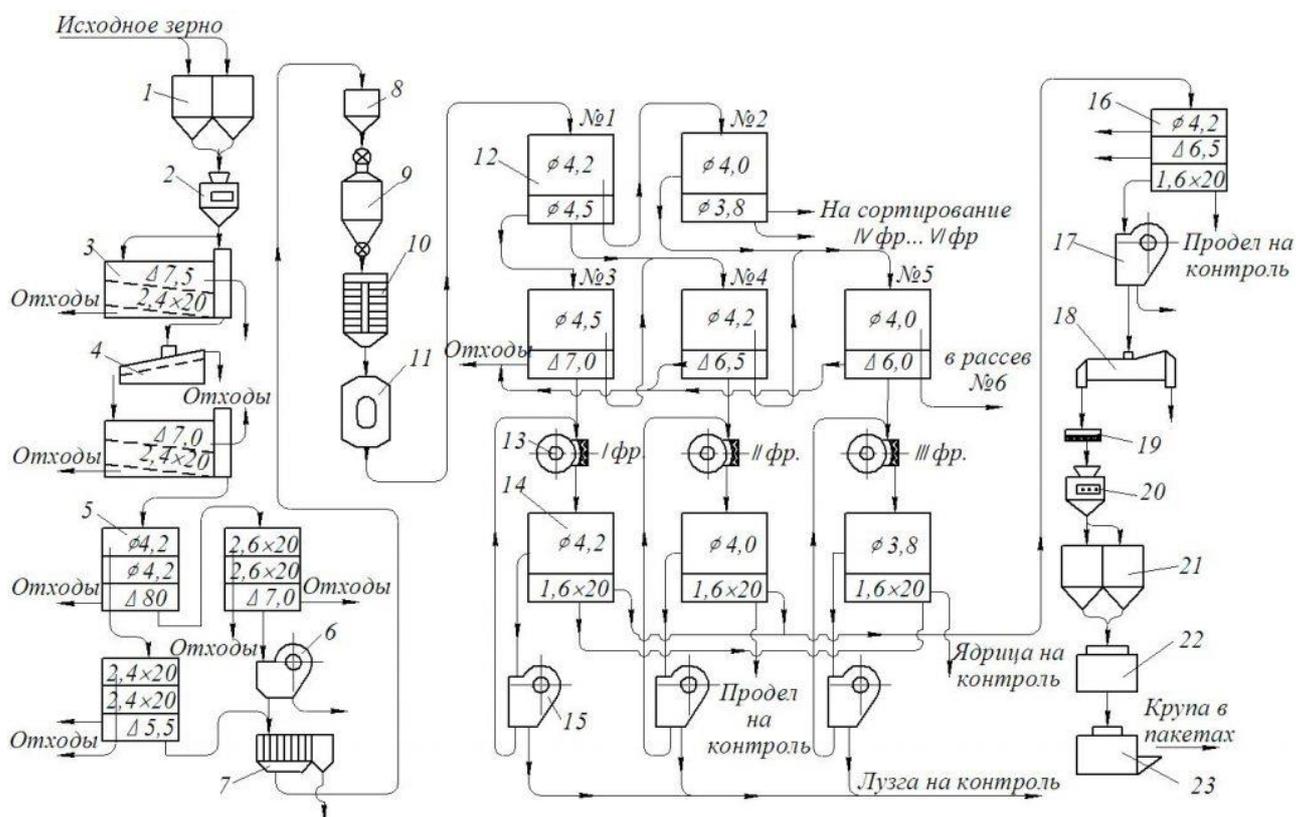
камнеотделительных машин. После предварительной очистки зерно гречихи необходимо откалибровать и распределить по распределительным бункерам на разные фракции. Далее следует гидротермическая обработка зерна, где зерна сначала пропаривают, а затем сушат. После ГТО следует процесс шелушения. Не все зерна поступившая на машину для шелушения зерна гречихи перерабатываются, иногда ядро не отделяется от оболочки и неотшелушенное зерно с помощью системы возврата снова поступает в машину для шелушения зерна гречихи. После шелушения следует контрольная очистка, взвешивание и упаковка.

**Устройство и принцип действия технологической линии, предназначенной для производства гречневой крупы.** Зерно, находящееся в бункере 1, взвешивается на весах 2 и следует в воздушно-ситовые сепараторы 3, где из зерна выделяют различные примеси. После сепаратора следует камнеотделитель 4, который убирает минеральные примеси, для предотвращения повреждения остальных машин в технологической линии.

После камнеотделителя следует система крупяных рассевов 5. Состоящая из комплекса сит с продольными, круглыми и треугольными отверстиями обеспечивают высокий уровень выделения массы примесей и разделение на фракции.

Для отделения легких примесей используют аспираторы 6. После аспиратора следует триеры – овсюгоотборники 7 размерами ячеек которого составляют 6...7 мм. Триеры отделяют длинные примеси от гречихи. После очистки зерна поступает в бункер 8.

Зерно из бункера поступает в пропариватель периодического действия 9, где производится пропаривание под высоким давлением. Зерно прошедшее гидротермическую обработку имеет высокую влажность, порядка 18...19 процентов.



1-бункер, 2 – весы, 3 – сепаратор, 4 – камнеотделитель, 5, 12, 14, 16 – рассев, 6, 15, 17 – аспиратор, 7 – овсюгоотборник, 8 – бункер, 9 – пропариватель, 10 – сушилка, 11 – охладитель, 13 – вальцедековый станок, 18 – падди машина, 19 – магнитный сепаратор, 20 – весы, 21 – силос, 22- фасовочные машины, 23 – ящики.

Рисунок 1.3 - Машинно-аппаратурная схема линии производства гречневой крупы

После пропаривателя следует вертикальная паровая сушилка контактного типа 10, где влажность зерна понижается до 13...13,5 процентов. Пар поступает на трубки, а трубки контактируют с зерном гречихи и нагревают его.

Проведение гидротермической обработки зерна гречихи повышает выход крупы на один процент, выход ядрицы первого сорта повышается до пятидесяти девяти процентов от пятидесяти двух процентов, выход продела снижается до пяти процентов.

Зерна гречихи разделяют на 3...6 фракций в зависимости от размера зерна. Гречиху разделяют на шесть фракций в крупных предприятиях, а в предприятиях малой мощности используют разделение на три фракции.

Разделение гречихи на фракции производится в крупяных отсевах 12, в которых зерно гречихи несколько раз проходит через отсева. При разделении зерна гречихи на фракции необходимо высокая точность и содержание более мелких зерен в определенной фракции не должно превышать двух с половиной процентов. Откалиброванное зерно в зависимости от фракции поступает в отсева с треугольными отверстиями. Применение отсевов с треугольными отверстиями позволяет удалить от зерна гречихи трудноотделимые примеси. Высокая точность при разделении на фракции и высокая степень очистки позволяет повысить эффективность шелушения зерна и содержание примесей в готовой продукции.

Зерно прошедшее гидротермическую обработку, калибровку и очистку поступает в вальцедековые станки 13. Принцип действия которого основан на том, что вращающийся валец, установленный с некоторым зазором с жестко закрепленной декой, захватывает зерно гречихи и протаскивает его по зазору между декой и вальцом. Зазор между вальцом и декой больше размера ядра гречихи, но меньше размера целого зерна, за счет чего силы сжатия и сдвига разрушают оболочку гречихи, при этом не повреждая ядро. Уменьшить дробления зерна помогает гидротермическая обработка, которая уменьшает содержание дробленного зерна от 2,5...3,5 % до 1,5...2,5 %.

Шелушения зерна на вальцедековых станках производится с низкой эффективностью, так как при повышении оборотов вальца или уменьшении зазора между декой и вальцом повысит эффективность шелушения, путем повышения коэффициента шелушения зерна, но при этом существенно снизив коэффициент целостности ядра. Низкий коэффициент шелушения означает то, что в продукте, прошедшем через шелушитель зерна гречихи, содержится много целых зерен. Целые зерна необходимо снова пропустить через шелушитель зерна гречихи, для этой цели в технологических линиях по производству крупы применяют механизмы возврата.

Ядро зерна гречихи отделенная от шелухи снова подается в крупяные отсева, где производится сортировка и деление на ядро гречихи, зерна с

шелухой, которое не отделилось в процессе шелушения, продел с мучкой и ядра, которые получили различные повреждения. Зерна которые все еще находятся в шелухе с помощью механизмов возврата снова поступают в шелушитель.

Далее следует контроль крупы в отсевах 16, после отсева зерно поступает в аспиратор 17, после аспиратора следует падди- машина 18 и магнитный сепаратор 19. В результате работы данных устройств получается готовая крупа гречихи, очищенная от различных примесей, которую остается только взвесить на весах 20 загрузить в силосы 21, а после упаковать с помощью фасовочных машин 22. Уже упакованную готовую продукцию укладывают в ящики, эта задача выполняется на машине 23, после чего гречиха в ящиках следует в склад или сразу на реализацию.

## **1.2 Классификация способов шелушения зерна**

Шелушение является основной технологической операцией при производстве крупы. Задачей шелушения является удаление оболочки от ядра зерна. Существует три вида шелушения зерна, различающиеся методом воздействия на зерно рабочими органами. Вид воздействия на зерно зависит от культуры, а именно от физико- механических свойств зерна и прочности связи между шелухой и ядром. Три основных способа шелушения зерна- это сжатие и сдвиг, трение об абразивную или стальную поверхность, удар. Чем прочнее оболочка и связь оболочки с ядром, тем больше необходимая величина усилий воздействия на зерно для производства шелушения. При переработке гречихи используют два основных способа шелушения: удар либо сжатие и сдвиг [2].

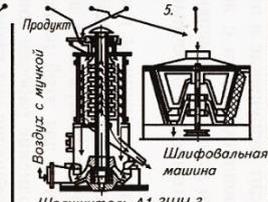
Показатели и наименование	Перерабатываемые культуры					
	 Гречиха	 Просо	 Рис	 Овес	 Ячмень	 Горох
Форма связи наружных оболочек с ядром	Все три лепестка плодовой оболочки свободно охватывают ядро и соединены с ним только в одной точке	Цветковые пленки свободно охватывают ядро и соединены с ним в одном месте - рубчике	Цветковые пленки охватывают ядро, но с ним не срастаются	Цветковые пленки охватывают ядро, но с ним не срастаются	Цветковые пленки плотно соединены с плодовой оболочкой по всей поверхности зерна и глубоко заходят в бороздки	Семенные оболочки плотно прилегают к ядру по всей его поверхности
Характеристика необработанного ядра при влажности не более 14%	Ядро хрупкое	Ядро нехрупкое	Ядро хрупкое	Ядро эластичное	Ядро прочное	Ядро при ударе и сжатии раскалывается на семядоли
Схемы рабочих органов машин, применяемых для шелушения зерна	 1. Для гречихи Вальцедековые станки	 2. Для проса Станок с обрезиненными валками	 3. Центробежный шелушитель	 4. Дисковый шелушитель	 5. Шлифовальная машина	
Способы воздействия рабочих органов на зерно, вызывающие шелушение и отделение пленок и оболочек от ядра	Непродолжительное сжатие и сдвиг	Удар о бичи, обечайку и абразивную поверхность	Сжатие, сдвиг и трение	Продолжительное трение об абразивную и терочную поверхность и зерен между собой		

Рисунок 1.4 – Методы шелушения зерна от вида взаимодействия на зерна перерабатываемой культуры.

К машинам, которые используют метод шелушения по способу взаимодействия на зерно сжатие и сдвиг, относятся вальцедековые станки, шелушительные поставы и машины для шелушения с резиновыми вальцами. Данный метод шелушения применяется для таких культур, как гречиха, рис, проса и овес, так как их оболочка имеет слабую связь с ядром.

К машинам второй группы, которые используют способ взаимодействия на зерно трение об абразивную и стальную поверхность, относятся шелушительные поставы и обочные машины. В машинах второй группы перерабатывают ячмень, пшеницу, кукурузу и горох. Данный метод шелушения применяется при условии, если оболочка срослась с ядром зерна.

К третьей группе машин, которые используют метод взаимодействия на зерно с помощью многократного или однократного удара, относятся центробежные шелушители, в которых перерабатывают такие культуры, как овёс, ячмень, пшеницу, горох, рис и подсолнечник и гресиху. В данных культурах пластичная оболочка со слабой связью с ядром.

Вальцедековые станки являются распространенным типом шелушителей зерна. Рабочими органами данных машин являются

вращающийся валец и неподвижная дека которая установлена с определенным зазором от вальца. Величина зазора между вальцом и декой имеет большое влияние на эффективность шелушения из-за этого данный параметр необходимо контролировать. Зазор между декой и вальцом должен быть больше размера ядра зерна, в противном случае будет происходить разрушение ядра, но при этом меньше размера целого зерна, иначе оболочка не будет отделена от ядра. Примерами таких машин являются: Г1-09, 2-ДШС, ВДМ-200, ВДСО-600, СВУ-2.

Шелушитель с резиновыми валками используется для переработки таких культур, как рис или просо. Зерно подается в рабочую зону между двумя вращающимися навстречу друг к другу резиновыми вальцами, которые имеют различную окружную скорость. Зазор между валками меньше целого зерна обрабатываемой продукции и на зерно действует сила сжатия, разница в скоростях валков создает сдвиг и происходит шелушение. Зазор между валками отвечает за интенсивность обработки и обычно регулируется, для различных культур и фракций этих культур величина зазора отличается. Привод вращающихся с различной скоростью валков имеет сложную конструкцию. Для медленновращающегося валка применяют привод, состоящий из ременной и шестеренной передачи, что позволяет менять величину зазора. Примерами таких машин являются: БШР, ГСА-10, У1-БШМ и А1-ЗРД-3.

Шелушильная постава представляет из себя машину для шелушения зерна риса или овса, состоит из двух горизонтальных жерновов, нижняя из которых вращается вокруг вертикальной оси. Рабочие органы шелушильных постав имеют абразивную поверхность и между жерновами возникают силы сжатия и трения, которые отделяют оболочку от ядра. Зазор между жерновами регулируется с помощью специального механизма и от величины зазора зависит интенсивность шелушения. Примерами таких машин являются: дисковый шелушитель ЖНД, шелушитель люпина ДШЛ-500д и ПШ-400.

Обочная машина представляет из себя машину для шелушения зерна ячменя, овса, проса и риса. Рабочим органом обочной машины является вращающийся бичевой барабан и сетчатый цилиндр, который жестко закреплен с корпусом. В рабочей зоне зерна бьются друг о друга, обрабатывается бичами и трется о металлическое сито и происходит шелушение зерна. Кроме шелушения зерна, происходит еще и очищения зерна от пыли и различных примесей. Примерами таких машин являются: горизонтальный обочный шелушитель JHS и обочные машины для зерна РЗ-БГО-6.

Центробежный шелушитель представляет из себя машину для переработки зерна риса, овса, подсолнечника, гречихи и гороха. Рабочими органами центробежного шелушителя является быстровращающийся ротор с лопатками. Зерна по пустотелой трубке поступает в рабочую зону и попадает на лопатки, которые придает зерну высокую скорость и зерно ударяется об отражающие кольцо на высокой скорости. Из-за удара оболочка отделяется от ядра зерна. В центробежных шелушителях производится однократный удар и не происходит трения, за счет этого, в конечной продукции наблюдается высокий коэффициент целостности ядра и выход мучки низкий. Примерами таких машин являются: ударный шелушитель JHI, центробежный шелушитель SCHULE FKS-500, шелушитель центробежный ЯЗ1.198.00.00.00 и шелушитель овса ШО-3х.

Некоторые культуры, как ячмень и пшеница, имеют оболочку, которая прочно связано с ядром, для шелушения данных культур эффективность перечисленных шелушителей недостаточна и для переработки зерна пшеницы и ячменя используют шелушильно-шлифовальные машины, которые имеют наивысшую эффективность процесса шелушения зерна. Где на зерна воздействуют несколько различных рабочих органов, как абразивный диск, ситовая обечайка и металлическое перфорированное кольцо. Оболочка отделяется от ядра за счет трения продукта о торцовую и боковую поверхность

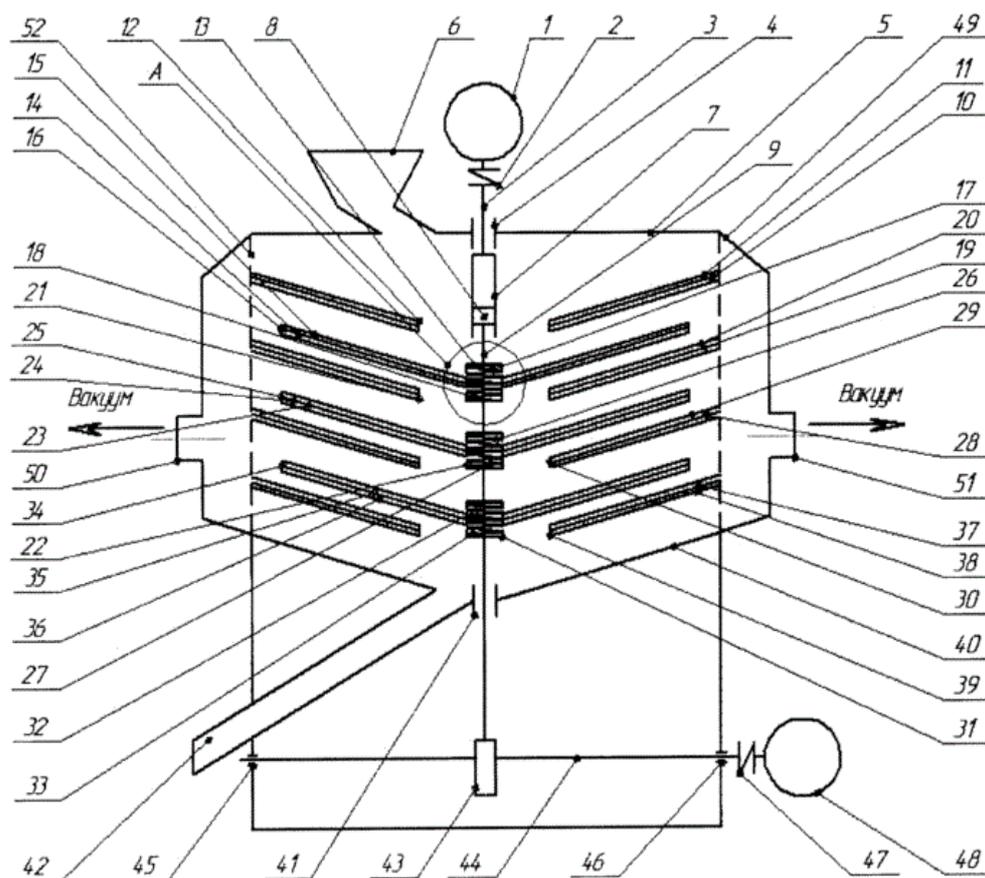
абразивного диска, внутреннего трения, возникающего между зернами, и трения об металлическую обечайку.

### **1.3. Анализ конструкций машин для шелушения зерна**

Для повышения эффективности шелушения зерна и модификации машины для шелушения зерна гречихи необходимо рассмотреть и изучить уже существующие машины и устройства для шелушения зерна, а также существующие патенты. Существует множество различных моделей машин для шелушения зерна, рассмотрим некоторые из них:

Шелушитель зерна по патенту RU 2 817 375 C1 [15] под авторством Невзорова В.Н., Тепляшина В.Н., Киреева В.В., дата публикации 15.04.2024. Данный шелушитель зерна состоит из электродвигателя, дисковых роторов, которые установлены на валу и имеют возможность перемещения по этому валу. корпуса, верхняя часть которой представляет из себя перфорированную сетку с отверстиями, которые имеют диаметр меньше размера зерна. Перфорированная сетка накрыта кожухом, к кожуху подсоединена вытяжка, которая создает вакуум. В нижней части корпуса с определенным углом установлены конусные распределители. Распределители имеют перфорированную эластичную поверхность. Распределители взаимодействуют со статичными и вращающимися дисками, которые так же имеют аналогичное покрытие. Вращающиеся диски на валу, который имеет привод снизу от эксцентрика, установлены с поджатием сверху, а снизу дисков установлены пружины.

Описанный шелушитель имеет повышенную производительность, низкую металлоемкость и обеспечивает выход качественной продукции. Изобретение предназначено для применения в зерноперерабатывающей промышленности и переработке зерновых культур.



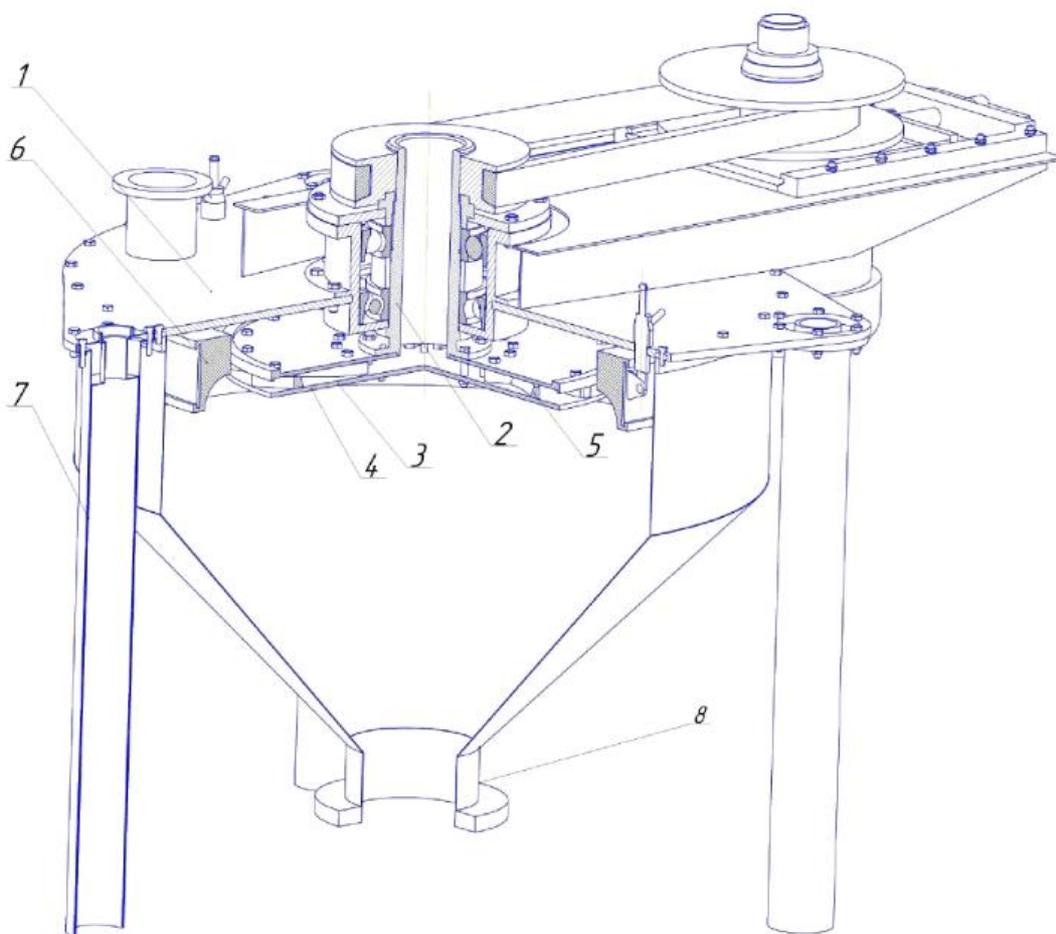
1,48 - электродвигатель, 2,47 - муфта, 3 - вал, 4,41,45,46 - подшипники, 5 - корпус, 6 - загрузочная горловина, 7 - втулка с прямобоочным профилем, 8 - шлицевой вал, 9 - подвижный вращающийся вал, 10,19,28,37 - неподвижный конусный распределитель, 11,15,20,24,29,33,38 – перфорированный эластичный материал, 12,21,30,39 - выходное отверстие, 13,22,31 – стакан, 14,23,32 - подвижный вращающийся конусный диск, 16,25,34 - проходное отверстие, 17,26,35 - верхняя пружина, 18,27,36 - нижняя пружина, 40- конусное дно, 42 - разгрузочный патрубок, 43 - эксцентрик, 44 - вращающийся вал, 49 - кожух воздуховода, 50,51 - патрубок для отвода воздуха и посторонних примесей, 52 - перфорированная стенка.

Рисунок 1.5 - Шелушитель по патенту RU 2 817 375 С1

Центробежный шелушитель по патенту RU 2 621 988 С1 [16], дата публикации 2017.06.08, автор Шахов Сергей Васильевич. Данный центробежный шелушитель состоит из корпуса, кольцевой деки, которая установлена внутри корпуса, ротора, который закреплен на валу. Ротор

состоит из двух дисков, которые соединены лопастями. Дека имеет круглую вогнутую фаску с радиусом, который больше зазора между дисками.

Данный центробежный шелушитель предназначен для использования в пищевой и зерноперерабатывающей промышленности. Изобретение обеспечивает высокое качество выходной продукции и высокую эффективность шелушения.

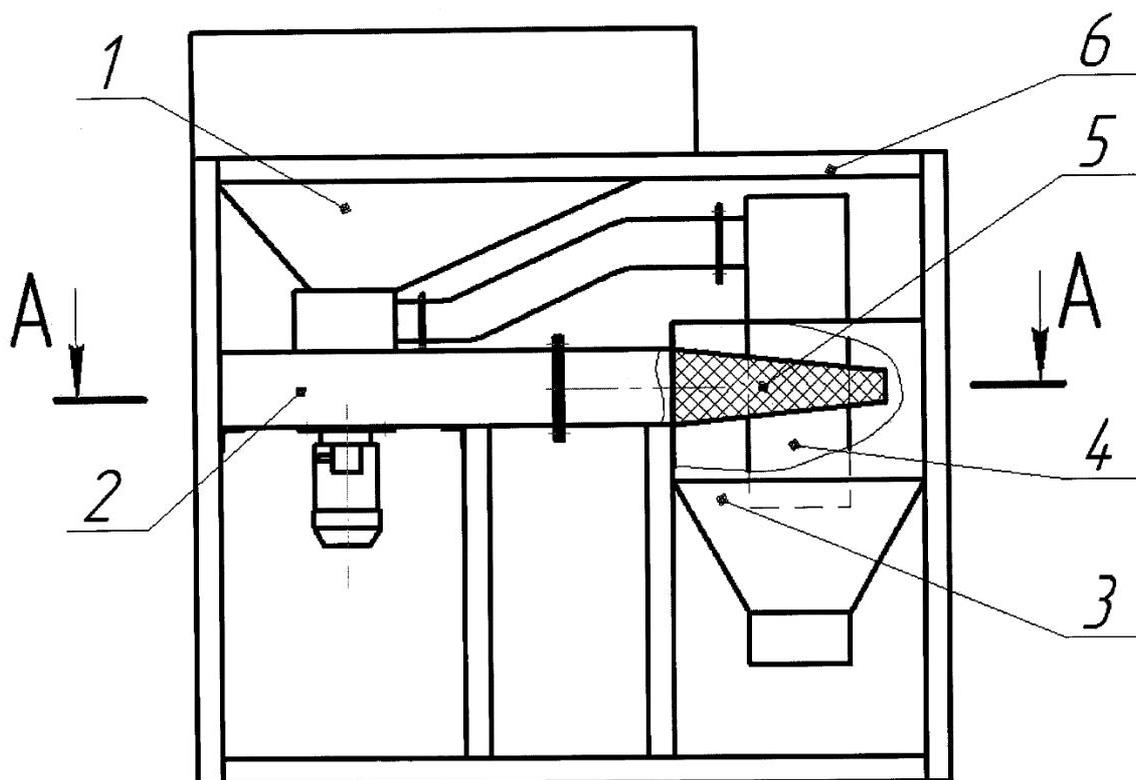


1 - корпус, 2 - полый вал, 3 - нижний диск, 4 - верхний диск, 5 - лопасти, 6 - дека, 7 - опора, 8 - разгрузочный патрубок.

Рисунок 1.6 - Центробежный шелушитель по патенту RU 2 621 988 С1.

Принцип работы центробежного шелушителя заключается в следующем: зерно подается через полый вал в ротор, лопасти ротора захватывают зерно и выбрасывают их на дека, из-за удара шелуха отделяется от ядра и продукт шелушения поступает в разгрузочный патрубок.

Рассмотрим пневматический шелушитель зерна по патенту RU 154200 U1 [17], дата публикации 20.08.2015. Авторы патента: Халиуллин Дамир Тагирович, Дмитриев Андрей Владимирович, Дмитриев Андрей Владимирович. Данный пневматический шелушитель зерна состоит из питающего бункера, загрузочного патрубка, вентилятора, осадителя, изогнутого сетчатого конфузора, который установлен внутри осадителя.



1 - питающий бункер с загрузочным патрубком, 2 - вентилятор с лопастями, 3 - осадитель, 4 - вытяжная труба, 5 - изогнутый сетчатый конфузор, 6 - рама.

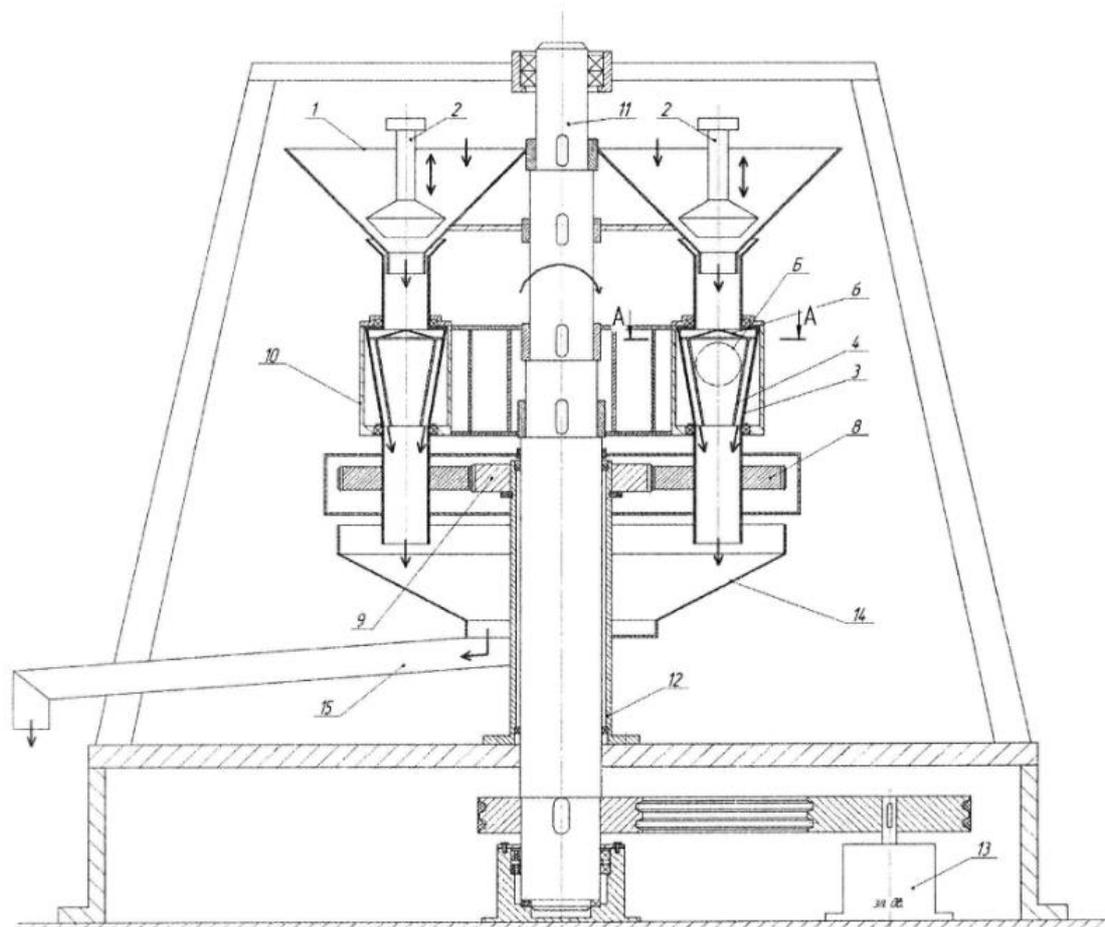
Рисунок 1.7 - Пневмомеханический шелушитель зерна по патенту RU 154200 U1.

Данный пневматический шелушитель зерна работает следующим образом, зерно находящиеся в питающем бункере падает на лопасти вентилятора, далее зерно в воздушной патоке подается в изогнутый сетчатый конфузор. В конфузоре производится шелушение, из-за многократного удара. Конфузор имеет изгиб и создан из металлической сетки, далее зерно попадает в осадитель, где зерно оседают на дне. Мелкие примеси вместе с воздушным потоком выводятся через вытяжную трубу.

Центробежный шелушитель семян зерновых культур по патенту RU 2 772 305 С1 [18], дата публикации 2022.05.18, за авторством Кряжева Ю. А. Машина состоит из средства для загрузки, который сделан из двух механизмов для подачи семян и установлен на бункерах для шелушения. Бункер для шелушения содержит конический элемент, который установлен с определенным зазором и концентрично. На конический элемент бункера располагаются два винтовых желоба П-образной формы. Поверхность желобов обрешиненная и содержит абразивный материал. Средства для загрузки и бункер шелушения соединяются соосно полым валом, который с помощью зубчатой передачи соединён с центральным колесом. Пóлый вал получает привод от центрального колеса при помощи водило, которое установлено на ведущем валу, установленном внутри полого неподвижного вала центрального колеса и вращающимся от привода, состоящего из клиноременной передачи и электродвигателя.

Принцип работы центробежного шелушителя семян зерновых культур заключается в следующем: в средство для загрузки семян подаётся зерно транспортёром. Ведущий вал приводится во вращение по средствам электродвигателя и планетарного механизма. Передаточное отношение планетарного механизма возможно сменить. Из бункера зерно следует в конический поддон и равномерно распределяется, через отверстия в поддоне зерна поступает в бункер для шелушения и на винтовые желоба. Здесь под действием сил сжатия, сдвига и трения об абразивный материал винтовых желобов производится отделение шелухи от ядра зерна. Отшелушенное зерна, шелуха и различные примеси далее поступают в поддон и через патрубок следует в машины для очистки зерна.

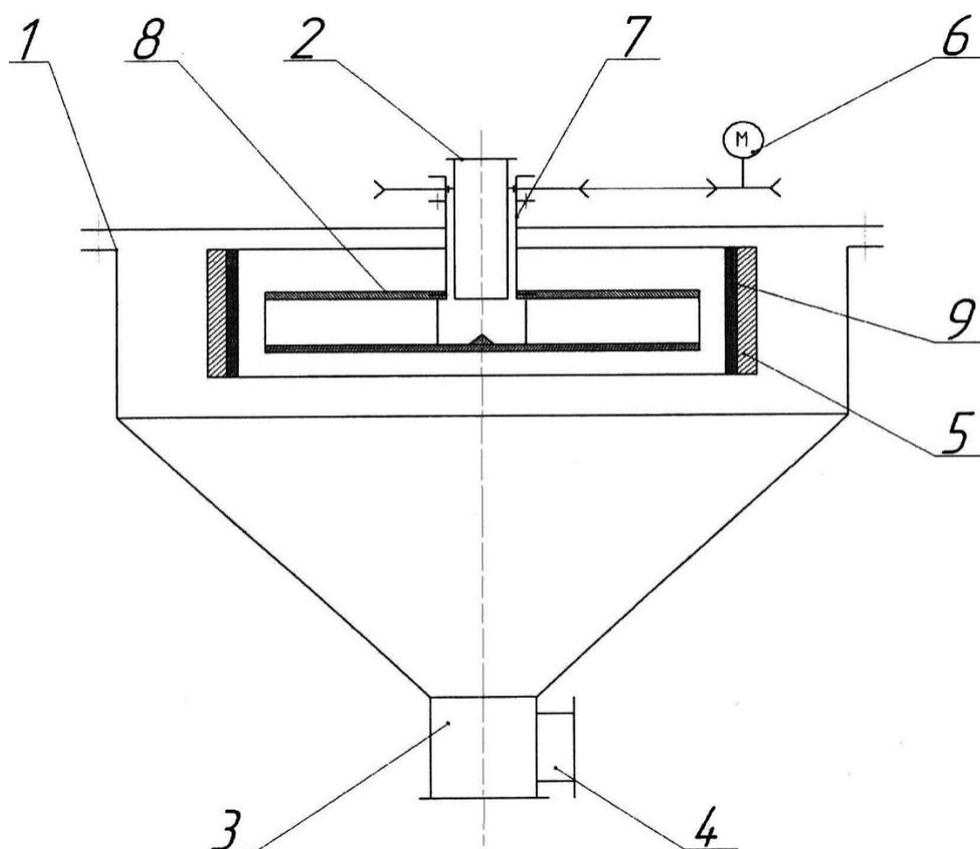
Центробежного шелушителя семян зерновых культур предназначен для работы в сельском хозяйстве и мукомольной промышленности. Изобретение минимизирует количество битых зерен, тем самым повышает эффективность шелушения зерна.



1 - два приемных бункера, 2 - два механизма подачи семян, 3 - бункеры для шелушения, 4 - конический элемент бункера, 5 - винтовые желоба п-образной формы с рабочей поверхностью из резины с абразивным наполнителем, 6 - конический поддон, 7 - отверстия, 8 - полый вал колеса, 9 - центральное колесо, 10 - водило, 11 - ведущий вал, 12 - полый неподвижный вала центрального колеса, 13 - электродвигатель, 14 - поддон, 15 - патрубок.

Рисунок 1.8 - Центробежный шелушитель семян зерновых культур по патенту RU 2 772 305 С1.

Рассмотрим шелушитель зерна по патенту RU 138907 U1 [19], дата публикации 2014.03.27, за авторством Марьина В.А., который состоит из корпуса, корпус так же содержит загрузочные и разгрузочные патрубки, деки, которая размещена в корпусе и имеет универсальный вкладыш из упругого материала, ротора с лопатками, полова вала, которая соединена с ротором. Вкладыш может быть приклеен, заклепан или посажена с натягом к деке. Вкладыш может быть изготовлен из упругого, полимерного материала, как фторопласт или полиуретан.



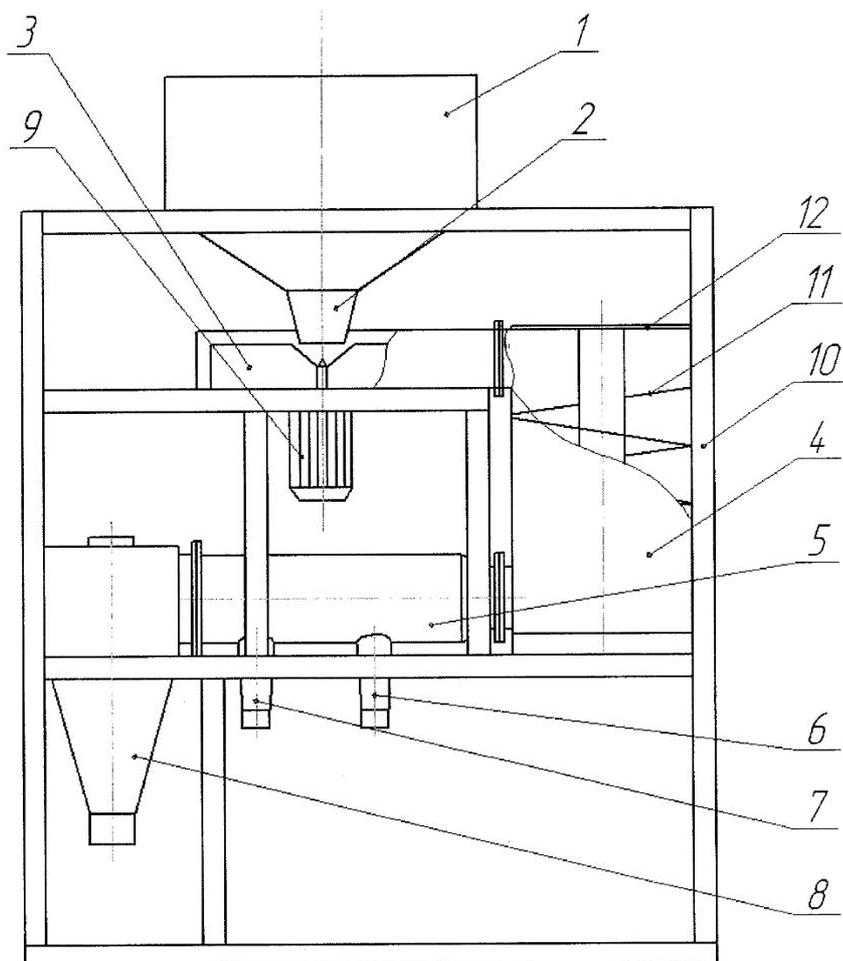
1 - корпус, 2 - загрузочный патрубок, 3 - разгрузочный патрубок, 4 - аспирационный патрубок, 5 - кольцевая дека, 6 - привод, 7 - полый вал, 8 - ротор, 9 - универсальный упругий вкладыш.

Рисунок 1.9 - Шелушитель зерна по патенту RU 138907 U1.

Принцип работы данного шелушителя зерна заключается в следующем: сперва необходимо включить привод ротора, после чего зерно через загрузочный патрубок поступает на ротор внутри корпуса, ротор лопатками выбрасывает зерна на деку, которая имеет вкладыш из упругого материала, шелуха отделяется от зерна посредством удара об деку и направляется в разгрузочный патрубок, при этом мелкие примеси выводятся через аспирационный патрубок.

Шелушитель зерна по патенту на полезную модель RU 138907 U1 предлагается для применения в мукомольной и зерноперерабатывающей промышленности и обеспечивает высокое качество шелушения, высокую производительность и низкий коэффициент дробления зерна.

Устройство для шелушения зерна по патенту RU 91892 U1 [20], дата публикации 2010.03.10. Авторами патента являются: Маланичев Игорь Вячеславович, Нуруллин Эльмас Габбасович, Дмитриев Андрей Владимирович, Халиуллин Дамир Тагирович.



1 - питающий бункер, 2 - загрузочный патрубок, 3 - вентилятор с лопастями, 4 - вертикальная шелушильная камера, 5 - пневмосепаратор, 6,7 - отводы, 8 - центробежного осадителя, 9 - электродвигатель, 10 - станина, 11 - сменяемые вертикальные винтообразные рабочие поверхности, 12 - крышка, 13 - нагнетательный патрубок, 14 - выпускной патрубок, 15 - ребристая поверхность.

Рисунок 1.10 - Устройство для шелушения зерна по патенту RU 91892 U1.

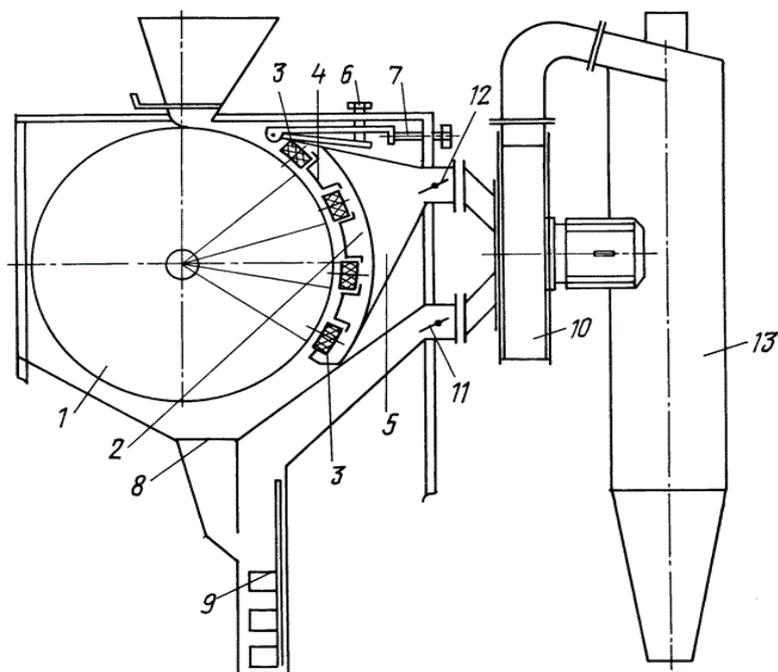
Устройство для шелушения зерна содержит в себе бункер, в которое засыпается зерна крупяных культур, загрузочный патрубок через которое зерно поступает в вентилятор, частота оборотов вентилятора составляет от 1100 до 1500 оборотов в минуту, привод вентилятора обеспечивается

электродвигателем, зерно вместе с воздушным потоком от вентилятора направляется в ребристые рабочие поверхности, после этого поступает в шахту винтообразную вертикальную поверхность, где она продолжает ударяться об стенки, после шахты следует пневмосепаратор, где происходит отделение от ядер зерна гречихи мелких примесей и тяжелых частиц, ядро выпускаются через первый вывод.

Устройство для шелушения зерна предназначена для применения в зерноперерабатывающей промышленности. Ребристая поверхность увеличивает количество столкновений на единицу площади поверхности камеры, что позволяет уменьшить длину винтового канала и, тем самым, снизить металлоемкость конструкции.

Рассмотрим вальцедековую шелушительную машину по патенту RU 2 203 736 С2 [21], дата публикации 2003.05.10, автором патента является Филин В.М. Данная машина состоит из абразивного вала, деки, которая примыкает к валку, перфорированных элементов, кожуха, подвижной опоры, которая установлена на кронштейне, регулирующего устройства, сборно-выпускного устройства, пневматического устройства для классификации, заслонки, вентилятора, регулятор тяги, циклон.

Данный вальцедековая шелушительная машина имеет следующий принцип работы: зерно подается в камеру шелушения и валок захватывает зерно и протаскивает его через зазор между декой и валком, дека имеет фрикционные элементы. Зазор между валком и декой постепенно уменьшается. За счет сил сжатия и сдвига, пленка зерна отделяется от ядра. После шелушения продукт переработки поступает в пневмокласифицирующее устройство. Где происходит отделение примесей и ядер зерна.



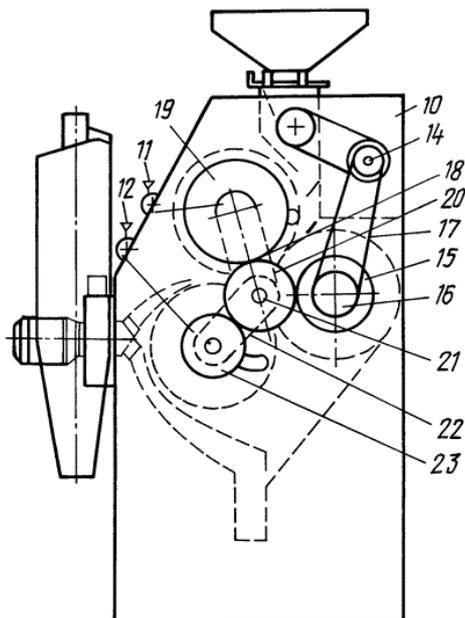
1 - абразивный валок, 2 - дека, 3 - фрикционные элементы, 4 - перфорированные элементы, 5 - кожух аспирационного канала, 6 - кронштейн, 7 - подвижная опора, 8 - сборно- выпускное устройство, 9 - пневмокласифицирующее устройство, 10 - вентилятор, 11 – заслонка, 12 - регулятор тяги, 13 – циклон.

Рисунок 1.11 - Вальцедековая шелушильная машина по патенту RU 2 203 736 С2.

Данная машина предназначена для применения в зерноперерабатывающей промышленности. Данный вальцедековый шелушитель обеспечивает повышение качество готовой продукции.

Рассмотрим машина для шелушения зерна крупяных культур по патенту RU 2 231 385 С2 [22], дата публикации 2004.06.27, автором которого является Филин В.М. Данная машина состоит из корпуса, механизма питания, который содержит направляющий лоток, обремененные валки, которые установлены на валах, валки имеют возможность вращения с различными скоростями, механизм для изменения зазора между валками, электродвигателя, выходного вала, дополнительный блок, которые располагаются на оси, состоящий из шкива и шестерни, который соединяется с помощью клиноременной передачи выходным валом электродвигателя. При

этом выходной вал соединен шестерней и кулисой, которая соединена с механизмом регулировки зазора.



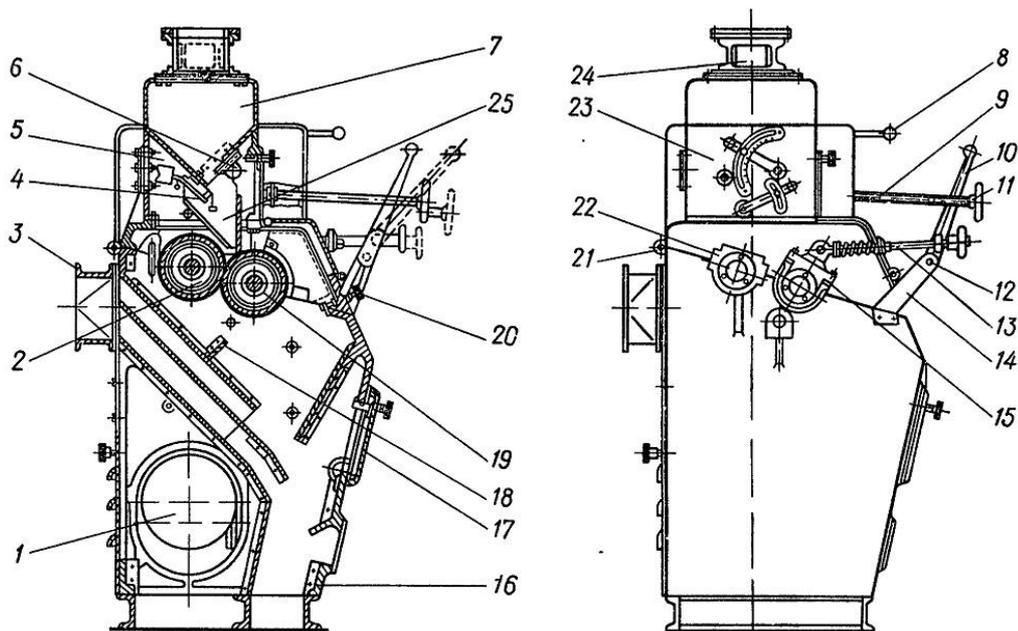
1 - бункер, 2 - механизм питания, 3 - направляющий лоток, 4, 5, 6 - валки, 7, 8, 9 – валы, 10 - корпус, 11 - механизм регулирования первого межвалкового зазора, 12 - механизм регулирования второго рабочего зазора, 13 – электродвигатель, 14 - выходной вал, 15 – ведущая шестерня, 16 - шкив, 17 - клиноременная передача, 18 – кулисе, 19 - ведомая шестерня, 20 - промежуточная шестерня, 21 – ось, 22 - дополнительная кулиса, 23 - ведомая шестерня.

Рисунок 1.12 – Машина для шелушения зерна крупяных культур по патенту RU 2 231 385 С2.

Данная машина для шелушения зерна крупяных культур предназначена для применения зерноперерабатывающей и пищевой промышленности и может использоваться для переработки гороха, риса, просо или гречихи. Машина обеспечивает высокую эффективность шелушения зерна.

Рассмотрим шелушитель зерна с раиновыми валками ЗРД-2,5. Данный шелушитель зерна преимущественно применяется для переработки риса или просо. Рабочими органами данной машины являются валки, которые вращаются навстречу друг другу и имеют различную окружную скорость. Зерно поступая в камеру шелушения захватывается валками и под действием сил сжатия и сдвига оболочка зерна отделяется от ядра. Силу сжатия создается

из-за размера зазора между валками, который меньше размера целого зерна, сила сдвига создается разницей в скоростях валков.

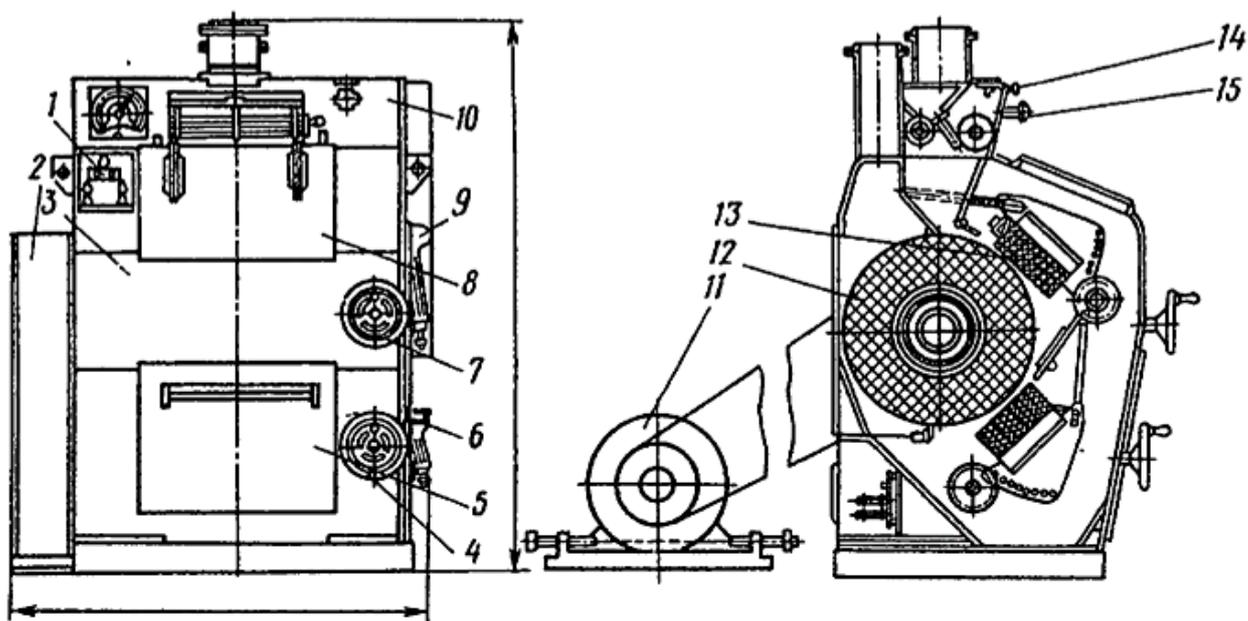


1 — электродвигатель; 2, 19 — быстро вращающийся и медленно вращающийся валки; 3, 24 — аспирационный и приемный патрубки; 4, 6 — заслонки; 5 — корпус питателя; 7 — бункер; 8, 10 — рукоятки; 9, 13 — тяги; 11 — маховик; 12 — ось; 14 — кронштейн; 15 — разъемный рычаг; 16 — корпус шелушителя; 17 — дверка; 18 — порог; 20 — запорная ручка; 21 — петля; 22 — хомут; 23 — питатель; 25 — лоток.

Рисунок 1.13 - Шелушитель с резиновыми валками ЗРД-2,5

В процессе шелушения зерна зазор между валками оказывает значимое влияние на эффективность, поэтому в машине установлен механизм регулировки зазора между валками. Для изменения зазора перемещают тихоходный валок, который имеет меньшую окружную скорость чем быстроходный, при этом необходимо обеспечить приводом валок при изменении положения валка и определенную окружную скорость валка. Этим объясняется сложность конструкции механизма регулировки зазора и привода тихоходного валка. Валки имеют диаметр 200 миллиметров и длину 400 миллиметров. Если для привода быстроходного валка применяется только ременная передача, то для привода тихоходного валка применяется контрпривод, клиноременная и шестеренная передача, что обеспечивает

ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ВАЛКА, ТЕМ САМЫМ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ВАЛКАМИ.



1 — пульт управления; 2 — ограждение; 3 — станина; 4, 7 — штурвалы; 5, 8 — двери; 6, 9 — рычаги управления; 10 — питающий механизм; 11, 18 — электродвигатели; 12 — абразивный валец; 13 — резиновая дека; 14 — задвижка; 15 — ручка маховика для регулирования производительности.

Рисунок 1.14 – Двухдековый шелушильный станок 2ДШС-3.

Двухдековый шелушильный станок 2ДШС-3 предназначен для применения в крупяных производствах, в частности для шелушения зерна проса и гречихи. Для различных культур выпускаются различные модификации станка: 2ДШС-3Б для гречихи и 2ДШС-3А для проса. Вальцедековый станок содержит питающий механизм, который состоит из заслонки и вращающегося валика, что позволяет регулировать подачу сырья в камеру шелушения. В камере шелушения установлены вращающийся валок и две деки. Зазор между валком и деками можно регулировать при помощи рукоятей. В модификации для шелушения зерна гречихи деки изготавливаются из натурального камня, для шелушения проса применяются сборные деки, состоящие из четырех частей. Производительность данного

станка составляет 5 тон в час. Шелушение производится за счет сил сжатия и сдвига.

В ходе анализа машин для шелушения зерна и интеллектуальной собственности, предназначенной для производства шелушения зерна, отметили разнообразие конструктивных и технологических решений и выявили их недостатки. Основным недостатком существующих машин и новых технологических решений - это высокий процент травмирования ядер зерна. Для большинства машин перед шелушением зерно необходимо откалибровать, так как для разных фракций зерна необходим разный размер зазоров рабочих органов. Не соблюдение этих требований приведет к значительному уменьшению эффективности шелушения, обычно при зазоре меньшем, чем необходим для шелушения данной фракции и культуры зерна, происходит разрушение ядра зерна, а при зазоре большем, чем необходим для шелушения данной фракции и культуре зерна, шелуха не отделяется от зерна. Кроме данных недостатков имеются еще множество факторов, которые негативно влияют на эффективность процесса шелушения (выход крупы, производительность, качество конечной продукции и др.). Как итог, можно отметить, что совершенствование способов и технических средств для процесса шелушения является актуальной задачей на данный момент.

#### **1.4 Анализ теоретических исследований процесса шелушения зерна**

Теоретическими исследованиями процесса шелушения зерна, в частности изучением технологических, физико- механических и биохимических свойств зерна крупяных культур занимались такие ученые, как Гинзбург А.С., Гинзбург М.Е., Мерков И.Т., Мельников Е.М., Соколов А.Я., Лыков А.В., Трисвятский Л.А., Егоров Г.А., Жислин Я.М., Шумилин П.Л., Красников В.В., Гортинский В.В., Дзядзио А.М., также исследованиями в данной области

занимались и зарубежные ученые такие, как Дж. Шелленбергер, М.М. Макмастерз, В. Шеффер, Д. Джонс, Э. Калининский.

В ходе многочисленных исследований, было выявлено, что если при переработки различных партий зерна различных культур, которые имеют отличия в качестве, на определенном устройстве для шелушения зерна в определенном режиме и с одинаковыми регулировками, то в конечной продукции могут наблюдаться отличия. Для того чтобы подобрать оптимальный режим переработки зерна необходимо принять во внимание такие свойства сырья, предназначенной для переработки, как:

- структурно- механические свойства зерна (прочность ядра зерна, прочность связи ядра с шелухой, прочность шелухи); ^
- выполненность, крупность и выравненность зерна;
- влажность зерна и главным образом разность во влажности ядра и шелухи;
- степень гидротермической обработки зерна там, где она производится;
- содержание в зерне не выделенных шелушением ядер.
- связь между оболочкой и ядром определенной культуры, но различных сортов,

Связь между оболочкой и ядром, определенной культуры, но различных сортов, могут иметь значительные отличия. Для определения таких параметров, как прочность ядра и сложность шелушения, используют лабораторные шелушители зерна и производят пробное шелушение.

В устройства для шелушения зерна поступает не только очищенное зерно, но и ядра, которые уже отделились от шелухи, в процессе подготовки, уборки или транспортировки сырья. Данные ядра подвергаются повторному шелушению и имеют меньшую прочность, чем целые зерна. С учетом этого фактора, необходимо производить шелушение в более щадящем режиме, для предотвращения дробления уже отшелушенных зерен. Это означает что интенсивность шелушения и технологическое воздействие рабочих органов на зерно не на оптимальном уровне и эффективность шелушения, если в

поступающем сырье не присутствовали ядра уже потерявшие свою прочность, не на оптимальном режиме. Для уменьшения технологического воздействия рабочих органов обычно увеличивают зазор между рабочими органами, используют менее абразивный материал и уменьшают скорость рабочих органов.

В ходе многочисленных исследований было выявлено, что уровня влажности зерна физико- механические свойства зерна могут меняться. Высокая влажность негативно отражается на эффективности шелушения зерна, но и слишком низкая влажность, когда зерно пересушено, повышает коэффициент дробления зерна, тем самым снижая эффективность переработки. При этом стоит учитывать влажность оболочки и ядра зерна по отдельности, так как при высокой влажности пленки её будет сложнее отделить от ядра, что означает необходимость более интенсивного технологического воздействия на зерно, а повышение интенсивности шелушения негативно влияет на коэффициент целостности ядра, тем же временем повышенная влажность ядра наоборот повышает коэффициент целостности ядра, так как прочность ядра повышается. Переработка зерна повышенной влажности происходит со сниженной производительностью и с повышенным расходом энергии. Известно, что при использовании воздушно-сушеного зерна, в первую очередь происходит сушка оболочки. При этом, при переработке зерна на шелушильных установках необходимо добиться однородности влажности перерабатываемого сырья.

Основные задачи повышения эффективности технологических процессов оборудования для переработки крупяных культур затрагивают следующие задачи:

- влияния физико- технологических свойств на характер протекания и эффективность рабочего процесса;
- нахождение новых способов воздействия машин на зерно, разработка технологических схем, элементов рабочих органов машин, и научно-

методических основ проектирования и создание технических средств с оптимальными параметрами;

- на основе теоретических и экспериментальных исследований, разработку методик по эффективному использованию оборудования;

- математическое описание процессов взаимодействия объекта переработки с рабочими поверхностями;

- разработку научно- обоснованных систем, обеспечивающих экологичность производственного процесса.

На данный момент, существует множество теоретических исследований процесса шелушения зерна и их возможно разделить на следующие основные направления:

- изучение физической сущности процесса шелушения;

- исследования конструктивно- технологических схем шелушительных машин и обоснование их параметров.

Первое направление исследований направлено на изучении основных факторов, которые оказывают влияние на физический процесс шелушения, а именно на облегчение снятия шелухи с помощью различных методов технологического воздействия при этом учитывая качество конечной продукции.

При исследовании эффективности шелушения зерна в первую очередь обращают внимание на коэффициент шелушения и на коэффициент целостности ядра.

Коэффициент шелушения обозначает процентную долю зерен, после произведения над ними манипуляций на машине предназначенной для шелушения зерна отделили неповрежденные ядра от оболочки зерна:

$$K_{ш} = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100 = \left(1 - \frac{K_2}{K_1}\right) \times 100, \quad (1.1)$$

где  $K_1$  - количество нешелушенного зерна в смеси до шелушения, %;

$K_2$  - количество нешелушенного зерна в смеси до шелушения, %.

Коэффициент целостности ядра обозначает количество ядер, которые прошли процесс шелушения и не получили повреждений, то есть разделение шелухи от ядра, разделенное на общий выход продукции. Коэффициент целостности можно назвать степенью точности ядра, так как шелушитель должен оказывать технологическое воздействие только для отделения шелухи от ядра и не должен производить разрушение зерен. Коэффициент целостности ядра вычисляется по следующей формуле:

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

где В - выход цельного ядра на данной системе шелушения за вычетом количества шелушенного зерна в исходной смеси, %;

Д - выход дробленого зерна (ядра) на данной системе шелушения за вычетом исходного количества дробленого ядра, %;

М - выход мучки на данной системе шелушения за вычетом количества мучки в исходной смеси, %.

В шелушильных машинах с резиновыми валками технологическое воздействие осуществляется обрезиненными валками, которые вращаются навстречу друг другу с различной окружной скоростью. Валки покрываются специальным составом, что позволяет значительно снизить количество поврежденных ядер зерна, еще на количество поврежденных ядер значительно влияет зазор между валками, который в зависимости от перерабатываемой культуры и её фракции составляет от 0,35 миллиметров до 1 миллиметра. Скорость вращения валков составляет от 12,5 до 15 метров в секунду для быстроходного валка и от 8,7 до 10,5 метров в секунду для тихоходного валка. Зазор отвечает за силу сжатия, которую оказывают валки на зерно и на путь которое зерно проходит между рабочими органами. Сила сжатия, необходимая для производства шелушения зерна, зависит от множества свойств зерна, в особенности от влажности. Поэтому для каждой новой партии перерабатываемой продукции может возникнуть необходимость



откуда

$$L_{\text{СЖ}} = 2 \frac{\pi D}{360} \arccos \frac{D+\delta}{D+d}, \text{ мм} \quad (1.4)$$

Как видно из формулы  $L_{\text{СЖ}}$  не зависит от окружной скорости валцов и их дифференциала.

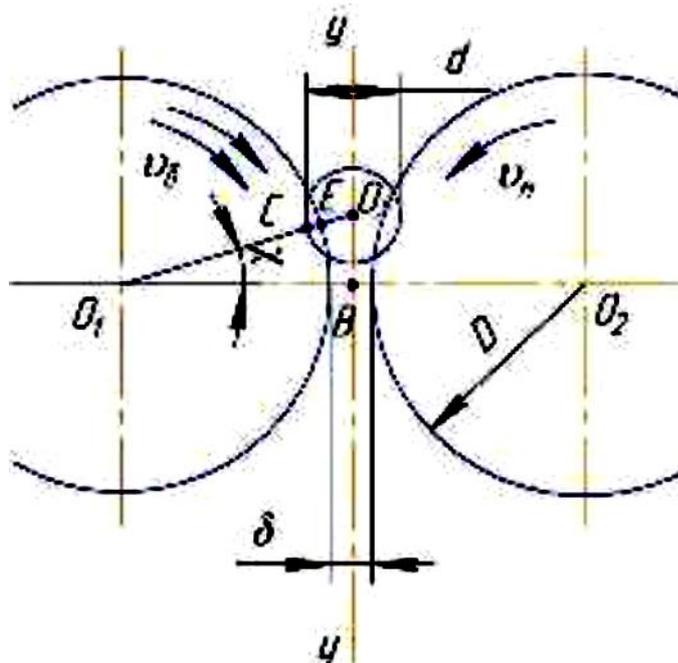


Рисунок 1.16 –Схема к определению величины опережения (сдвига)  $L_{\text{СДВ}}$  валцов.

Валки вращаются с различными окружными скоростями, обозначим длину опережение быстроходного вала  $L_{\text{СДВ}}$ .

В данном случае быстроходный валок имеет окружную скорость  $v_{\delta}$  проходит путь от начало воздействия валков на зерно до окончания воздействия проходит путь  $L_{\text{СЖ}}$ , в это же время тихоходный вал проходит путь  $E_1 q_1$ . Быстроходный валок имеет длину пути на  $qQ$  больше чем тихоходный или  $L_{\text{СДВ}}$ :

$$\frac{L_{\text{СЖ}} - L_{\text{СДВ}}}{v_{\text{м}}} = \frac{L_{\text{СЖ}}}{v_{\delta}},$$

откуда

$$L_{\text{СДВ}} = \frac{L_{\text{СЖ}}(v_{\delta} - v_{\text{м}})}{v_{\text{м}}}, \text{ мм} \quad (1.5)$$



Найдем предварительно отрезок  $EO_3 = O_1O_3 - O_1E$ , где  $O_1O_3 = (\frac{D+\delta}{2})$ , а  $O_1E = D/2$ , то есть радиус резинового валка

$$EO_3 = \frac{D + \delta}{2 \cos x} - \frac{D}{2}$$

откуда отрезок  $CE = CO_3 - EO_3$ ,

где  $CO_3 = d/2$  мм.

Тогда

$$CE = \frac{d}{2} - \frac{D+\delta}{2 \cos x} + \frac{D}{2} = \Delta h_0. \quad (1.6)$$

Угол  $x$  может изменяться от нуля до  $x = \alpha$ .

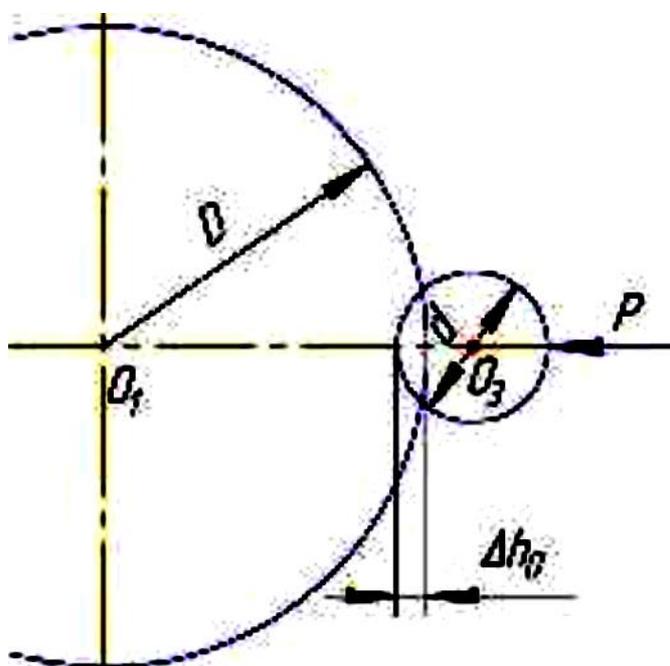


Рисунок 1.18 –Схема к определению силы сжатия зерновки в межвалковой зоне

Данные заключения верны даже при условии, если перерабатываемое зерно находится ниже центра валков.

При этом максимальная абсолютная деформация резинового покрытия валков будет достигать при условии, если зерно находится в линии создаваемое центрами валков.

На схеме, представленной на рисунке 1.18, изображены силы, действующие на зерно при прохождении через рабочую зону. Сила создаваемое вторым валком обозначено буквой Р.

Количество зерновок ( $n$ ), которое помещается в зоне шелушения между валками, можно вычислить исходя из размеров зерна и длины валков в котором происходит шелушение. Количество зерен эллипсоидной формы зависит от толщины, диаметром для зерен шаровидной формы.

$$n = \frac{L_B}{d}. \quad (1.7)$$

Кроме сил сжатия в шелушильных машинах с резиновыми вальцами еще возникают силы сдвига. Величина силы сдвига  $L_{сдв}$  зависит от разницы скоростей между валками.

Силы сжатия создаваемое валками и сила сдвига создаваемое быстрходным валком не только разрушает шелуху зерна, но и отделяет оболочку от ядра.

На зерно в зоне шелушения между валками действует равнодействующая сила

$$P_0 = P_6 - P_M, \quad (1.8)$$

где  $P_6$  и  $P_M$  –силы, с которыми действуют на зерновку соответственно быстрый и медленный валки.

Определим значение  $P_0$  на основе количества движения:

$$\frac{m(v_1 - v_2)}{t} = P_0 t. \quad (1.9)$$

где  $m$  –масса зерновки, кг;

$v_1 = (v_6 - v_M)/2$  –скорость зерновки в точке, когда она покидает рабочую зону, м/с;

$v_2 = \sqrt{2gH}$  –скорость зерновки в момент соприкосновения с валками, м/с;

$H$  –высота падения зерновки, м;

$t$  –время прохождения зерновкой рабочей зоны,  $t = 2L_{сж}/(v_1 + v_2)$ , с.

Зная  $m$  и  $t$  возможно определить силу сдвига, которая нужна для произведения шелушения.

$$P_0 = m(v_1 - v_2)/t. \quad (1.10)$$

Определим величину энергетических затрат ( $E_э$ ) при шелушении продукции. Валок имеющий большую окружную скорость обгоняет тихоходный на величину  $L_{сдв}$ ,  $L_{сдв} = L_{сж}(\kappa - \frac{1}{\kappa})$ , в данном отрезке производится шелушение зерна, а значит затрачивается энергия. Тогда работа, расходуемая на процесс шелушения, будет равна:

$$E_э = P_0 L_{сдв}, \text{ Дж}, \quad (1.11)$$

Или с учетом работы сжатия ( $E_{сж}$ )

$$E_э = P_0 L_{сдв} + E_{сж}, \text{ Дж}. \quad (1.12)$$

Коэффициент шелушения зерна в шелушилке с резиновыми валками за однократный пропуск составляет  $K_{ш}=0,88...0,92$  при минимальном количестве дробленного ядра  $0,3...0,5 \%$ .

### 1.5 Цели и задачи исследований

В результате проведенного нами анализа теоретических исследований процесса шелушения зерна, существующих машин для шелушения и новых технических решений во всем их разнообразии, мы пришли к выводу, а том что наиболее эффективным способом шелушения зерна гречихи по способу взаимодействия рабочих органов на сырьё является способ сжатия и сдвига. Данный способ шелушения зерна может применяться в условиях хозяйств, занимающихся возделыванием гречихи, сохраняя при этом высокое качество выходной продукции. При этом были выявлены самые часто встречающиеся недостатки, встречающиеся в машинах для шелушения зерна гречихи, которые снижают эффективность процесса переработки.

Цель данной научной работы является разработка или модернизация устройства для шелушения зерна гречихи, который использует метод воздействия рабочих органов на зерно сжатие и сдвиг, при этом рабочими органами данной машины будут являться полусферы, в которых будут

располагаться направляющие, которые будут повышать эффективность шелушения зерна.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

-теоретически обосновать конструктивно-технологические параметры шелушителя;

-провести экспериментальные исследования по производительности сферического шелушителя.

-технико-экономическая оценка параметров шелушителя.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА С ПОЛУСФЕРИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ**

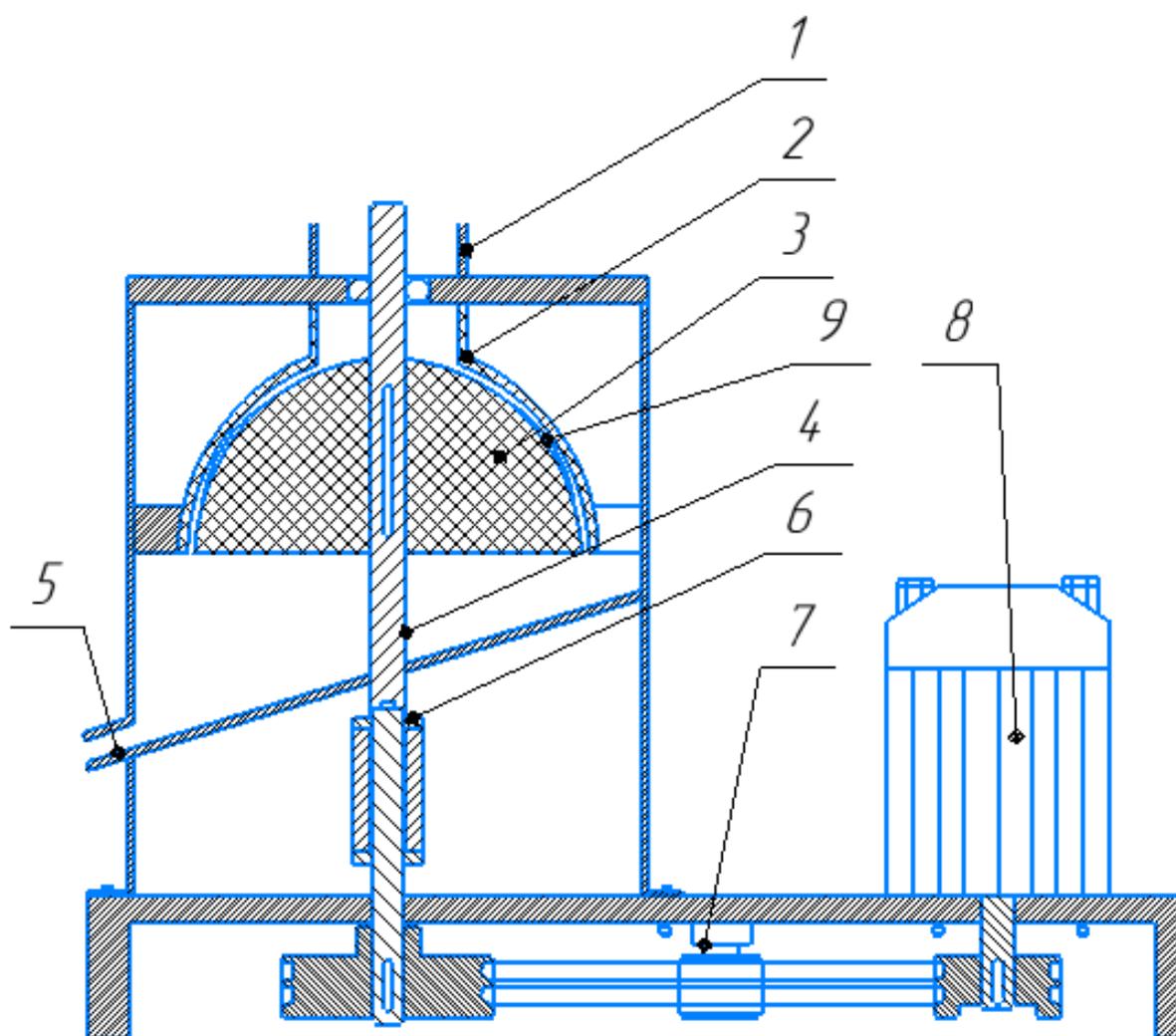
### **2.1. Конструктивно технологическая схема**

Рабочим органам разрабатываемой машины для шелушения зерна гречихи будет полусферических рабочих органа, рабочая поверхность которой покрыта резиновым материалом, при этом корпус представляет из себя ответную часть рабочего органа, которая также выполнен в виде полусферы, которые также покрыты резиной, в которой установлены две направляющие выполненные из резины.

Машина для шелушения зерна гречихи содержит внешний статичный рабочий орган в виде полусферы внутренняя поверхность которой покрыта резиновым материалом и при этом жестко закрепленная к станине, внутренний вращающийся рабочий орган в виде полусферу с обрешиненной внешней поверхностью, на внутреннем рабочем органе присутствуют направляющие, которые постепенно загибаются напротив направления вращения, высота направляющих составляет  $1/3$  от зазора между рабочими органами. Внутренний рабочий орган устанавливается на валу, к валу также установлен электродвигатель. Зазор между рабочими органами не имеет постоянную величину, в верхней части обладает большей, а в нижней части меньшую величину.

Принцип работы шелушителя зерна заключается в следующем: зерно проходит через средство для загрузки поступает в шелушильную камеру между внутренним вращающимся рабочим органом и внешним статичным рабочим органом. Направляющие подхватывают зерна гречихи и направляют их на края рабочих органов, что предотвращает засорение, направляющие так же участвуют в процессе шелушения. Под действием сил сжатия и сдвига, образующихся за счет вращения внутреннего рабочего органа и постепенного уменьшения зазора между ним и внешним рабочим органом, происходит снятие с зерна гречихи наружной оболочки (шелухи). За счет того, что

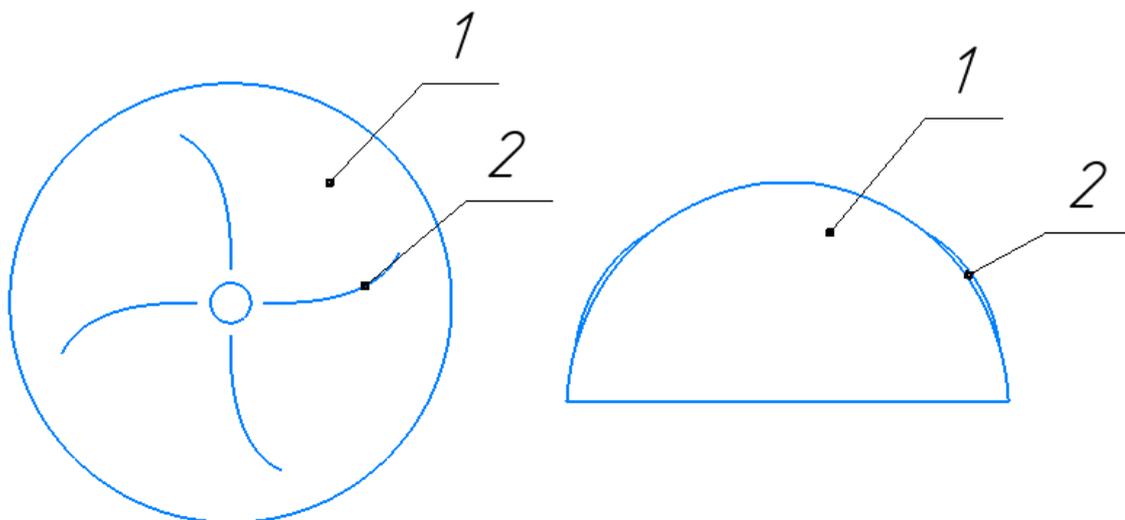
расстояние между рабочими органами в нижней части шелушителя больше чем размер ядра, дробление продукта не происходит. Полученный продукт шелушения поступает в емкость для сбора продукта шелушения и выводится из него для производства дальнейшей сепарации в технологической линии.



1 –загрузочный патрубок; 2 –полусферическая дека; 3 –полусферический рабочий орган; 4 –вал; 5 –выгрузной патрубок; 6 –механизм регулирования зазора между рабочим органом и декой; 7 –натяжной ролик; 8 – электродвигатель; 9 – направляющие.

Рисунок 2.1 –Устройство для шелушения зерна гречихи.

Данная машина для шелушения повышает эффективность технологического процесса путем уменьшения вероятности засорения рабочего пространства.



1 –внутренний рабочий орган; 2 –направляющие.

Рисунок 2.2 –Внутренний рабочий орган шелушителя зерна гречихи.

Для обработки зерен гречихи разных фракций, в конструкции предусмотрен механизм регулирования зазора между рабочими органами, регулировка количества оборотов электродвигателя и возможность изменения передаточного отношения ременной передачи, путем замены шкивов.

Данный шелушитель зерна гречихи имеет ряд преимуществ, среди которых: более длинный путь, которое зерно проходит, находясь под технологическим воздействием рабочих органов машины по сравнению с вальцедековыми станками или шелушилок с резиновыми валками, малые габариты машины, низкая металлоёмкость устройства и энергоёмкость технологического процесса, простота обслуживания и ремонта. Предлагаемой шелушитель зерна гречихи предназначен для применения в крупных производствах, в частности для отделения оболочки гречихи от ядра и может использоваться в том числе в хозяйствах, занимающихся возделыванием гречихи

## 2.2. Технологический и конструктивный расчет

В первую очередь необходимо определить производительность конструируемой машины по следующей формуле:

$$Q = 3,6 \times F_{\text{ж.с}} \times V_n \times \gamma_{\text{прод}} \times \varphi, \quad (2.1)$$

Где  $F_{\text{ж.с}}$  –площадь живого сечения продукта, м<sup>2</sup>;

$V_n$  –скорость продукта в рабочей зоне, м/с;

$\gamma_{\text{прод}}$  –объемная масса продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  –коэффициент заполнения рабочей зоны.

Воспользовавшись данной формулой можно найти формулу площади живого сечения продукта:

$$F_{\text{ж.с}} = L \times b, \quad (2.2)$$

Где L –длина рабочего тела ротора, м;

b –рабочий зазор, м.

Исходя из данной формулы следует:

$$F_{\text{ж.с}} = 0,4 \times 0,003 = 0,0012 \text{ м}^2$$

Используя формулу (2.1) вычисляем производительность:

$$Q = 3,6 \times 0,0012 \times 1,8 \times 720 \times 0,6 = 3,3 \text{ т/ч}$$

Предполагаемая производительность разрабатываемого шелушителя зерна гречихи составляет 3,3 тонны в час.

### Энергетический расчет

Мощность- это показатель объема выполняемой полезной работы на единицу времени.

$$N = A/\tau, \text{ Вт} \quad (2.3)$$

В устройствах, в которых рабочие органы выполняют вращательное движения для определения мощности используют следующую формулу:

$$N = M_{\text{кр}} \times \omega, \quad (2.4)$$

Или

$$N = M_{\text{кр}} \times \frac{\pi n}{30}, \quad (2.5)$$

Где  $M_{кр}$  –крутящий момент;

$\omega$  –угловая скорость, рад/ сек;

$n$  –частота вращения вала, об/ мин.

$$M_{кр} = P \times R, \quad (2.6)$$

Сила, которую необходимо приложить для разрушения перерабатываемых частиц можно принять как  $P = 30 \text{ Н/ см}$ , с учетом этого полезное разрушающие усилие можно вычислить по следующей формуле:

$$P_{пол} = P \times L_{вала} = 30 \times 0,40 = 12 \text{ Nm}.$$

Отсюда по формуле находим:

$$M_{кр} = 12 \times 0,2 = 2,4 \text{ валу Nm}$$

Для продолжения расчетов необходимо перевести угловую скорость с об/ мин в рад/ сек:

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

$$\omega = \frac{3,14 \times 450}{30} = 470 \text{ рад/сек}$$

Теперь имеется возможность найти мощность на приводе:

$$N = 2,4 \times 470 = 1200 \text{Вт} = 1,2 \text{кВт}.$$

В ходе произведенных нами расчётам, мы выявили, что мощность на привод составляет 1,2 кВт. Мощность электродвигателя должно быть выше данного значения.

В приводе рабочего органа устройства для шелушения зерна гречихи используется ременная передача. Необходимо вычислить и обосновать технические параметры данной ременной передачи. В ременной передачи привода будет использоваться ремень нормального сечения.

Далее необходимо определить передаточное отношение ременной передачи. Частота вращения вала рабочего органа разрабатываемой машины должна составлять 500 об/мин, а частота вращения вала электродвигателя составляет 2250 об/ мин. Передаточное отношение вычисляется по следующей формуле:

$$u = \frac{n_1}{n_2}; \quad (2.7)$$

где  $n_1$ - частота вращения ведущего шкива, об/мин;

$n_2$ - частота вращения ведомого шкива, об/мин;

$$u = \frac{2250}{500} = 4,5;$$

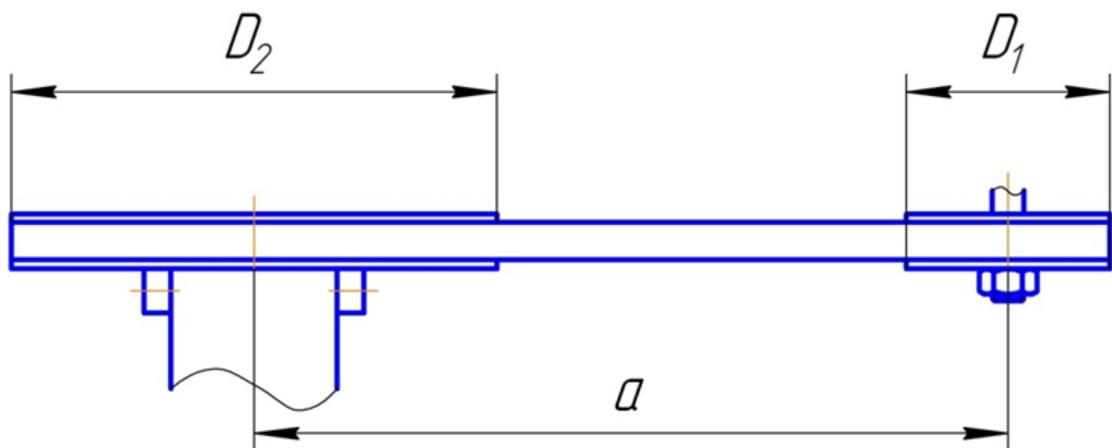


Рисунок 2.3 –Расчетная схема ременной передачи

Подберем диаметр ведущего шкива, который устанавливается на электродвигатель, из стандартного ряда. В данном случае диаметр ведущего шкива будет составлять 40 миллиметров.

Теперь необходимо определить диаметр ведомого шкива, который устанавливается на вал с рабочим органом. Диаметр ведомого шкива зависит от диаметра ведущего шкива и передаточного отношения и определяется по формуле:

$$D_2 = uD_1(1 - \lambda); \quad (2.8)$$

где  $\lambda$ - коэффициент скольжения ( $\lambda=0,01$ );

$$D_2 = 4,5 \cdot 40 \cdot (1 - 0,01) = 178,2 \text{ мм};$$

Подбираем наиболее близкий возможный диаметр ведомого шкива из стандартного ряда, который составляет 180 миллиметров.

Далее необходимо определить окружную скорость ремня для этого можно использовать следующую формулу:

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60}; \quad (2.9)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,04 \cdot 2000}{60} = 3,186 \text{ м/с};$$

Окружная скорость ремня составляет 3,186 метров в секунду.

Далее необходимо определить величину минимального расстояния между осями валов ременной передачи. Для этого воспользуемся формулой (2.10).

$$a_{\text{мин}} = 0,55 \cdot (D_1 + D_2) + h; \quad (2.10)$$

где  $h$ - высота сечения выбранного ремня ( $h=8$  мм);

$D_1$ - диаметр ведущего шкива мм;

$D_2$ - диаметр ведомого шкива, мм

$$a_{\text{мин}} = 0,55 \cdot (180 + 40) + 8 = 129;$$

Следующий шаг- жто определение расчетной длины ремня, для этого используется следующая формула:

$$L_p = 2 \cdot a + \frac{\pi \cdot (D_1 + D_2)}{2} + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot a}; \quad (2.11)$$

$$L_p = 2 \cdot 130 + \frac{3,14 \cdot (180 + 40)}{2} + \frac{(40 - 180)^2}{4 \cdot 130} = 674,49 \text{ мм};$$

Минимальная длина ремня составляет 674,49 миллиметров, необходимо выбрать длину ремня из стандартного ряда длин ремней с высотой профиля 8 миллиметров. Подбираем длину ремня равную 710 миллиметрам.

Определяем окончательное межосевое расстояние, для этого используем следующую формулу:

$$a = 0,25 \cdot \left[ (L - \omega) + \sqrt{(L - \omega)^2 - 8 \cdot y} \right] \quad (2.12)$$

где

$$\omega = \frac{\pi \cdot (D_1 + D_2)}{2}; \quad (2.13)$$

$$y = \frac{(D_2 - D_1)^2}{4}; \quad (2.14)$$

Тогда,

$$\omega = \frac{3,14 \cdot (180 + 40)}{2} = 345,4 \text{ мм};$$

$$y = \frac{(40 - 180)^2}{4} = 4900 \text{ мм};$$

Подставляем в формулу выше найденные значения:

$$a = 0,25 \cdot \left[ (710 - 345,4) + \sqrt{(710 - 345,4)^2 - 8 \cdot 4900} \right] = 2956 \text{ мм}.$$

Выводом данных вычислений является межосевое расстояние в 705 миллиметров.

По формуле (2.15) проверяется угол обхвата малого шкива:

$$\alpha_1 = 180 - \frac{D_2 - D_1}{a} \cdot 57; \quad (2.15)$$

$$\alpha_1 = 180 - \frac{180 - 40}{2956} \cdot 57 = 177,3;$$

$$\alpha_1 > [\alpha] = 90,$$

$$177,3 > [\alpha] = 90,$$

По формуле (2.16) проверяется число пробегов ремня:

$$\Pi = \frac{v}{L_p} \leq [\Pi]; \quad (2.16)$$

где  $v$  - окружная скорость ремня, м/с;

$L_p$  - расчетная длина ремня, м;

$[\Pi]$  - допускаемое число пробегов ремня,  $\text{с}^{-1}$  (для клиновых ремней  $[\Pi] \leq 15 \text{ с}^{-1}$ ).

$$\Pi = \frac{3,1}{0,71} = 4,366 \text{ с}^{-1};$$

$$\Pi \leq [\Pi];$$

$$4,366 \leq 15;$$

как видно, условие выполняются.

Определим расчетную мощность  $P_p$ , передаваемая одним ремнем, учитывая, что номинальная мощность для выбранного ремня  $P_0 = 1,5$  кВт (исходная длина 710 мм.

$$P_p = P_0 \frac{C_\alpha C_L}{C_p}; \quad (2.17)$$

где  $C_\alpha$  - коэффициент угла обхвата ( $C_\alpha = 0,91$ );

$C_L$ - коэффициент длины ремня ( $C_L=0,87$ );

$C_p$ - коэффициент динамичности режима работы ( $C_p=1,0$ ).

$$P_p = 1,5 \cdot \frac{0,91 \cdot 0,87}{1,0} = 0,98 \text{ кВт};$$

Далее необходимо вычислить количество ремней в передаче. Формула для определения нужного количества ремней представлено ниже:

$$Z = \frac{P}{C_z \cdot P_p}; \quad (2.18)$$

где  $C_z$ - коэффициент, учитывающий число ремней ( $C_z=0,9$ );

$$Z = \frac{1,5}{0,9 \cdot 0,98} = 1,7;$$

В ременной передаче будет использоваться два ремня.

Вычисляем нагрузку  $R$  на валы и опоры, для этого необходимо определить силу натяжения ремня.

$$F_o = \frac{0,85 \cdot P \cdot C_p \cdot C_z}{Z \cdot \vartheta \cdot C_a} + \theta \cdot \vartheta^2; \quad (2.19)$$

где  $\theta$ - коэффициент, учитывающий влияние центробежных сил (для ремней сечения  $O$   $\theta=0,1$ ).

$$F_o = \frac{0,85 \cdot 2500 \cdot 1,0 \cdot 0,9}{2 \cdot 3,1 \cdot 0,91} + 0,1 \cdot 3,1^2 = 430 \text{ Н};$$

По формуле (2.20) определяются нагрузка на валы и опоры:

$$R = 2 \cdot F_o \cdot Z \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right); \quad (2.20)$$

$$R = 2 \cdot 430 \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{177,3}{2}\right) = 1070\text{Н};$$

Найдем действительное передаточное отношения по диаметрам подобранных нами шкивами по следующей формуле (2.21):

$$u = \frac{D_2}{D_1 \times (1 - \xi)}; \quad (2.21)$$

Где  $\xi$  – коэффициент скольжения ( $\xi = 0,01$ )

$$u = \frac{180}{40 \times (1 - 0,01)} = 4,55$$

Передаточное отношение ременной передачи будет равно  $u = 4,55$ .

По формуле (2.21) определим необходимую частоту вращения вала электродвигателя. Это необходимо для выбора электродвигателя по стандартному ряду моделей. Частоту оборотов рабочего органа и передаточное отношение ременной передачи нам уже известно.

$$n_{\text{эл.дв.}} = n_2 \cdot u; \quad (2.22)$$

где  $n_2$  – частота вращения ведомого вала, об/ мин,

$u$  – передаточное отношение ременной передачи;

$$n_{\text{эл.дв.}} = 450 \cdot 4,55 = 2047,5 \text{ об/мин.}$$

Далее необходимо подобрать электродвигатель из стандартного модельного ряда. Частота оборотов должна быть выше 2047,5 об/мин, так как двигатель будет подключаться через частотный преобразователь, что даст возможность регулировки частоты оборотов вала электродвигателя в меньшую сторону. Мощность выбираемого электродвигателя должна превышать 1,2 кВт. Этим параметрам соответствует электродвигатель марки АИР80А2У3 с мощностью  $N_{\text{эл. дв.}} = 1,5$  кВт и частотой вращения 2850 об/ мин.

Произведем расчет болтового соединения

Произведем расчет болтового соединения используемое для соединения корпуса шелушильной машины к раме.

Корпус шелушильной машине крепится к раме с помощью четырех болтов, которые состоят из стали, класс прочности которых составляет 3,6. На болты создается воздействие силой  $F=1$  кН. Необходимо подобрать диаметр болтов на которых происходит постоянное воздействие.

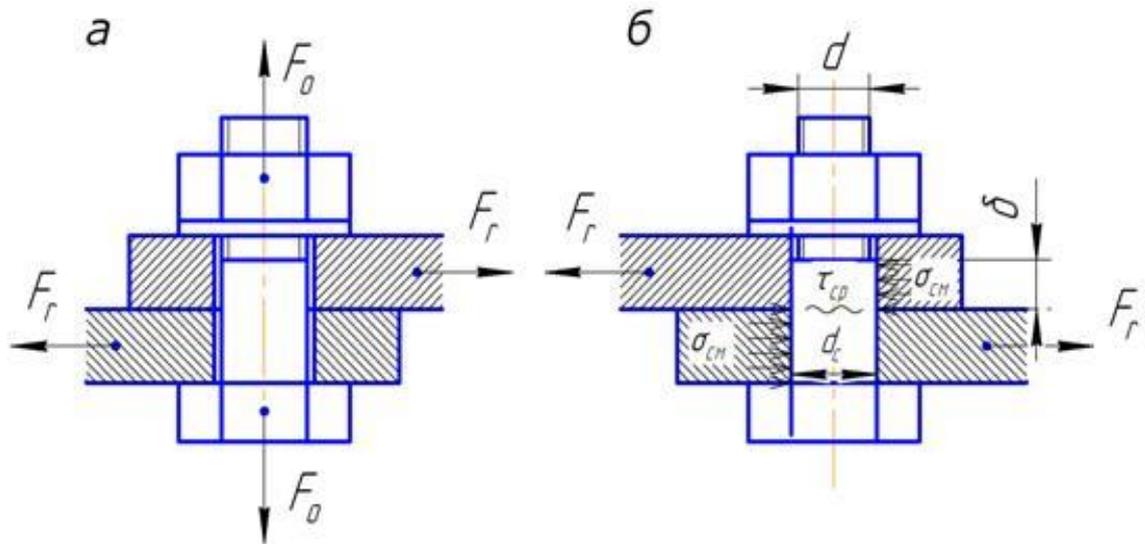


Рисунок 2.4 –Болтовое соединение, нагруженное поперечной силой

Для болтового соединения с неконтролируемой затяжкой принимаем коэффициент запаса прочности  $[S_T=5]$  в предположении, что наружный диаметр резьбы находится в интервале 6...16 мм. Предел текучести болта  $\sigma_T=200$  н/мм<sup>2</sup>.

По формуле (2.24) определяем допускаемое напряжение растяжения:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[S_T]}; \quad (2.23)$$

где  $[\sigma_p]$ - допускаемое напряжение растяжения. Н/мм<sup>2</sup>;

$\sigma_T$ -предел текучести, Н/мм<sup>2</sup>;

$[S_T]$ - коэффициент запаса прочности.

$$[\sigma_p] = \frac{200}{5} = 400 \text{ Н/мм}^2;$$

Принимаем коэффициент запаса прочности по сдвигу  $K=1,6$  и коэффициент трения  $f=0,16$ .

По формуле (2.25) определяем необходимую силу для затяжки болта:

$$F_0 = \frac{F \cdot K}{f \cdot i \cdot z}; \quad (2.24)$$

где  $K$  – коэффициент запаса по сдвигу деталей;

$F_0$  – внешняя сила, кН;

$f$  – коэффициент трения;

$i$  – число стыков;

$z$  – число болтов.

$$F_0 = \frac{1 \cdot 1,6}{0,16 \cdot 1 \cdot 4} = 2,5 \text{ кН};$$

По формуле (2.26) определяем расчетную силу затяжки болтов:

$$F_{\text{расч}} = 1,3 \cdot F_0; \quad (2.25)$$

$$F_{\text{расч}} = 1,3 \cdot 2,5 = 3,25 \text{ кН};$$

По формуле (2.24) определяем расчетный диаметр резьбы:

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{расч}}}{\pi \cdot [\sigma]_p}}; \quad (2.26)$$

где  $d_p$  – расчетный диаметр резьбы, мм;

$F_{\text{расч}}$  – расчетная сила затяжки болтов, кН;

$[\sigma]_p$  – допустимое напряжение растяжения, Н/мм<sup>2</sup>.

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 3,25 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 40}} = 10,1 \text{ мм};$$

Принимаем болт с резьбой М 12 с шагом  $P=1,75$  мм.

По формуле (2.24) определяем правильность выбора болта:

$$d_p = d - 0,94 \cdot P > 10,1; \quad (2.27)$$

Таким образом, получаем:

$$d_p = d - 0,94 \cdot 1,75 = 10,4;$$

$$10,4 > 10,1.$$

Следовательно, расчет произведен правильно, болт М 12 подобран правильно и пригоден к применению.

Произведем расчет сварочного соединения

Рассчитать сварной шов [30], соединяющий два листа толщиной  $\delta = 3$  мм из стали Ст 45, если  $F = 100$  кН, Электродуговой ручной сваркой электродом Э42.

Определяем допускаемое напряжение растяжения для основного металла, принимая для стали Ст 45  $\sigma_T = 160$  МПа и  $[s] = 1,45$

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s]} = \frac{160}{1,45} = 110 \text{ МПа.} \quad (2.28)$$

Вычисляем допускаемое напряжение для сварного шва при срезе

$$[\tau'] = 0,6 \cdot [\sigma_p] = 0,6 \cdot 110 = 69 \text{ МПа.} \quad (2.29)$$

Длину сварного шва определяется исходя из условия прочности

$$\tau = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot L} = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot 2 \cdot l} \leq [\tau'] \quad (2.30)$$

принимая  $k = \delta = 3$  мм,  $L = 2 \cdot l$  (два шва) получаем

$$l \geq \frac{F}{1,4 \cdot k \cdot [\tau]} = \frac{100 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 69} = 172,5 \text{ мм.} \quad (2.31)$$

Учитывая возможность технологических дефектов сварки, принимаем  $l = 200$  мм.

## **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1. Общий план исследований**

Обоснование уровней и интервалов варьирования факторов.

В процессе проведения исследований и испытаний в первую очередь необходимо учитывать следующие параметры, которые оказывают наиболее значимое воздействие на предмет исследований, это влажность зерна –  $W\%$ , частота оборотов испытываемой машины –  $n$  об/мин. От данных параметров зависит качество шелушения, в том числе и коэффициент целостности зерна и коэффициент шелушения.

Влажность является самым важным параметром зерна, влияющим на результаты исследования, ведь от влажности зерна зависит величина усилия воздействия для разрушения и отделения оболочки. Влажность зерна, прошедшей ГТО, должна находиться в пределах от четырнадцати до шестнадцати процентов, так как в ходе исследований выяснилось, что в этом диапазоне влажности зерна наблюдается наибольшая эффективность шелушения.

Величина усилий, с которым рабочие органы машины воздействуют на зерна гречихи, во многом зависят от скорости вращения рабочего органа и зазора между рабочими органами. Оптимальные обороты рабочего органа были найдены в ходе ранее проведенных испытаний и составили от 400 до 500 оборотов в минуту. В данном диапазоне скорости вращения рабочего органа обеспечивается наивысшая эффективность шелушения и высокое качество для конечной продукции.

Действительные и кодированные значения уровней и интервалов варьирования представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Значение уровней и интервалов варьирования

Наименование	Факторы		
	W, %	n, мин <sup>-1</sup>	Код
Нулевой уровень	15	450	0
Интервал варьирования	1	50	
Верхний уровень	16	550	+1
Нижний уровень	14	350	-1

Для обобщения плана эксперимента составим матрицу планирования двухфакторного эксперимента:

Таблица 3.2. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Факторы и их взаимодействие		Кодовое обозначение
	W	n	
1	-1	-1	У <sub>1</sub>
2	+1	-1	У <sub>2</sub>
3	-1	+1	У <sub>3</sub>
4	-1	-1	У <sub>4</sub>
5	+1	+1	У <sub>5</sub>
6	-1	+1	У <sub>6</sub>
7	+1	-1	У <sub>7</sub>
8	+1	+1	У <sub>8</sub>

При проведении экспериментальных исследований физико-механические и технологические свойства зерна гречихи определялись согласно соответствующих стандартов и методик [10].

В качестве объекта исследования выбраны несколько наиболее распространенных сортов гречихи – «Кама» [9].

### 3.2. Методика определения влажности зерна гречихи

Определение влажности зерна и других физико- механических и технологических свойств зерна проводилось согласно существующим стандартам и методик в лабораторных условиях

Влажность зерна определялась методом высушивания навесок в электрических сушильных шкафах. Для определения влажности зерна использовался шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п, термометр ТПК-М, весы ВК-600 (рисунки 3.2, 3.3).



Рисунок 3.1 - Шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п, термометр ТПК-М



Рисунок 3.2 –Лабораторные весы ВК-600

Определение влажности зерна с помощью стерильно сушильного шкафа ШСС-80п и термометра ТПК-М производится в следующем порядке: сперва необходимо взвесить пять бюксов на весах с точностью до 0,01 грамм. Берется 30 грамм образца, которое будет исследоваться. Образцы размалывают и перекладывают в емкости с хорошо притертой крышкой. Из данной емкости образцы разделяют на пять отдельных бюксов по пять граммов. Точность в взвешивании имеет большую важность при определении влажности.

Шкаф стерильный сушильный ШСС-80п необходимо нагреть до 140 градусов по Цельсию и поместить туда бюксы, в которые мы заранее поместили точно взвешенные образцы зерна, и закрыть шкаф. Теперь необходимо прождать 40 минут, в это время образцы в бюксах будут сушиться в шкафу при температуре  $130 \pm 2^\circ\text{C}$ . После 40 минут ожидания, нужно открыть шкаф и вытащить из него бюксы с образцами, после чего бюксы закрываются крышками и охлаждаются при комнатной температуре в течении 15...20 минут.

Охлаждённые бюксы с исследуемым образцом снова взвешивают на весах с высокой точностью. Масса бюксов уменьшится из-за испарения влаги в зерне. Необходимо вычислить разницу в массе до и после сушки. После выразить в процентах с массой 5 грамм.

Влажность рассчитываем по формуле 3.1:

$$W = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}, \quad (3.1)$$

где  $a$  - масса бюксы с крышкой, г;

$b$  - масса бюксы с крышкой и навеской размолотого зерна до высушивания, г;

$c$  - масса бюксы с крышкой и навеской размолотого зерна после высушивания, г.

Для каждой пробы проводят два определения влажности. Влажность исследуемой пробы выводят как среднее арифметическое из этих двух определений. Расхождение между двумя определениями допускается не более  $\pm 0,5\%$ .

### **3.3. Методика определения показателей эффективности шелушения**

Перед шелушение зерна гречихи она подвергается гидротермической обработки и другим подготовительным операциям. Подготовительные операции включают в себя: сортировку по фракциям, очистку зерна от различных примесей, отпаривание при повышенном давлении, сушку отпаренного зерна и охлаждение высушенного зерна.

Гидротермическая обработка, включающая в себя пропаривание при повышенном давлении, сушку и охлаждении, применяется для изменения физико- механических свойств зерна гречихи и является главной подготовительной операцией. Зерно подверженное гидротермической обработки имеет оптимальные параметры для проведения операции шелушения зерна гречихи.

Гидротермическая обработка зерна приводит к изменениям в биохимических свойствах зерна, а главным положительным фактором гидротермической обработки- это увеличение отличий физико- механических параметров слоев и ядра зерна. Повышается стабильность и прочность ядра,

но при этом уменьшается стабильность и прочность шелухи и ослабевает сила связи между ядром и оболочкой. В процессе пропаривания приводит к быстрому увеличению влажности и температуры семян. Пропаривание ведет к увеличению прочности ядра и сопротивление к разламыванию. Пленки при этом набухают, из-за чего связь между ядром и оболочкой теряет свою прочность.

Машины для производства гидротермической обработки зерна бывают различных видов. Их можно разделить по виду обрабатываемого зерна предназначенное для переработки злаковых и крупяных. Существуют также устройства, которые перерабатывают компоненты комбикормов. Устройства гидротермической обработки выполняют различные технологические операции, среди которых сушка, пропаривание и подогрев. Существуют машины для пропаривания с различным циклом действия. Машины для пропаривания периодического действия обеспечивают выпуск продукции порциями, а машины для пропаривания непрерывного действия обеспечивают постоянный выпуск продукции.

Сушка, производимая после пропаривания, также влияет на физико-механические свойства зерна гречихи. Увеличивает дефекты связи ядра с оболочкой зерна, что облегчает разрушение и очистку шелухи зерна гречневой крупы.

После сушки зерно подвергают охлаждению. Охлаждение уменьшает процентное содержание влаги в зерне. Охлаждение дополнительно уменьшает прочность внешних слоев зерна. После гидротермической обработки физико-механические свойства зерна становятся оптимальными для проведения шелушения продукции. Уменьшение прочности внешних слоев и связи между оболочкой и ядром в сочетании с увеличением прочности ядра позволяет значительно снизить коэффициент дробления зерна и повысить коэффициент целостности ядра и коэффициент шелушения.

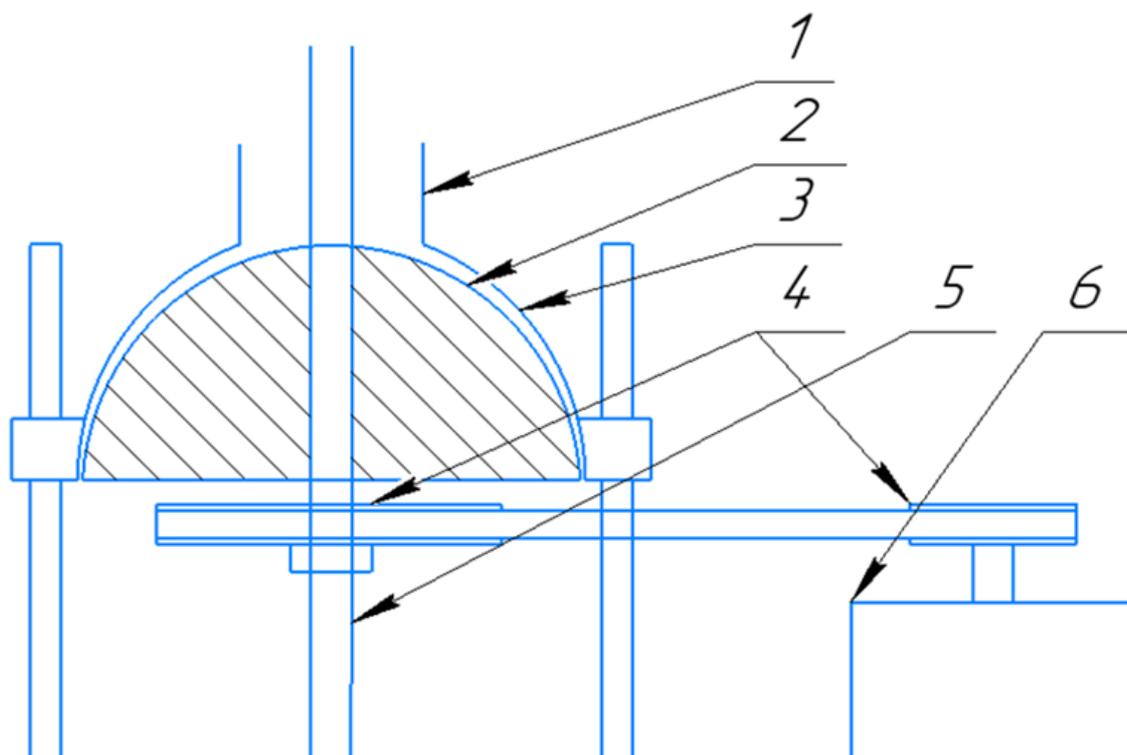
Зерно подверженное гидротермической обработке обладают более высокими органолептическими свойствами, что повышает потребительские

плюсы крупы и увеличивает срок хранения продукции и качество конечного продукта.

Таблица 3.3. Режим гидротермической обработки гречихи.

Культура	Параметры пропаривания		Влажность зерна, %	
	давления пара, МПа	длительность пропаривания, мин	после пропаривания	после завершения ГТО
Гречиха	0,25...0,30	3...5	18...19	14...16

Для проведения необходимых для нас исследования влияния параметров зерна гречихи и регулировок машины для шелушения зерна, была создана лабораторная установка.



1 –загрузочный патрубок; 2 –внутренний полусферический рабочий орган; 3 –корпус; 4 –шкивы; 5 –вал; 6 –электродвигатель.

Рисунок 3.3 –Устройство для шелушения гречихи

Лабораторная машина для шелушения зерна состоит из корпуса, в корпусе содержится статичный полусферический рабочий орган и загрузочный патрубок, электродвигатель вал который присоединён к ременной передаче, ремённая передача является приводом вала, на котором устанавливается внутренний рабочий орган. Поверхности, контактирующие с зерном гречихи, покрыты резиновым слоем. В лабораторной установке предусмотрена возможность регулировки частоты вращения внутреннего рабочего органа и рабочего зазора между внутренним и внешним рабочими органами.



Рисунок 3.4 –Общий вид устройства для шелушения зерна гречихи с полусферическим рабочим органом.

Частота вращения внутреннего рабочего органа регулируется с помощью частотного преобразователя. Частотный преобразователь меняет частоту в электрической цепи, а частота оборотов имеет прямо пропорциональную связь с частотой тока, что позволяет регулировать скорость вращения рабочего органа лабораторной установки в широком диапазоне.

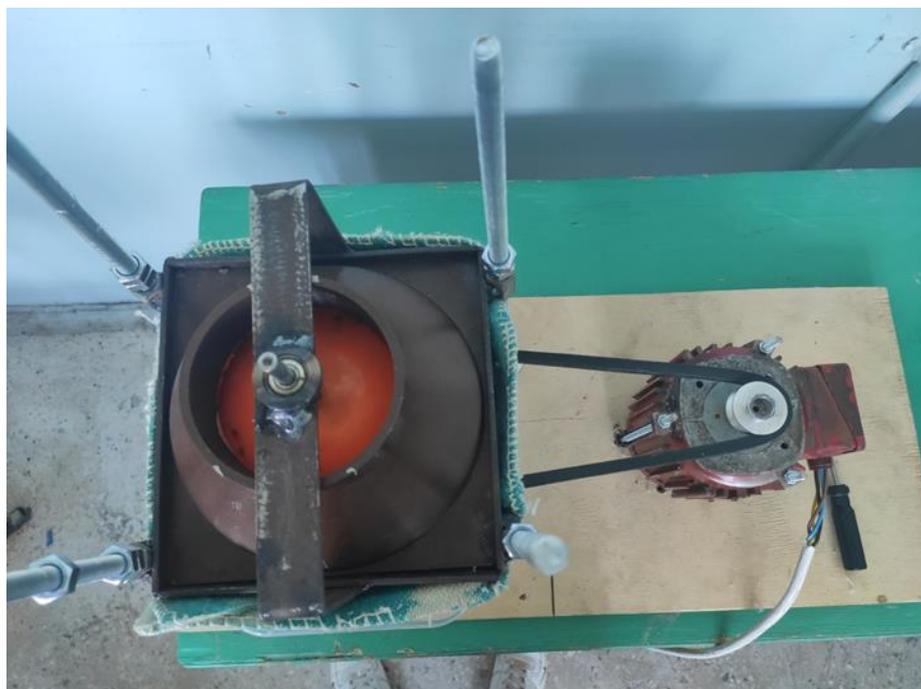


Рисунок 3.5 – Вид сверху на устройство для шелушения зерна гречихи с полусферическим рабочим органом.

Главными показателями эффективности и качества шелушения зерна гречихи являются коэффициент шелушения и коэффициент целостности ядра.

Коэффициент шелушения  $K_{ш}$  определяется по формуле:

$$K_{ш} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (3.2)$$

где,  $n_1$  - количество нешелушенных зерен в смеси до шелушения, %

$n_2$  - количество шелушенных зерен в смеси после шелушения, %

Коэффициент целостности ядра  $K_{ц.я.}$  находим по следующей формуле:

$$K_{ц.я.} = \frac{B}{B+D+M}, \quad (3.3)$$

где,  $B$  – количество целых ядер после шелушения, %

$D$  – количество дробленных ядер после шелушения, %

$M$  – выход мучки, %.

Коэффициент шелушения — это показатель отвечающая за долю зерен, в которых ядро отделилось от шелухи в ходе технологического воздействия

рабочих органов машине. Чем выше коэффициент шелушения чем меньше неотшелушенных зерен в конечной продукции шелушительной машины, а значит и выше эффективность шелушения. Коэффициент целостности ядра - это показатель количества ядер, которые не получили повреждений после прохождения через машину для шелушения, чем меньше поврежденных ядер в конечной продукции, тем выше эффективность шелушения.

## **4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ**

### **4.1 Результаты определения влажности зерна.**

Как уже отмечалось ранее, основной параметр влияющий на физико-механические свойства зерна- это влажность. Влажность оказывает сильное влияние на величину силы технологического воздействия необходимого для разрушения и отделения оболочки от ядра. При этом, максимальная эффективность шелушения достигается при условии пониженной влажности оболочке, при повышенной влажности ядра. В данном случае величина силы технологического воздействия будет минимальной, а коэффициент дробления зерна минимальной.

В ходе многочисленных исследований и опытов было выявлено, что оптимальная влажность зерна гречихи, прошедшей ГТО, для переработки в машине для шелушения составляет от 14 до 16 процентов, поэтому в экспериментах будет производится шелушения зерна гречихи после гидротермической обработки влажностью 14,15 и 16 процентов.

Методика определения влажности зерна при помощи стерильно сушильного шкафа ШСС-80п, термометра и весов описано в разделе 3.2.

Как отмечалось ранее для каждой пробы производят определение влажности по два раза. Результатом определения влажности становится средняя арифметическая двух измерений, но при этом разница между определениями не должна превышать пяти десятых процента.

При проведении эксперимента были получены результаты. Данные эксперимента частично приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Результаты исследований по определению влажности зерна гречихи.

Номер бьюкса, №	Масса бьюкса с крышкой – а, г	Масса бьюкса с крышкой и навеской размолотого зерна гречихи до высушивания – в, г	Масса бьюкса с крышкой и навеской размолотого зерна гречихи после высушивания – с, г	Влажность $w = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}$ w, %	Средняя влажность $w_{ср}$ , %
010	19,85	24,85	24,15	14	14
012	19,70	24,70	23,99	14,2	
013	19,90	24,90	24,20	13,9	
017	19,94	24,94	24,24	13,9	
018	19,98	24,98	24,48	14	

По данным таблицы 4.1 следует, что средняя влажность зерна гречихи составляет 14 процентов.

#### 4.1 Результаты определения показателей эффективности шелушения

Гидротермическая обработка зерна гречихи производилось на лабораторной установке. Которая состоит из скороварки, двух манометров, двух шаровых кранов, гибкой подводки и ПВХ трубы с крышками. Лабораторная установка для пропаривания зерна гречихи представлена на рисунке 4.3.

Пропаривание производилось в следующем порядке: в скороварку заливается вода, закрываем крышку скороварки и включаем конфорку, в ПВХ трубу помещается зерно гречихи, в скороварке закипает вода, образуется пар и начинает повышаться давление, при достижении давления в 1,7 бар открывается шаровой кран на скороварке и в ПВХ трубу поступает пар. Пропаривание производится в течении 10-15 минут.



Рисунок 4.1 –Лабораторная установка для пропаривания зерна

После гидротермической обработки (ГТО) мы получили зерно гречихи, которое соответствовало значениям в таблице 3.1., которое позволяет произвести исследования на устройстве для шелушения зерна гречихи с полусферическими рабочими органами и получить необходимые данные для оценки эффективности.

Методика исследования эффективности шелушения представлена в разделе 3.3. Были произведены соответствующие эксперименты по оценке эффективности работы машины для шелушения зерна гречихи с полусферическими рабочими органами.

С помощью испытаний, проведенных на лабораторной машине для шелушения зерна мы получили данные, а именно значения эффективности шелушения зерна гречихи, такие как коэффициент шелушения и коэффициент целостности ядра при разных процентах влажности зерна и при различных регулировках и режимах работы машины. Результаты проведенных исследований записаны в последующей таблице 4.2

Таблица 4.2 - Показатели работы устройства для шелушения зерна

	Влажность, W	Частота вращения рабочего органа, n	Коэффициент шелушения, $K_{ш}^{ср}$	Коэффициент целостности ядра, $K_{ц.я.}^{ср}$
1	14	350	0,578	0,486
2	14	400	0,724	0,624
3	14	450	0,666	0,532
4	14	500	0,642	0,493
5	14	550	0,592	0,480
6	15	350	0,594	0,456
7	15	400	0,658	0,542
8	15	450	0,812	0,578
9	15	500	0,744	0,652
10	15	550	0,778	0,526
11	16	350	0,678	0,480
12	16	400	0,712	0,544
13	16	450	0,854	0,592
14	16	500	0,808	0,556
15	16	550	0,794	0,526

Полученные данные можно перевести в графический формат, где зависимость эффективности шелушения от физико- механических параметров зерна и регулировок лабораторного устройства для шелушения зерна будет видно более наглядно. Разными цветами линий обозначается процент влажности зерна: синий цвет обозначает зависимость эффективности шелушения от оборотов рабочего органа зерна влажностью в 14%, оранжевый обозначает зерно с 15% влажности, серый с 16 % влажности.

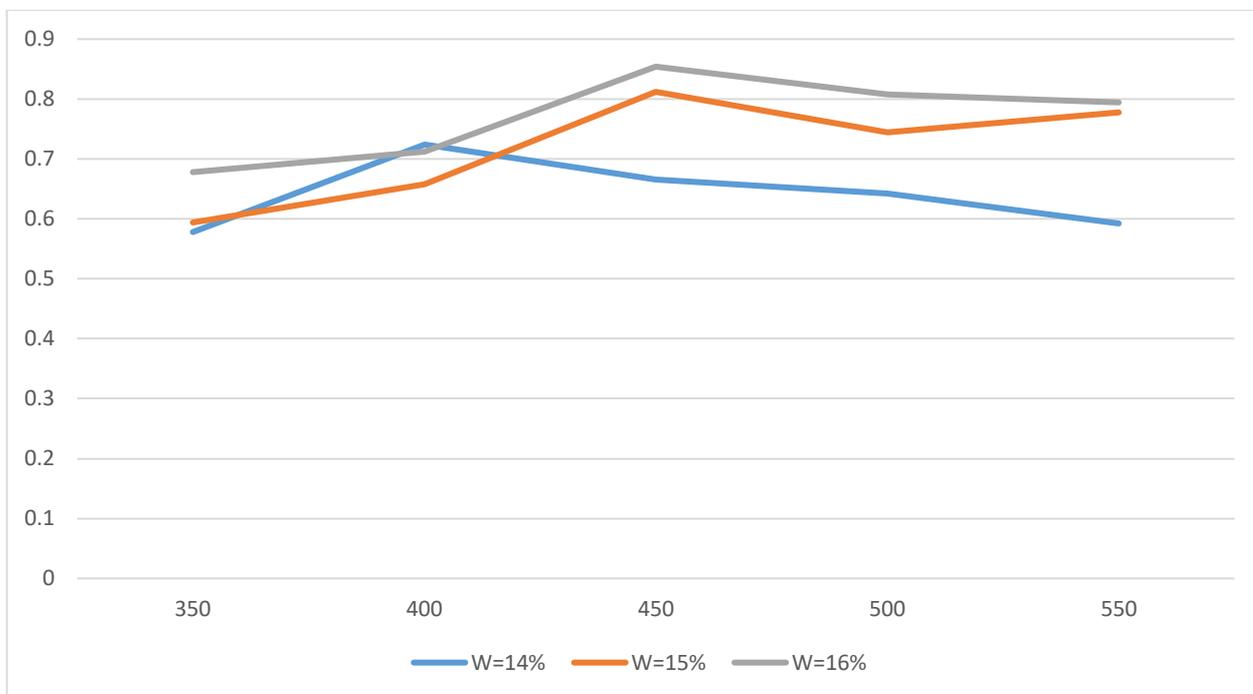


Рисунок 4.2 – График зависимости коэффициента шелушения зерна гречихи от частоты вращения сферического рабочего органа шелушителя зерна гречихи.

Из графика зависимости коэффициента шелушения от частоты вращения рабочего органа можно отметить, что наилучший показатель коэффициента шелушения наблюдается при влажности зерна в 16 процентов и при частоте оборотов рабочего органа 450 об/мин и составляет 0,854. При этом при влажности зерна равной 14 процентам наблюдаются минимальные значения коэффициента шелушения. При влажности зерна 14 % и частоте оборотов равной 350 об/мин коэффициент шелушения составляет 0,578. Коэффициент шелушения имеет прямо пропорциональную связь с влажностью зерна, это означает, что при увеличении влажности зерна происходит рост коэффициента шелушения. Наилучшие показатели коэффициента шелушения наблюдаются при влажности зерна 15...16 % и при оборотах рабочего органа 450...550 оборотов в минуту.

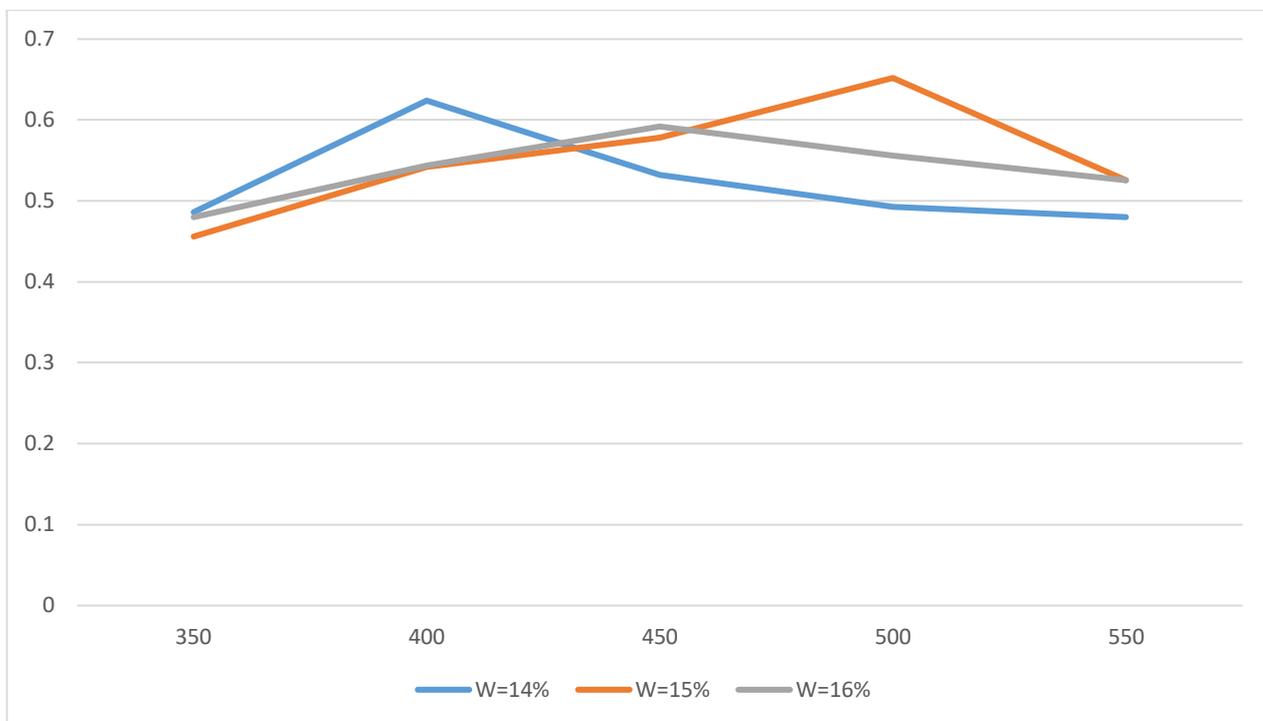


Рисунок 4.3. –График зависимости коэффициента целостности ядра от частоты вращения сферического рабочего органа.

В ходе анализа графика зависимости коэффициента целостности ядра от частоты вращения сферического рабочего органа было выявлено, что до определенного значения оборотов рабочего органа происходит рост коэффициента целостности ядра, но после преодоления этого значения происходит резкое падение. Для каждого показателя влажности зерна точка максимуму коэффициента целостности ядра находится при разных значениях частоты оборотов рабочего органа. С увеличением влажности ядра, точка максимума коэффициента целостности ядра достигает при более высоких оборотах. При влажности зерна в 14 % точка максимума составляет 0,624 и достигает при 400 оборотах, при влажности в 15 % составляет 0,592 и достигает при 450 оборотах, при влажности в 16 % составляет 0,654 и достигает при 500 оборотах. Снижение коэффициента целостности ядра при низких оборотах может объясняться продолжительностью воздействия рабочих органов на зерно ядра, которое обратно пропорционально частоте оборотов рабочего органа. Снижение коэффициента целостности ядра при повышенных

оборотов может объясняться увеличением интенсивности технологического воздействия.

Учитывая выводы сделанные из графика зависимости коэффициента шелушения зерна гречихи от частоты вращения сферического рабочего органа шелушителя зерна гречихи, наилучшие значения и графика зависимости коэффициента целостности ядра от частоты вращения сферического рабочего органа, максимальные значения эффективности шелушения зерна гречихи на представленной машине для шелушения зерна наблюдаются при обработке зерна прошедшей гидротермическую обработку и с параметрами влажности – 15...16% и при частоте оборотов 450-500 оборотов в минуту.

## Вывод

В ходе проведенного нами анализа было выявлено, что наиболее рациональный способ шелушения зерна гречихи по способу воздействия рабочих органов на зерно- это сжатие и сдвиг. С помощью данного способа шелушения зерна гречихи можно перерабатывать зерна гречихи в хозяйствах занимающихся возделыванием гречихи.

Анализ существующих машин и устройств, предназначенных для шелушения зерна гречихи, выявил множество недостатков в существующих машинах и новых технологических решениях влияющие на эффективность процесса шелушения, ни смотря на все разнообразие в существующих решениях.

Исходя из анализа конструкций существующих устройств для шелушения зерна предложена новая конструкция. Предлагаемая конструкция обладает следующими преимуществами: малые габариты, энергоэффективность, простота конструкции, низкая металлоемкость, простота обслуживания и возможность применения в условиях работы в фермерских хозяйствах.

Отличительным чертом разработанного технического решения в том, что рабочие органы разрабатываемой машины для шелушения зерна гречихи будет полусферических рабочих органа, рабочая поверхность которой покрыта резиновым материалом, при этом корпус представляет из себя ответную часть рабочего органа, которая также выполнен в виде полусферы, которые также покрыты резиной, в которой установлены две направляющие выполненные из резины. Использование данных рабочих органов позволяет увеличить эффективность шелушения, путем увеличения пути, в котором происходит воздействие рабочих органов на зерно.

Результаты проведенных исследований показывают, что наилучшая эффективность процесса шелушения наблюдается при обработке зерна гречихи после ГТО с влажностью – 15...16%, при скорости вращения рабочего органа – 450...500 мин<sup>-1</sup>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ рынка гречихи в России в 2019-2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг/ BusinesStat, 2023 – 90 с.
2. Анализ машин для шелушения зерна гречихи / Р. Э. Нигманов, Д. И. Гильфанов, А. В. Дмитриев // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : Научные труды Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора П.Г. Мудрова, Казань, 26–27 октября 2023 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. – С. 314-319. – EDN PFNOYS.
3. Вентиляционные и пневмотранспортные установки/ Вайсман Р.Р., Грубиян И .Я., М.: Колос, 1984. - 199 с.
4. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. — М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
5. Дмитриев А.В. Обоснование параметров пневмомеханического шелушителя зерна гречихи на основе моделирования технологического процесса: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Дмитриев Андрей Владимирович. - Казань, 2003. - 156 с.
6. Жислин Я.М. Технология и оборудование крупяного производства. М.: Колос, 1966.-263 с.
7. Жислин Я.М., Терещенко А.К. Выработка муки и крупы в сельскохозяйственном мукомолье. М.: Колос, 1969. — 232 с.
8. Зиганшин Б.Г. Некоторые проблемы технического обеспечения АПК и перспективы его развития / Зиганшин Б.Г., Валиев А.Р., Хамидуллин Н.Н. // Вестник Казанского государственного университета. 2008.Т.3. №2 (8). С. 148-152
9. Ибяттов Р.И. К расчету траектории движения зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя с реверсивной декой/Р.И. Ибяттов, А.В. Дмитриев, Р.И. Лотфуллин// Вестник Казанского ГАУ. - Казань, 2015. -№ 1(35). С. 62-67.

10. Калининский В.Д. Влияние режимов гидротермической обработки зерна риса и гречихи на потребительские свойства и стойкость круп при хранении. Автореферат дис. . канд. техн. наук. М.: 1980. - 22 с.
11. Коваленко И.С. Влияние физико- механических свойств зерна гречихи и ядрицы на процесс разделения семян. / Труды ВНИЭКИпродмаш М.: 1970,- вып.22. -с. 56-64.
12. Лотфуллин Р.И. К вопросу шелушения зерна в пневмомеханическом шелушителе/Р.Ш. Лотфуллин, Р.И. Ибяттов, А.В. Дмитриев, Б.Г. Зиганшин// Вестник Казанского ГАУ. - Казань, 2016. - Т. 11. № 4. С. 84-88.
13. Лотфуллин Р.Ш., Ибяттов Р.И., Дмитриев А.В. Влияние коэффициента восстановления зерна на процесс шелушения при ударе о деку пневмомеханического шелушителя // Сборник научных трудов всероссийского научно- исследовательского института овцеводства и козоводства – 2015. Том 1. №8. С.113-116.
14. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханические шелушители зерна (Теория, конструкция, расчет) / Э.Г. Нуруллин. –Казань, 2011. – 308 с.
15. Патент RU 2 817 375 С1, МПК В02В 3/00. ШЕЛУШИТЕЛЬ ЗЕРНА/ Невзоров В.Н., Тепляшин В.Н., Киреев В.В., патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет" (RU), опубл. 15.04.2024 Бюл. № 11.
16. Патент № 2621988 С Российская Федерация, МПК В02В 3/00. Центробежный шелушитель : № 2016118513 : заявл. 12.05.2016 : опубл. 08.06.2017 / С. В. Шахов, А. И. Потапов, А. С. Белозерцев, В. В. Колядин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет инженерных технологий" (ФГБОУ ВО "ВГУИТ").. – EDN MSZBLQ.
17. Патент на полезную модель № 154200 U1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. Пневмомеханический шелушитель зерна : № 2015116456/13 : заявл.

29.04.2015 : опубл. 20.08.2015 / Д. Т. Халиуллин, А. В. Дмитриев, Э. Г. Нуруллин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВПО Казанский ГАУ). – EDN CLAFAF.

18. Патент № 2772305 С1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. Центробежный шелушитель семян зерновых культур : № 2021108311 : заявл. 26.03.2021 : опубл. 18.05.2022 / Ю. А. Кряжев, В. В. Вашкевич, А. Ю. Клюев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова". – EDN RHWGXZ.

19. Патент на полезную модель № 138907 U1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. шелушитель зерна : № 2013142532/13 : заявл. 17.09.2013 : опубл. 27.03.2014 / В. А. Марьин, И. С. Хабазин, А. Н. Блазнов, И. В. Нечаев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ). – EDN CLUSLI.

20. Патент на полезную модель № 91892 U1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. устройство для шелушения зерна : № 2009101642/22 : заявл. 19.01.2009 : опубл. 10.03.2010 / И. В. Маланичев, Э. Г. Нуруллин, А. В. Дмитриев, Д. Т. Халиуллин ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный аграрный университет". – EDN YTHJZJ.

21. Патент № 2203736 С2 Российская Федерация, МПК В02В 3/04. Вальцедековая шелушильная машина : № 2001103705/13 : заявл. 12.02.2001 : опубл. 10.05.2003 / В. М. Филин, Д. В. Филин, М. В. Филин ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Агропродмаш". – EDN MHNRXV.

22. Патент № 2231385 С2 Российская Федерация, МПК В02В 3/04. машина для шелушения зерна крупяных культур : № 2001112752/13 : заявл. 14.05.2001 : опубл. 27.06.2004 / В. М. Филин, Д. В. Филин, М. В. Филин ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "АГРОПРОДМАШ". – EDN VOOXPW.
23. Справочник мукомола, крупящика и комбикормщика. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1973. — 355 с.
24. Справочник по качеству зерна и продуктов его переработки. — М.: Колос, 1971.-352 с.
25. Тагр С. М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов / С. М. Тагр. – М. Изд-во Высш. шк.10-е изд., перераб. и доп., 1986.— 416 с.
26. Фёдоров Д.Г. Пневмомеханический шелушитель гречихи/Д.Г. Фёдоров. М.И. Далалеева, А.В. Дмитриев, Д.Т, Халиуллин// Сельский механизатор. 2017. № 6. С. 12-13.
27. Фёдоров Д.Г. Шелушитель зерна гречихи с реверсивной декой/Д.Г. Фёдоров. А.В. Дмитриев, Ф.З. Кадырова//Сельский механизатор. 2013. № 11 (57). С. 18-19.
28. Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В. Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна//Journal of Advanced Research in Technical Science. -North Charleston, USA: SRC MS, GreateSpace. -2016. № 2. С. 85-88.
29. Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В., Низамов Р.М. Применение пневмомеханических шелушителей при производстве очищенного шрота/Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы//Труды II международной научно-практической конференции. Научное издание. -Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017. С 85-89.
30. Хасанов Ф.Ф. Анализ машин для снятия с зерна цветковой оболочки/Агроинженерная наука XXI века. Научные труды региональной научно-практической конференции - Казань, 2018 – С. 267-272.
31. Патент на полезную модель № 221857 U1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. Шелушитель зерна гречихи : № 2023125871 : заявл. 10.10.2023 :

опубл. 28.11.2023 / Д. И. Гильфанов, А. В. Дмитриев, Б. Г. Зиганшин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет". – EDN XTJICU.

32. Халиуллин, Д. Т. Теоретическое обоснование некоторых параметров семенорушки пневмомеханического типа / Д. Т. Халиуллин, Р. Р. Лукманов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11-3. – С. 516-519. – EDN VDARSF.

33. Нуруллин, Э. Г. Теоретическое определение скорости воздушно-зерновой смеси в конфузоре пневмомеханической семенорушки / Э. Г. Нуруллин, Д. Т. Халиуллин, Э. Э. Нуруллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 23. – С. 113-116. – EDN ONAHIN.

34. Нигманов, Р. Э. сферический шелушитель зерна гречихи / Р. Э. Нигманов, А. В. Дмитриев // Прикладные исследования в агроинженерии : научные труды Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, Казань, 22 ноября 2023 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 87-92. – EDN GCFCTS.

35. Патент № 2756119 С1 Российская Федерация, МПК В02В 3/00. Шелушитель зерна гречихи : № 2021100244 : заявл. 11.01.2021 : опубл. 28.09.2021 / А. В. Дмитриев, Д. Т. Халиуллин, Б. Г. Зиганшин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет". – EDN ZJSAZB.

36. Далалеева, М. И. Исследование показателей эффективности работы шелушителя с вертикальной рабочей камерой / М. И. Далалеева, А. В. Дмитриев, Д. Т. Халиуллин // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы : Труды III международной научно-практической конференции, Казань, 22 мая 2019 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 73-81. – EDN RGSEPN.

# Приложения

Таблица 1 - Результаты определения показателей эффективности шелушения зерна гречихи

W	n	Кш	Кц.я.	К <sub>ш</sub> <sup>ср</sup>	К <sub>шя</sub> <sup>ср</sup>
14	350	0,55	0,51	0,578	0,486
		0,57	0,56		
		0,61	0,47		
		0,54	0,44		
		0,62	0,45		
14	400	0,77	0,6	0,724	0,624
		0,69	0,62		
		0,71	0,67		
		0,71	0,61		
		0,74	0,62		
14	450	0,64	0,56	0,666	0,532
		0,69	0,56		
		0,69	0,51		
		0,64	0,52		
		0,67	0,51		
14	500	0,65	0,5	0,642	0,49333
		0,66	0,48		
		0,65	0,53		
		0,61	0,48		
		0,64	0,48		
14	550	0,59	0,49	0,592	0,48
		0,55	0,51		
		0,59	0,47		
		0,64	0,49		

		0,59	0,44		
15	350	0,64	0,44	0,594	0,456
		0,59	0,48		
		0,58	0,49		
		0,55	0,44		
		0,61	0,43		
15	400	0,64	0,51	0,658	0,542
		0,66	0,57		
		0,66	0,55		
		0,65	0,58		
		0,68	0,5		
15	450	0,81	0,61	0,812	0,578
		0,8	0,49		
		0,85	0,56		
		0,81	0,58		
		0,79	0,65		
15	500	0,71	0,64	0,744	0,652
		0,76	0,69		
		0,72	0,61		
		0,77	0,65		
		0,76	0,67		
15	550	0,77	0,51	0,778	0,526
		0,79	0,54		
		0,76	0,52		
		0,8	0,56		
		0,77	0,5		
16	350	0,69	0,49	0,678	0,48
		0,71	0,5		
		0,68	0,48		

		0,64	0,45		
		0,67	0,48		
16	400	0,71	0,51	0,712	0,544
		0,68	0,56		
		0,74	0,54		
		0,72	0,56		
		0,71	0,55		
16	450	0,84	0,6	0,854	0,592
		0,87	0,59		
		0,83	0,57		
		0,87	0,62		
		0,86	0,58		
16	500	0,81	0,56	0,808	0,556
		0,81	0,55		
		0,83	0,58		
		0,8	0,55		
		0,79	0,54		
16	550	0,77	0,49	0,794	0,526
		0,8	0,55		
		0,83	0,55		
		0,78	0,54		
		0,79	0,5		