

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса

на правах рукописи

(подпись, дата)

Далалеева Мария Ивановна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ**

Научно-квалификационная работа (диссертация)

на соискание квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь»
по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и
энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве

Научный руководитель
Дмитриев А.В., к.т.н., доцент

(подпись, дата)

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного
доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной
работы (диссертации) на государственной итоговой аттестации

(протокол №__ от _____ 20__ г.)

Зав. кафедрой _____

ученое звание

подпись

Ф.И.О.

Казань – 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
1.1 Классификация способов шелушения зерна.....	12
1.2 Анализ технологий переработки гречихи в крупу.....	15
1.3 Анализ конструкций машин для шелушения зерна гречихи.....	22
1.4 Анализ теоретических исследований шелушения зерна.....	41
1.5 Анализ исследований по определению коэффициента восстановления зерна	47
1.6 Задачи исследований	54
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ	55
2.1 Устройство и принцип действия предлагаемого шелушителя зерна гречихи.....	55
2.2 Теоретические исследования взаимодействия зерна с рабочими органами шелушителя с учетом коэффициента восстановления зерна.....	57
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	75
3.1 Планирование экспериментального исследования	75
3.2 Методика определения влажности зерна гречихи	77
3.3 Методика определения коэффициента восстановления зерна гречихи	79
3.4 Методика определения эффективности шелушителя зерна гречихи...	82
3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментов.....	85
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	88
4.1 Результаты определения влажности зерна гречихи	88

4.2	Результаты исследований определения коэффициента восстановления зерна гречихи	91
4.3	Результаты определения эффективности шелушителя зерна.....	96
ГЛАВА 5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	102
5.1	Расчет массы и стоимости конструкции	102
5.2	Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение	104
	ВЫВОДЫ	110
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства, характеризующегося глубоким реформированием и постоянным совершенствованием в условиях санкционной политики европейских государств, как никогда обостряется проблема переработки конкурентоспособных, рентабельных видов сельскохозяйственных культур на местах их производства (возделывания). К числу таких культур относятся и крупяные культуры. Крупа, полученная при переработке этих культур, отличается повышенным содержанием питательных веществ, высокими вкусовыми качествами, хорошей усваиваемостью. Одной из самых распространенных крупяных культур в России является гречиха.

Не смотря на постоянный спрос на гречневую крупу в России, наблюдается постепенное сокращение площадей ее выращивания, что происходит по причине ее перепроизводства и последующего обвала цен. Ранее, в 2018 году валовые сборы гречихи в РФ составили 930,5 тыс. тонн, что на 39,0% меньше показатели за 2017 года. Урожайность гречихи в России в 2018 году составила 9,5 ц/га убранной площади. По отношению к 2017 году, она снизилась на 6,9% (0,7 ц/га). Однако за последние 10 лет наблюдается рост урожайности гречихи на 3,3% (0,3 ц/га) [88].

Исходя из этого, совершенствование технологии и разработка новых технологических средств для производства гречневой крупы в условиях сельскохозяйственного производителя и фермерских хозяйств являются актуальными задачами.

Степень разработанности темы исследования

В развитии исследований в области разработки технологий и технологических средств для переработки культур, а также в области изучения биохимических, физико-механических и технологических свойств зерна

крупяных культур в нашей стране большой вклад внесли Алейников В.И., Аниканова З.Ф., Ауэрман Л.Я., Белобородов В.В., Гинзбург А.С., Гортинский В.В., Гринберг Е.И., Дзядзио А.М., Егоров Г.А., Жислин Я.М., Казаков Е.Д., Коваленко И.С., Козьмина Е.П., Коньков П.М., Красников В.В., Кретович В.Л., Кузьмин П.А., Куприц Я.Н., Лыков А.В., Любарский Л.Н., Мельников Е.М., Мерко И.Т., Нуруллин Э.Г., Соколов А.Я., Соколов О.А., Трисвятский Л.А., Фесенко И.В., Шумилин П.Л. и многие их ученики и последователи, а за рубежом – М Макмастерз, Дж. Шелленбергер, В. Шефер, И. Глинка, д. Джонс, Э. Калинин и др.

Цель и задачи исследований

Целью работы является повышение эффективности технологического процесса шелушения зерна гречихи в пневмомеханическом устройстве для шелушения зерна гречихи.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ ресурсосберегающих технологий производства гречневой крупы;
- провести анализ конструкции машин для шелушения зерна гречихи;
- провести анализ теоретических исследований шелушения зерна гречихи;
- исследовать математическую модель движения зерна гречихи по рабочим органам шелушителя пневмомеханического типа;
- разработать конструкцию и создать прототип шелушителя пневмомеханического типа;
- определить коэффициент восстановления зерна гречихи;
- определить рациональные параметры и режимы работы пневмомеханического шелушителя;
- дать технико-экономическую оценку использования пневмомеханического шелушителя.

Объект исследований

Объектом исследования является технологический процесс шелушения зерна гречихи.

Предмет исследований

Предметом исследования является шелушитель пневмомеханического типа.

Методология и методика исследования

Для достижения поставленных целей использовались теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия зерна с рабочими органами шелушителя с учетом коэффициента восстановления зерна выполнены методом факторного анализа, методом планирования экспериментов; экспериментальные исследования проведены на основе общих положений проведения научно-исследовательских работ с использованием стандартных методик.

Научная новизна

Научная новизна заключается в:

- разработке новых математических моделей взаимодействия зерна с верхними лопастями вентилятора шелушителя пневмомеханического типа и с поверхностью рабочей камеры;
- выполнении вентилятора шелушителя пневмомеханического типа с верхними и нижними лопастями, где верхние лопасти вентилятора служат для подачи зерна в рабочую камеру и загнуты в сторону вращения вентилятора для придания максимального ускорения зерну, подаваемому в рабочую камеру. Нижние лопасти вентилятора создают воздушный поток для обеспечения движения зерна и продуктов шелушения в рабочей камере и загнуты в обратную сторону вращения вентилятора для создания равномерного воздушного потока.

– выполнении рабочей камеры шелушителя пневмомеханического типа в виде винтовой цилиндрической спирали прямоугольного сечения и содержащей верхнюю и нижнюю сетчатые продольные перегородки для возможности получения на выходе продукт, разделенный на три фракции.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в результатах теоретических и практических исследованиях, позволивших разработать шелушитель пневмомеханического типа для реализации процесса шелушения зерна гречихи, экспериментальный образец которого испытан в лабораторных условиях. На данное техническое решение получены патенты РФ №173613 и №2660903.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся конструктивно-технологические схемы шелушителя пневмомеханического типа, усовершенствование технологии шелушения зерна гречихи и технологических параметров шелушения зерна гречихи на основе патентозащищенного пневмомеханического шелушителя (РФ №173613 и №2660903), математическое описание процесса шелушения зерна гречихи в разработанной машине, результаты экспериментальных исследований определения показателей эффективности шелушения.

Личный вклад аспиранта

Цель и задачи, результаты теоретических и экспериментальных исследований, их анализ, представленные в диссертации, выполнены при личном участии аспиранта.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные теоретические положения подтверждены результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях.

Основные положения научно-квалификационной работы изложены и одобрены на научно-практических конференциях магистров и аспирантов.

1. Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования» (Россия, Тамбов, 31 января 2015 г.)
2. 73-я студенческая (региональная) научная конференция «Студенческая наука – аграрному производству» (Казань, 24 марта 2015 г.)
3. Materials of the XI International scientific and practical conference, «Scientific horizons» (г.Шеффилд, 30 сентября - 07 октября 2015 г.)
4. Ежегодный конкурс на лучшую научную работу студентов Казанского ГАУ 2015 год, (1 место).
5. I-й тур всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России, (1 место).
6. Всероссийский конкурс «Новый век в АПК», г. Москва, 2016 год.
7. Международный интеллектуальный конкурс студентов и аспирантов «University Stars - 2016» Россия, г. Москва, 10.12.2016.
8. VI международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов DISCOVERY SCIENCE: UNIVERSITY - 2017 Россия, Москва, 15.05.2017. (1 место)
9. III международный конкурс студентов, магистров, аспирантов UNIVERSITY KNOWLEDGE – 2018,Россия, Москва, 20.03.2018.
10. Международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса (Казань 16 мая 2018г.)

11. VII международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов DISCOVERY SCIENCE: UNIVERSITY - 2018 Россия, Москва, 25.05.2018. (1 место)

Перечень публикаций

1. Далалеева М.И. Пневмомеханический шелушитель гречихи / Д.Г. Федоров, А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин // Сельский механизатор. 2017. №6. С. 12-13.

2. Далалеева, М.И. Распределение зернового материала в вентиляторе броскового типа при его работе / Р.Р. Сафин, М.И. Далалеева // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования. Часть 2 – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. 139с.

3. Далалеева, М.И. Классификация способов и анализ машин для шелушения зерна/ М.И. Далалеева, Г.И. Вагизова, А.В. Дмитриев // Студенческая наука - аграрному производству. Материалы 73-ей студенческой (региональной) научной конференции, посвященной 65-летию Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – 90с.

4. Далалеева, М.И. Методика определения коэффициента восстановления зерна гречихи / М.И. Далалеева, А.В. Дмитриев // Materials of the XI international scientific and practical conference scientific horizons 2015 - office 1, velocitytower, 10 st. Mary's gate, sheffield, s yorkshire, england, s1 4lr. –г. Шеффилд.- 71-73стр.

5. Далалеева, М.И. Лабораторная установка для определения коэффициента восстановления зерна / М.И. Далалеева, А.В. Дмитриев, Ф.Ф. Хасанов // XI MEZINÁRODNÍ VĚDECKO - PRAKTICKÁ KONFERENCE «NASTOLENÍ MODERNÍ VĚDY- 2016». – г. Прага. – 57-61 стр.

6. Далалеева М.И. Устройство для подачи зернового материала в вентилятор броскового типа / М.И. Далалеева, Ф.Ф. Хасанов, А.В. Дмитриев // News of science and education №3, 2018год, 26-30стр.

7. Далалеева М.И. Шелушитель гречихи с цилиндрической спиральной шелушильной камерой / Дмитриев А.В., Федоров Д.Г. // Агроинженерная наука XXI века. / Труды региональной научно практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, - 2018.–77-83.

8. Пат. 173613 РФ, МПК В 02 В 3/00, Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна / Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т., Далалеева М.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» – № 2017113783; заявл. 20.04.2017; опубл. 04.09.2017, Бюл. № 25.

9. Пат. 2660903 РФ, МПК В 02 В 3/00, Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна / Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т., Далалеева М.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» – № 2017113496; заявл. 18.04.2017; опубл. 11.07.2018, Бюл. № 20.

Соответствие научно-квалификационной работы паспорту научной специальности

Научно-квалификационная работа соответствует пунктам 2 и 7 паспорта научной специальности 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства.

Описание структуры и объема работы

Научно-квалификационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений; включает 51 рисунка, 12 таблиц. Основной текст изложен на 111 листах машинописного текста. Список литературы включает 101 источник.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Классификация способов шелушения зерна

Важным процессом в производстве и переработки крупяных культур является шелушение. Шелушения зерна – процесс снятия с его поверхности семенных (цветковых, плодовых) оболочек. От эффективности шелушения в наибольшей степени зависит качество и выход получаемого продукта.

Способ шелушения зерна от которого во многом зависит качество получаемой продукции определяется исходя из анатомического строения зерна, его физико-механических и технологических свойств, таких как форма зерна, влажность, пленчатость, прочность и т.п. определяют способ шелушения для обеспечения значительной эффективности переработки зерна.

На сегодняшний день известны различные способы шелушения. Шелушение зерна сжатием и сдвигом, ударом (многократным или однократным), трением, аэродинамическое и пневмомеханическое шелушение, пневмогидродинамическое шелушение [27].

Способ шелушения сжатием и сдвигом осуществляется воздействием на зерно двух или более рабочих поверхностей расстояние между которыми меньше размера зерна (рисунок 1.1). При таком способе шелушения условием является движение одной рабочей поверхности относительно другой, что происходит когда одна поверхность движется, а другая не подвижна или движется намного медленнее. Данный способ шелушения применяется, если оболочка зерна не срослась с ядром.

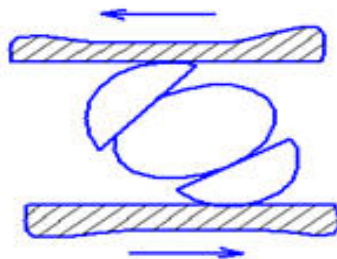


Рисунок 1.1 – Шелушения зерна сжатием и сдвигом

Следующий способ шелушения основан на принципе удара (однократного или многократного) зерна о рабочую поверхность шелушителя (рисунок 1.2). Данный способ приемлем как для случая когда ядро и оболочка не срослись между собой, так и для случая когда ядро и оболочка срослись между собой. В первом случае достаточно применять однократный удар, а во втором случае – многократный. Однако применение этого способа для шелушения культур с хрупким ядром приводит к образованию большого выхода дробленки. Рекомендуется использовать данный способ, когда ядро нехрупкое или когда необходимо получить дробленую крупу.

Способ с однократным ударом применяется чаще всего для шелушения овса, проводят шелушение в центробежных шелушителях. Для шелушения кукурузы, ячменя и пшеницы применяют бичевые и обочные машины, которые работают по принципу многократного удара.

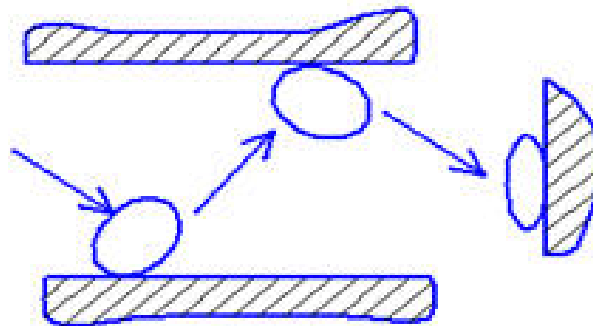


Рисунок 1.2 – Шелушение многократным или однократным ударом

Способ шелушения трением об абразивную поверхность используют когда оболочка зерна плотно срастается с ядром (рисунок 1.3). Шелушение зерна происходит в рабочей зоне шелушителя, где оболочка подвергается истирающему воздействию абразивной поверхности рабочих органов машины, которые постепенно соскабливают оболочку зерна.



Рисунок 1.3 – Шелушение трением об абразивную поверхность

Аэродинамический способ шелушения основан на воздействии на перерабатываемый продукт струи сжатого воздуха, движущейся с высокой скоростью (рисунок 1.4). В рабочей камере машины, работающей по аэродинамическому способу, зерно испытывает ряд разрушающих факторов: трение, перепад давления, удар и др., в результате чего происходит шелушение.

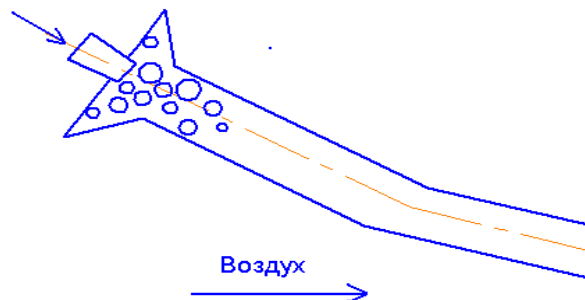


Рисунок 1.4 – Аэродинамическое шелушение

Способ пневмомеханического шелушения заключается в разгоне зерна бросковым вентилятором на лопасти диска, которого подается продукт и его дальнейшем перемещением в потоке воздуха шелушительную камеру (рисунок 1.5). Под действием различных разрушающих сил (трения, удара и пр.) происходит шелушение. Пневмомеханический способ шелушения зерна может применяться на малых площадях, без вспомогательного оборудования, т.е. в местах производства сельскохозяйственной продукции.

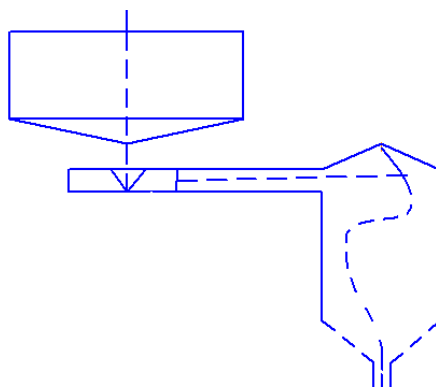


Рисунок 1.5 – Пневмомеханическое шелушение

Пневмогидродинамический способ шелушения заключается в разгоне зерна потоком воздуха до высокой скорости в специальной разгонной трубе (рисунок 1.6). Перемещаясь в разгонной трубе зерно испытывает различные нагрузки, проходя предварительное шелушение. Выходя из разгонной трубы, зерно, на большой скорости ударяется о жидкую поверхность, где происходит дошелушивание. Данный способ позволяет получить качественную и высоко экологическую продукцию вследствие исключения воздействия на зерно абразивных или обрезающих материалов.

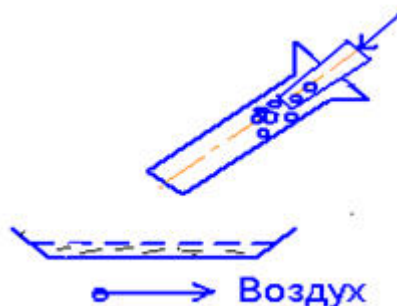


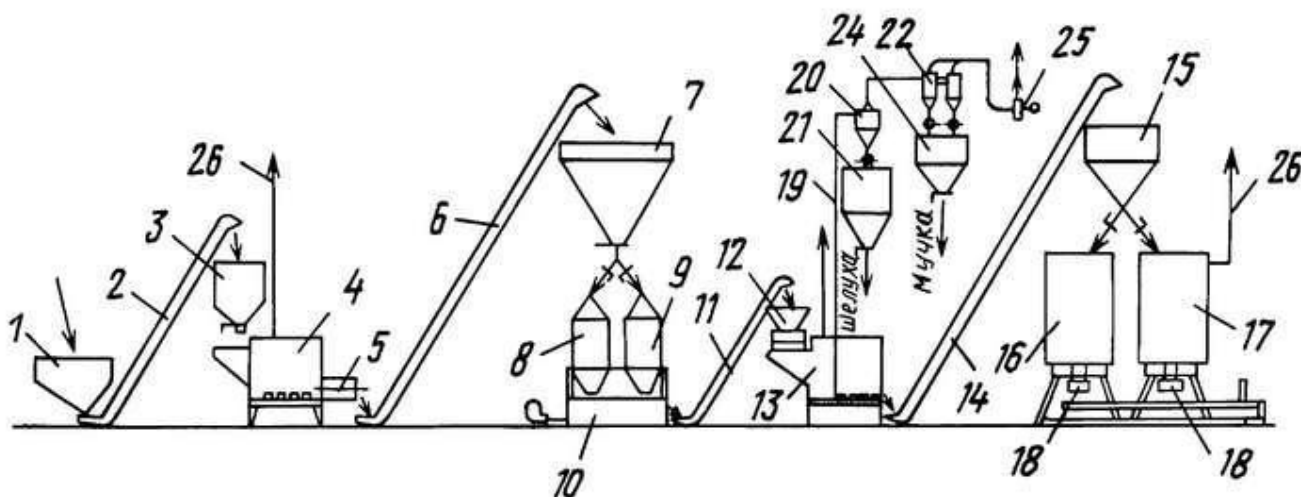
Рисунок 1.6 – Пневмогидродинамическое шелушение

1.2 Анализ технологий переработки гречихи в крупу

Переработка зерна гречки в крупу энергоемкий процесс. Недостаточно реализуются резервы увеличения выхода и улучшения качества готовой продукции, что связано не только с построением технологического процесса,

режимами обработки сырья, но и совершенством используемого технологического оборудования. Научные основы развития технологических линий пищевых производств разработал В.А. Панфилов [65, 66]. По данным [1,4,8,7,19,23,36,38,42,43,45,46,51,67,68,79] предложен способ переработки зерна гречихи в крупу, включающий очистку его от примесей, гидротермическую обработку, отволаживание и сушку зерна, шелушение, отделение крупы, отличающийся тем, что переработку зерна ведут без деления на фракции и после гидротермической обработки при отволаживании зерно подсушивают до влажности 15-18%, а шелушение ведут центробежным шелушителем при скорости соударения зерна о неподвижную преграду 55-58 м/с и после выделения из промпродукта крупы производят ее досушивание до влажности хранения 13%.

Этот способ позволяет получить качественную переработку гречихи в зерно. Другой способ выработки гречневой крупы включает очистку и шелушение несортированного по размерам на фракции зерна (рисунок 1.7) [68]. Шелушенные зерна от нешелушенных отделяются на ячеистых сортировочных столах после предварительного удаления оболочек, мучки и дробления.



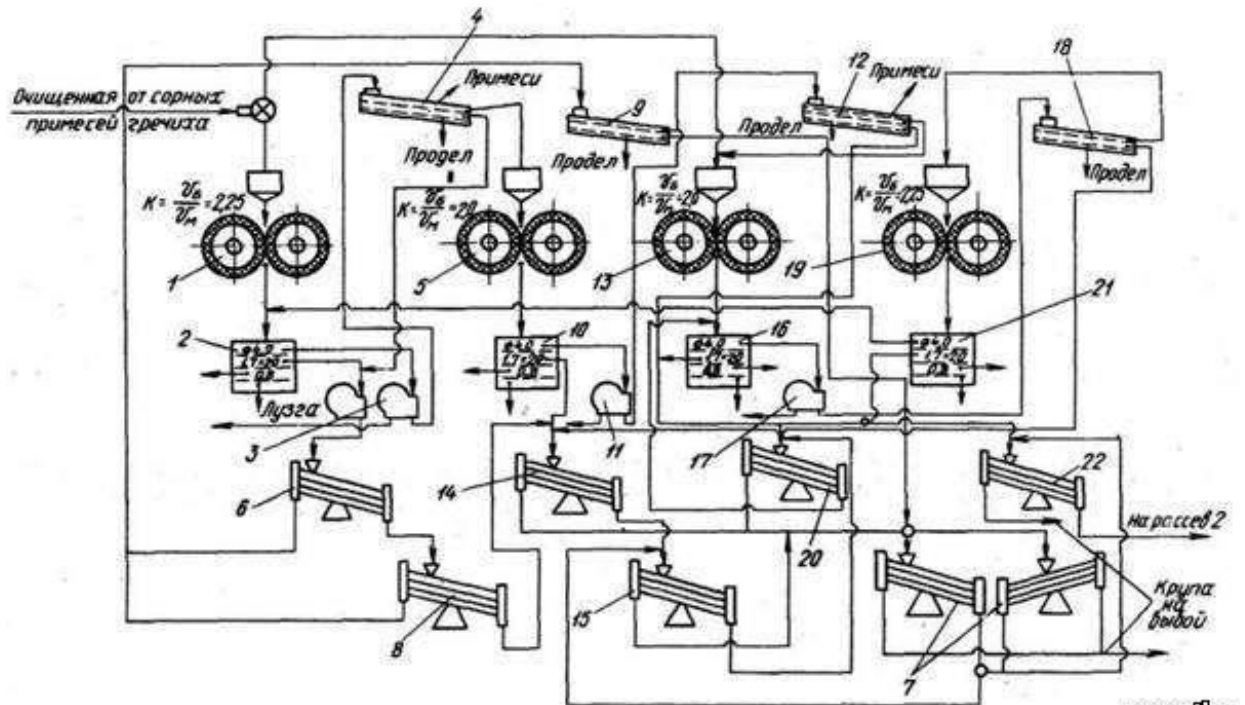
1 – приемный бункер; 2, 6, 11 и 14 – транспортеры; 3, 7, 12, 15, 21 и 24 – бункеры; 4 и 13 – семяочистительные машины; 5 – триер; 8 и 9 – агрегаты пропаривания гречихи; 10 – отволаживатель; 16 и 17 – вертикальные сушилки; 18 – фасовочная установка крупы; 19 – материалопровод; 20 – циклон разгрузитель; 22 – батарейный циклон; 25 – вентилятор; 26 – трубопровод с оборудованием пылеотделения

Рисунок 1.7 – Процесс переработки зерна гречки в крупу

Для улучшения качества и сортности крупы, а также увеличения ее выхода, несортированное по размерам зерно последовательно четырехкратно шелушат на обрезиненных валках. Затем на последующие машины после шелушения подают верхние сходы, полученные после сортирования зерна, а крупу извлекают последовательно в несколько этапов, сортируя обогащенную смесь на крупотделительных машинах. Далее верхний сход, полученный после сортирования, направляют на контроль, а нижний сход последнего этапа крупотделения – в первую зону сортирования. Кратность шелушения и соответственно число этапов крупотделения равны четырем.

Технологическая схема производства гречневой крупы представлена на рисунке 1.8.

Зерно (гречиха) поступает на 1-ю систему шелушения, включающую машины с обрезиненными валками типа ЗРД. Далее продукты шелушения направляются на рассев 2. С сит с отверстиями диаметром 4 мм рассева 2 после просеивания на аспираторе 3 продукт направляют на сортировочную машину 4 с возвратно-поступательным движением сит для отделения посторонних примесей и дополнительного выделения шелушенного зерна. С сит с отверстиями диаметром 4 мм сортировочной машины 4 продукт поступает на 2-ю систему шелушения 5. Сход с сит с отверстиями размером $1,7 \times 20$ мм рассева 2 и сортировочной машины 4, обогащенный продуктами шелушения (содержание ядра 90...95 %), полученными после сита с отверстиями диаметром 4 мм, направляется на крупотделительные машины 6 с ячеистыми столами (I этап отделения ядрицы), колеблющимися с частотой не более $3,3 \text{ с}^{-1}$. Выделенная ядрица направляется на контрольные крупотделительные машины 7, а продукт, получаемый нижним сходом с крупотделительных машин 6, направляется на крупотделительные машины 8 (II этап отделения ядрицы). Верхний сход крупотделительных машин 6 и 8 идет для дополнительного контроля на сортировочную машину 9, откуда сход с сита с отверстиями размером $1,7 \times 20$ мм поступает на контрольные крупотделительные машины 7.



1, 5, 13, 19 – соответственно 1-, 2-, 3-, 4-я системы шелушения; 2, 10, 16, 21 – рассевы; 3, 11, 17 – аспираторы с замкнутым циклом воздуха; 4, 12, 18 – сортировочные машины; 6, 7, 8, 14, 15, 20, 22 – крупоотделительные машины

Рисунок 1.8 – Технологическая схема производства гречневой крупы

Продукты направляются на рассев 10 после 2-й системы шелушения 5. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм рассева 10 после провеивания на аспираторе 11 и просеивания на сортировочной машине 12 поступает на 3-ю систему шелушения 13. Продукт, идущий сходом с сит с отверстиями размером $1,7 \times 20$ мм рассева 10, направляется на крупоотделительные машины 14. После крупоотделения продукт верхнего схода (ядрица) поступает на контрольные системы крупоотделительных машин 7, а нижние схода – на крупоотделительные машины 15. Продукты поступают на рассев 16 после 3-й системы шелушения 13. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм рассева 16 после провеивания на аспираторе с замкнутым циклом воздуха 17 и просеивания на сортировочной машине 18 поступает на 4-ю систему шелушения 19. Сход с сита с отверстиями размером $1,7 \times 20$ мм рассева 16 вместе с продуктом, поступающим от сортировочной машины 12, направляется на крупоотделительные машины 20 (III этап крупоотделения). После

крупноотделения продукт верхнего схода (ядрица) поступает на контрольные крупноотделительные машины 7, а нижние схода – на крупноотделительные машины 15 либо 22. Продукты шелушения машины 19 направляются на рассев 21. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм рассева 21 возвращается на рассев 2. Сход с сита с отверстиями размером 1,7×2,0 мм рассева 21 поступает на крупноотделительные машины 22. После крупноотделительных машин 22 продукт верхнего схода (ядрица) направляется на выбой, а нижнего схода – на рассев 2. Лузга, отвеиваемая на аспираторах 3, 11 и 17, направляется на контроль (на чертеже не показан). Мучка и дробленка, высеиваемые на рассевах 2, 10, 16 и 21 и сортировочных машинах 4, 9, 12 и 18, также поступают на контроль.

Так как размеры зерен гречихи колеблются в широких пределах, технологический процесс предусматривает сортирование (предварительное и окончательное) гречихи на шесть фракций с помощью рассевов или крупосортировочных машин с последующим шелушением каждой фракции гречихи отдельно на вальцедековых станках. Ядрицу выделяют также пофракционно на рассевах, что требует развитого технологического процесса. В этом заключаются основные особенности существующего технологического процесса выработки гречневой крупы.

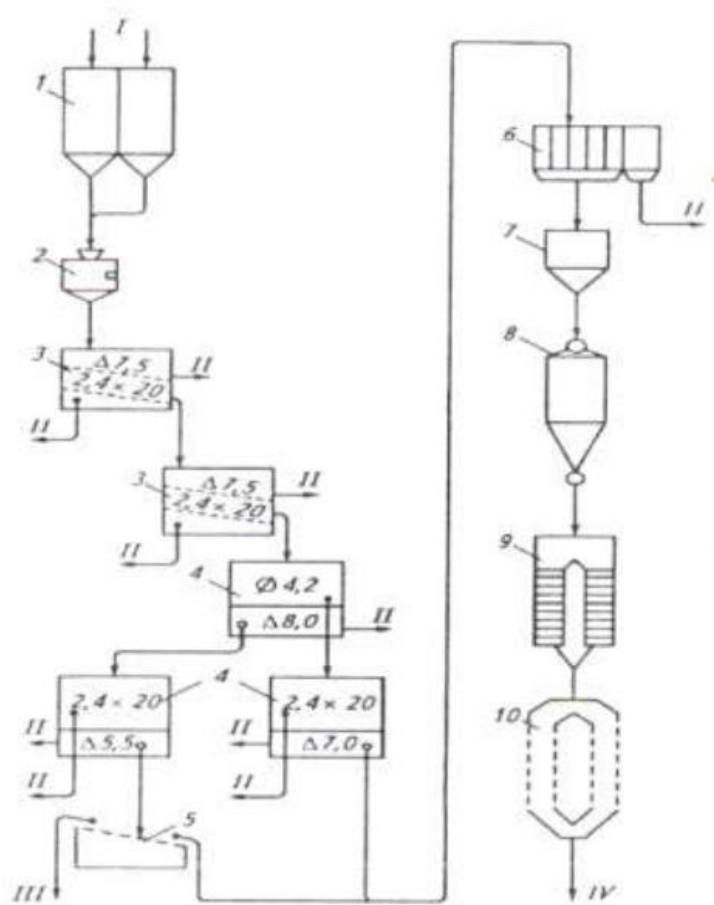
Этот способ выработки гречневой крупы позволяет значительно уменьшить внутризаводской оборот продукта, повысить производительность и эффективность технологического процесса выработки крупы.

Для подготовки зерна гречихи к переработке в крупу после очистки ее подвергают гидротермической обработке, включающей операции пропаривания, сушки, охлаждения.

Пропариватель зерна – аппарат А9-БПБ с автоматическим управлением предназначен для обработки паром гречихи, проса, овса, пшеницы, риса и др.

Переработка зерна в крупу характеризуется целым рядом технико-экономических показателей работы крупопека и, в конечном итоге, определяется выходом и качеством готовой продукции [37,61...64]. Технология

переработки зерна гречихи в крупу имеет целый ряд недостатков. Например: общий выход гречневой крупы составляет 67%, а содержание ядра составляет для базисного зерна гречихи 75%. Значит, степень использования природных ресурсов зерна очень низкая. При этом гречневая крупа – единственный зернопродукт, не имеющий ГОСТа на высший сорт. Повышение качества крупы необходимо искать более эффективные способы очистки зерна от примесей – этому может способствовать предварительная подготовка партий зерна в элеваторах, включающая очистку, выделение мелкого зерна.



1 – бункера для неочищенного зерна; 2 – автоматические весы; 3 – воздушно-ситовой сепаратор; 4 – рассев, 5 – камнеотделительная машина; 6 – триер; 7 – бункер; 8 – пропариватель; 9 – сушилка; 10 – охлаждающая колонка; I – исходное зерно; II – отходы; III – минеральная примесь; IV – очищенное зерно

Рисунок 1.9 – Схема подготовки гречихи к переработке

Значительный эффект может дать совершенствование существующих и изыскание новых способов гидротермической обработки зерна (ГТО), создание более совершенных пропаривателей непрерывного действия и менее

энергоемких, обеспечивающих более равномерную обработку зерновой массы по объему. Необходима разработка более эффективных и менее энергоемких паровых сушилок для сушки пропаренного зерна.

При разделении смеси шелушенных и нешелушенных зерен в отсевах и крупосортировках используют сита с круглыми отверстиями, диаметр которых на 0,2...0,3 мм меньше размера отверстий сита, сходом с которого получена данная фракция. При сходе с сит получается смесь нешелушенных зерен и лузги, последнюю отвеивают в аспираторе, нешелушенное зерно возвращают в шелушитель. Через сита проходом получают смесь ядрицы, лузги, продела и мучки. Продел и ядрицу разделяют на ситах размером 1,6... 1,7×20 мм, а мучку выделяют проходом сита № 08. Выделение лузги из продела производят разделением его на две фракции на сите № 1,4, каждую из которых провеивают на отдельных аспирационных колонках. Для переработки гречневой крупы установлены следующие нормы выхода продукции (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Норма выхода готовой продукции

Продукт	Выход, %		Продукт	Выход, %	
	с ГТО	без ГТО		с ГТО	без ГТО
Крупа ядрица	62,0	56,0	Отходы I и II категорий	6,5	7,0
Крупа продел	5,0	10,0	Отходы III категорий, механические потери	0,7	0,7
Итого крупы	67,0	66,0			
Мучка кормовая	3,5	6,0	Усушка	1,5	1,0
Лузга	20,8	19,3	Всего	100,0	100,0

Переработка зерна гречки в крупу энергоемка, причем недостаточно полно реализуются резервы увеличения выхода и улучшения качества готовой продукции, что в основном связано с построением технологического процесса, режимами обработки сырья и совершенством используемого технологического оборудования. Технологическое оборудование, которое необходимо разработать заново для совершенствования технологии производства крупы гречихи, ввиду того, что оборудование для шелушения зерна гречихи по

производительности, эффективности, энергоемкости и надежности не отвечают современным требованиям. Модернизация технологии производства гречневой крупы требует создания новой энергоресурсосберегающей техники для линии переработки зерна. Поиском новых путей интенсификации технологических процессов очистки и сортирования зерна занимались многие [2, 5..7, 10...13, 15, 20, 24, 25, 33, 50, 59, 85, 99, 100, 101].

От методов ведения технологического процесса производства крупы, совершенства конструкций технологического оборудования, содержанием сорной примеси и технологическими свойствами зерна зависит качество и выход готовой продукции. Это особенно актуально при переработке гречихи в крупу. Одними из основных являются структурно-механические свойства, так как они связывают структурные особенности зерна гречихи с его поведением при механическом воздействии [52, 59].

1.3 Анализ конструкций машин для шелушения зерна гречихи

Основной технологической операцией при производстве крупы является шелушение – процесс отделения пленок и оболочек (шелухи) от ядра. Для шелушения зерна используют различные машины[27]:

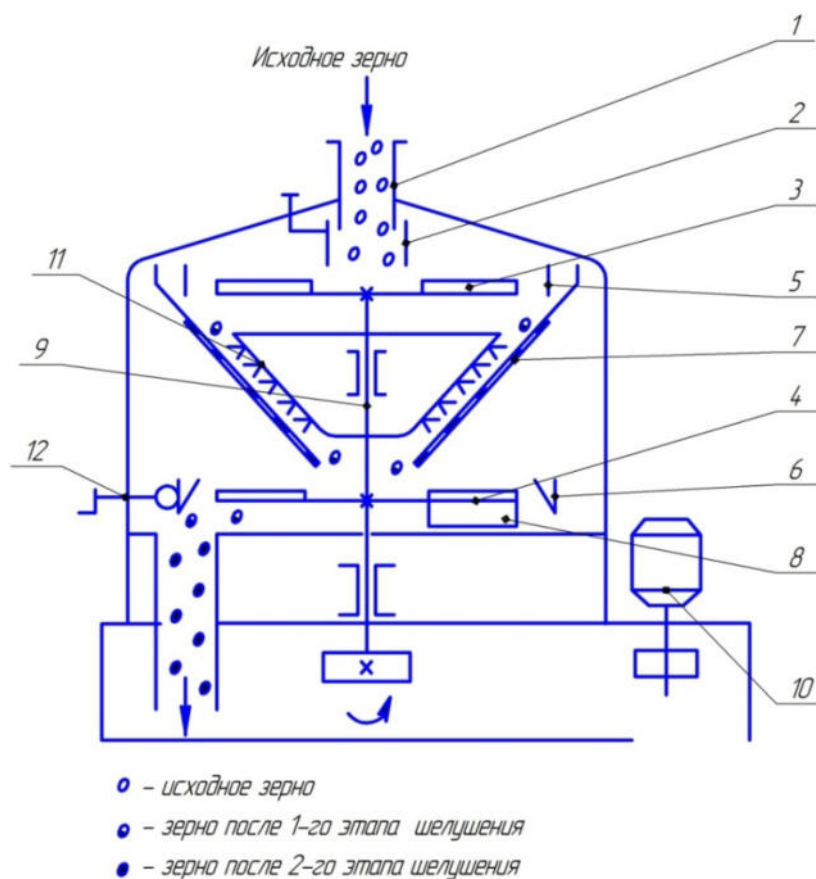
- обоечные, где действует принцип многократного удара; применяются в основном для переработки ячменя, у зерна которого цветковые пленки прочно срослись с плодовыми оболочками;
- шелушильные постава и машины интенсивного шелушения, в которых используется принцип трения зерна между подвижной и неподвижной поверхностями; используются для переработки различных культур;
- вальцедековые станки, работающие по принципу сжатия зерна и сдвига его цветковых пленок или плодовых оболочек между вращающимся вальцом и неподвижной декой; наиболее приемлемы для переработки гречихи и проса;

- шелушители с резиновыми вальцами, на которых происходит заметная деформация сдвига, обеспечивая при этом мягкий режим обработки; применяются для переработки риса.

Многие шелушильные машины оборудованы системой аспирации для отсеивания шелухи. Если же такой системы нет, то после шелушения продукт с этой целью пропускают через аспираторы и пневмосепараторы.

Для шелушения зерна применяются различные виды установок, рассмотрим некоторые из них.

Шелушитель - дезинтегратор для зерна (Патент РФ 2264260) работает следующим образом: исходное зерно поступает через питатель 2 на первый этап измельчения - на верхний вращающийся ротор 3, отбрасывается центробежной силой и, ударяясь о деку 5, разрушается, частично расплющиваясь в хлопьеобразные сrostки анатомических частей зерновки (рисунок 1.10). Шелушенный и частично измельченный продукт падает вниз и попадает на конусную перфорированную поверхность сборника 7, выполненную из штампованного сита с отверстиями, проход которых соответствует требуемой крупности измельченного продукта. Ходовая часть, содержащая расплющенные частицы, сrostки анатомических частей зерновки, подвергается интенсивному воздействию вращающихся щеток 11, разбивающих их. Дезинтегрированная таким образом масса зерна направляется сборником в центр нижнего ротора 4, где происходит ее измельчение путем разбрасывания центробежной силой и удара о коническую деку 6 нижнего диска 4 [74].

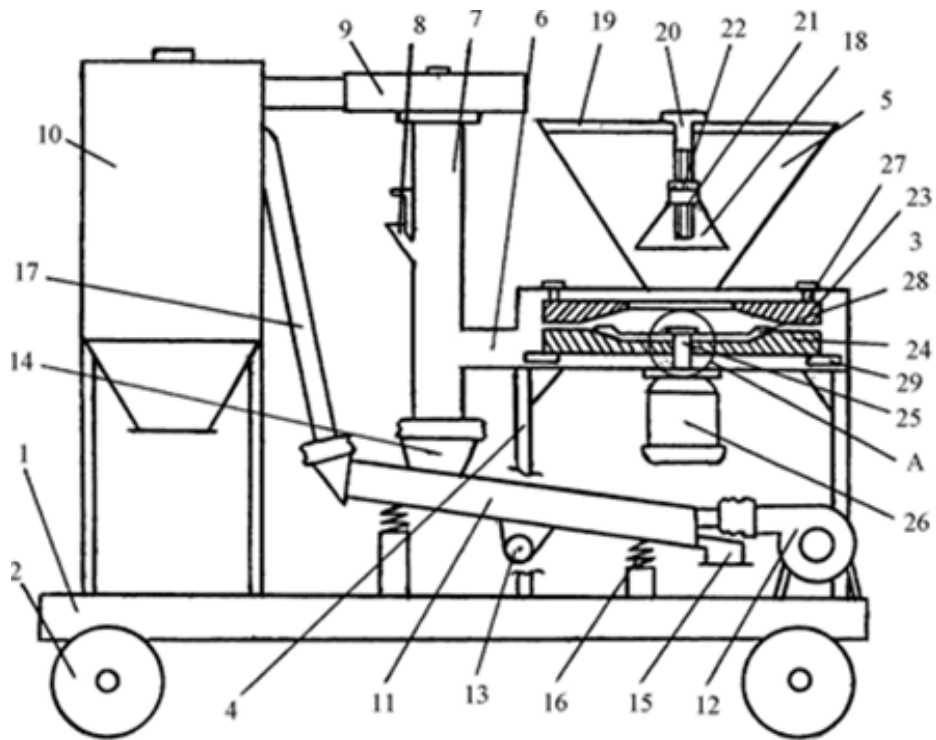


1 – неподвижный корпус; 2 – центральный питатель; 3, 4 – два вращающихся дисковых ротора - верхний и нижний; 5, 6 – отражательные деки - верхняя цилиндрическая и нижняя коническая; 7 – перфорированный сборник; 8 – скребок; 9 – вал; 10 – электродвигатель; 11 – щеточный механизм; 12 – регулировочный механизм

Рисунок 1.10 – Установка шелушитель - дезинтегратор для зерна (Патент РФ 2264260)

Установка для шелушения зерна (по патенту РФ 2445167) работает следующим образом (рисунок 1.11). Зерно шелушится между рифлями дисков 23 и 24 и выводится лопатками 29 в сепарационную камеру, где происходит разделение материала на фракции: пылевидная и оболочки как более легкие воздухом поднимаются вверх, проходят через вентилятор 9 всасывающего принципа действия и осаждаются в циклоне 10, а крупа, содержащая остатки оболочек и пленок, поступает в пневмовибросепаратор 11 для окончательной очистки. Здесь материал также разделяется на фракции: отходы воздухом,

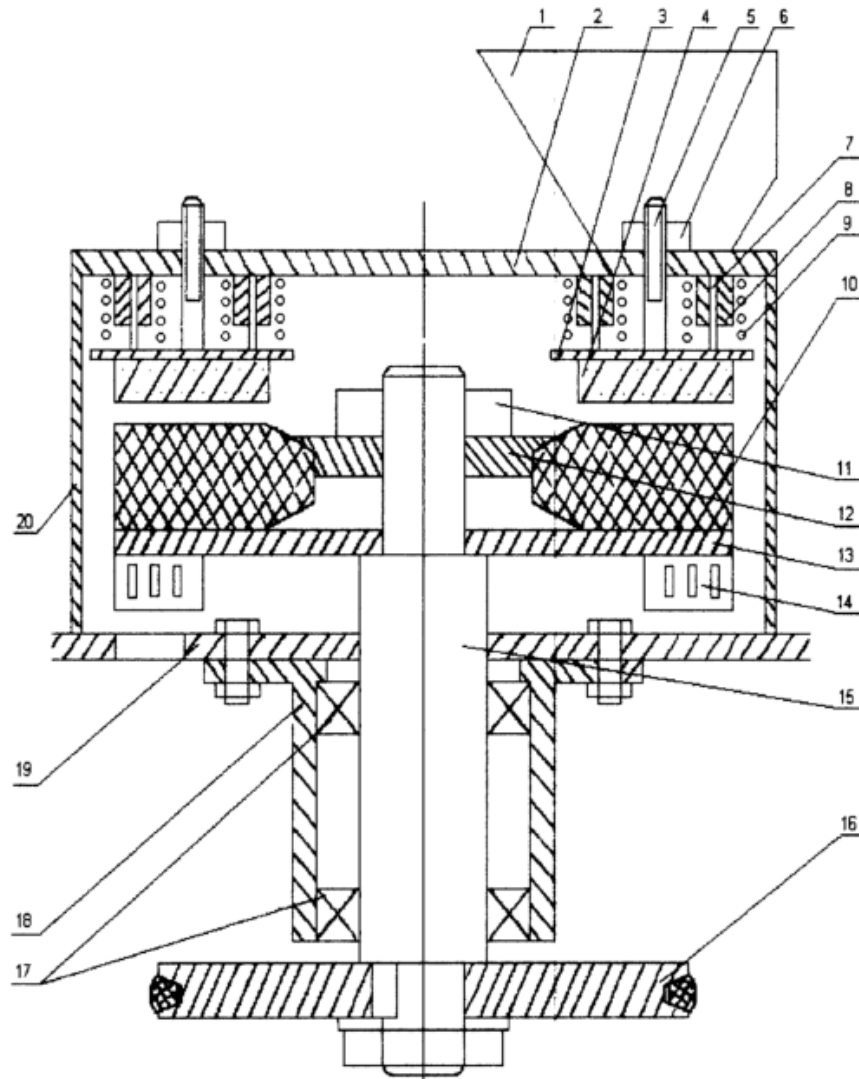
нагнетаемым вентилятором 12, транспортируются через пневмопровод 17 в циклон 10, а готовый продукт под действием сил вибрации перемещается вниз и выводится из патрубка 15 наружу [80].



1 – рама; 2 – колеса; 3 – двухдисковый шелушитель; 4 – станина; 5 – загрузочный бункер; 6, 7 – сепарационные камеры горизонтальные и вертикальные; 8 – окно; 9 – вентилятор; 10 – циклон; 11 – пневмовибросепаратор; 12 – вентилятор; 13 – вибратор; 14, 15 – приемные и выгрузные патрубки; 16 – пружины; 17 – пневмопривод; 18 – конусная заслонка; 19 – ребра; 20 – винт; 21 – гайка; 22 – контргайки; 23 – неподвижный орган; 24 – нижний вращающийся орган; 25 – вал; 26 – электродвигатель; 27 – пружинно - резьбовой механизм; 28, 29 – разгонные и транспортирующие лопатки

Рисунок 1.11 – Установка для шелушения зерна (патент РФ 2445167)

Установка для шелушения зернопродуктов (Патент РФ 2251454) работает следующим образом зернопродукт, подлежащий шелушению, поступает из бункера (1) через выпускное окно, имеющее шибер-дозатор, в зону рабочего зазора между поверхностями верхнего рабочего органа (4) деки и нижнего рабочего органа (10) (рисунок 1.12).



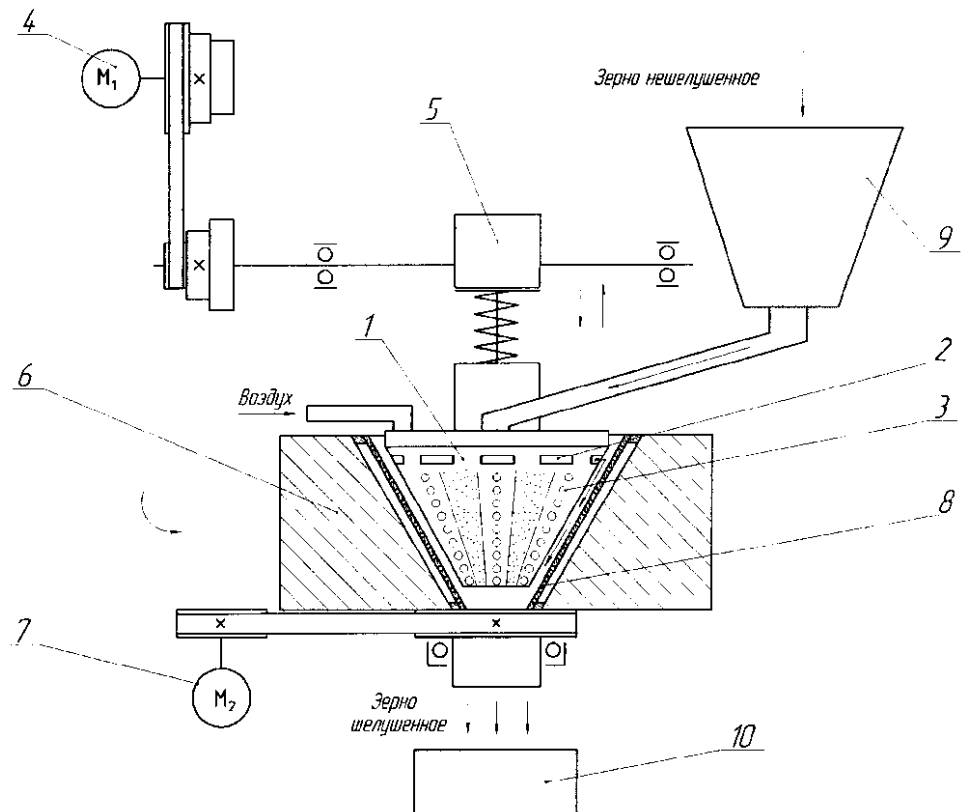
1 – бункер; 2 – крышка корпуса; 3 – опорные пластины; 4 – сменные рабочие элементы; 5 – шток вертикального перемещения; 6 – регулировочная гайка; 7 – направляющие; 8 – втулки; 9 – возвратно-компенсирующие пружины; 10 – абразивный круг; 11 – гайка; 12 – шайба; 13 – опорный диск; 14 – скребки; 15 – приводной вал; 16 – шкив; 17 – подшипниковые опоры; 18 – обойма; 19 – основание; 20 – цилиндрическая обечайка

Рисунок 1.12 – Установка для шелушения зернопродуктов (Патент РФ 2251454)

Под действием центробежной силы частицы зернопродукта увлекаются нижним рабочим органом (10) и перемещаются по рабочему зазору на периферию нижнего рабочего органа (10). В результате перемещения частиц зернопродукта происходит касание его оболочки о поверхность сменного рабочего органа (4) деки и нижнего вращающегося рабочего органа (10), что

приводит к разрушению оболочки и шелушению зернопродукта. Частицы зернопродукта, очищенные от оболочки, а также частицы самой оболочки, ударяясь о стенки цилиндрической обечайки (20), опускаются вниз и при помощи скребков (14) выводятся через отверстие в станине (19) из зоны шелушения. Перед эксплуатацией установки каждая рабочая зона регулируется на заданную величину рабочего зазора, определяемую технологическими требованиями. Регулирование зазора осуществляется за счет плоскопараллельного перемещения верхнего рабочего органа относительно рабочей поверхности нижнего [73].

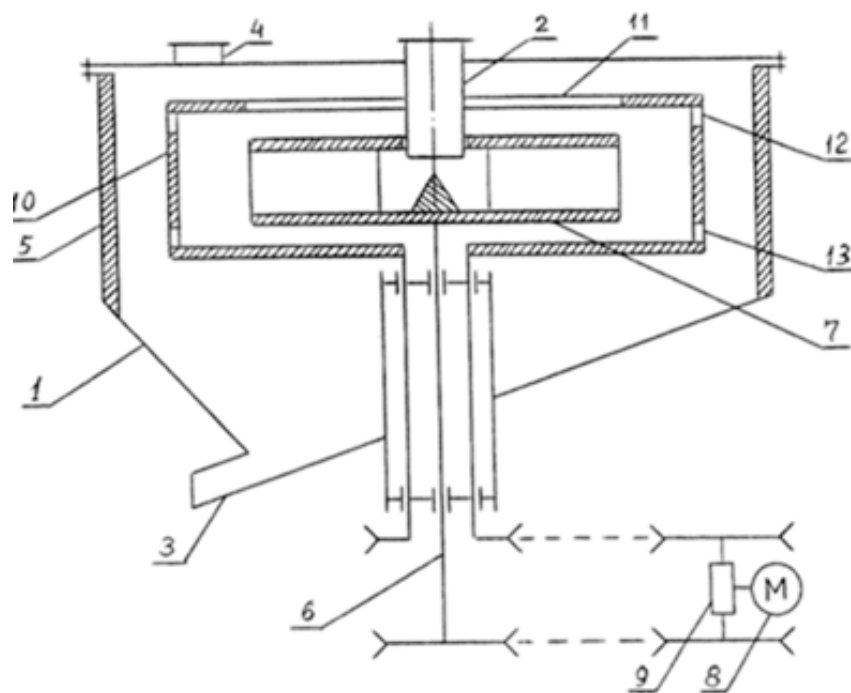
Устройство для шелушения зерна (патент РФ 2457904) работает следующим образом: зерно из бункера, перемещаясь по патрубкам, подается в верхнюю часть полого внутреннего конического элемента, из которого через окна равномерно подается в рабочую зону (рисунок 1.13). Зерна, подвергаясь ударам от возвратно-поступательного движения внутреннего конического элемента 1 и перетираясь между собой, а также участвуя во вращательном движении от наружного конического элемента 6, с прикрепленной к ней сетчатой обечайкой 8, освобождаются от оболочек. Эффективность работы и качество шелушения повышается еще и тем, что в рабочую зону шелушения подается сжатый воздух через отверстия 3. Струя воздуха, проходящая через массу шелушущего зерна, уменьшает скорость опускания зерна, что необходимо для более качественного завершения процесса шелушения [77].



1 – внутренний конический элемент; 2 – окна для подачи зерна; 3 – отверстия для подачи сжатого воздуха; 4 – электродвигатель; 5 – кулачок; 6 – наружный конический элемент; 7 – электродвигатель; 8 – сменная сетчатая обечайка; 9 – бункер; 10 – емкости

Рисунок 1.13 – Устройство для шелушения зерна (патент РФ 2457904)

Устройство для шелушения зерна (патент РФ 2446885) работает следующим образом: продукт поступает в корпус 1 через загрузочный патрубок 2, попадая на вращающийся ротор 7, где продукт разгоняется посредством лопастей, и выходит из ротора, после отрыва частицы сталкиваются с вращающейся декой 10, шелушатся на поверхности и выбрасываются в верхние 12 и нижние 13 окна на отражательную деку 5 корпуса 1, где выводятся через разгрузочный патрубок 3. (рисунок 1.14). Зерно в деке 10 перемещается по зерну, что способствует улучшению его очистки и уменьшению износа деки, а также уменьшению скорости зерна при попадании его на дополнительную деку 5, при встрече с которой зерно дополнительно очищается, при этом уменьшается износ деки [76].

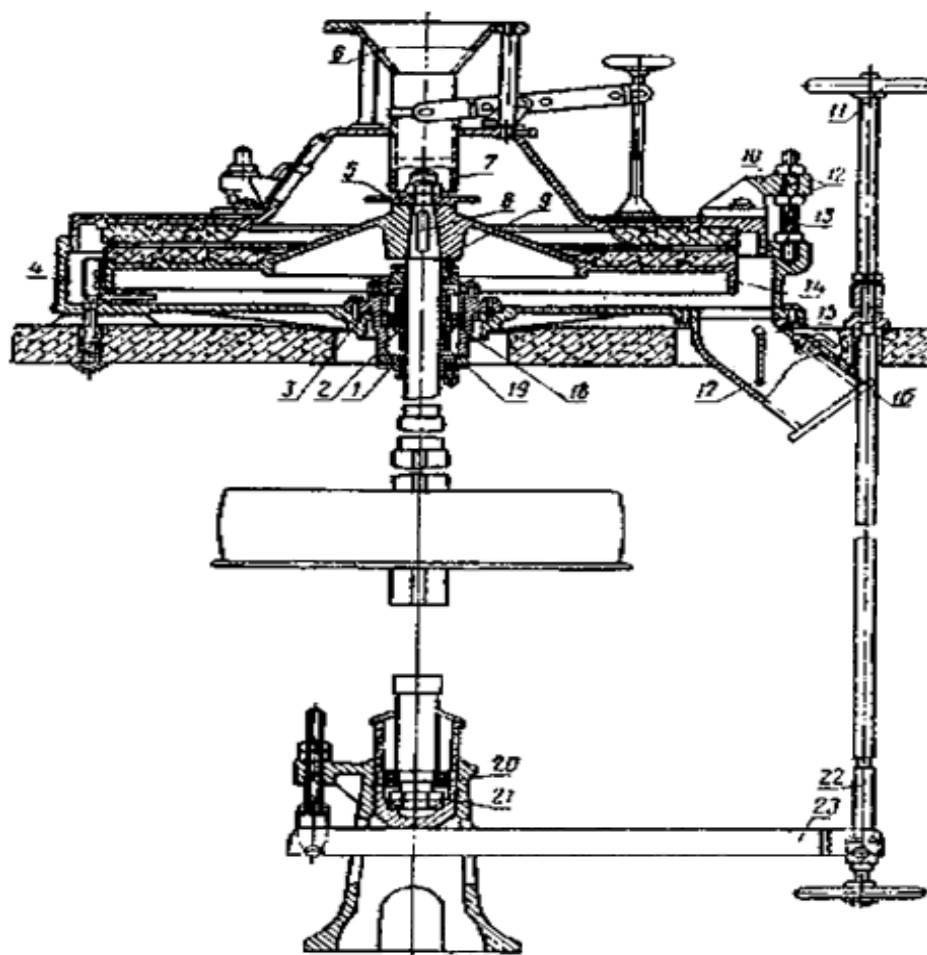


1 – корпус; 2, 3, 4 – загрузочные, разгрузочные и аспирационные патрубки; 5 – дека; 6 – вал; 7 – ротор; 8 – привод; 9 – реверсивный вариатор; 10 – цилиндр деки; 11 – верхняя крышка; 12, 13 – верхние и нижние окна

Рисунок 1.14 – Устройство для шелушения зерна (патент РФ 2446885)

При изменении скорости и направления вращения деки 10 реверсивным вариатором 9 изменяются скорости встречи зерна как с декой 10, так и с дополнительной декой 5, в результате чего уменьшается дробление зерна различных культур и повышается степень его очистки. Между дополнительной декой 5 и декой 10 проходит аспирационный воздух, который уносит с собой шелуху через аспирационный патрубок 4. В устройство аспирационный воздух попадает через загрузочный и разгрузочный патрубки. Расстояние между окнами на поверхности вогнутой деки 10 минимально равно расстоянию между нижней и верхней плоскостями лопастного ротора 7, что исключает попадание зерна из ротора непосредственно в эти окна без контакта с зерном, находящимся в деке 10. Верхняя и нижняя крышки деки 10 исключают вылет зерна из вращающейся деки при его рикошетировании от находящегося в деке 10 зерна помимо окон 12 и 13.

В шелушильном поставе рабочими органами являются два чугунных диска-жернова, нижний (вращающийся) и верхний (неподвижный), покрытые абразивной массой (рисунок 1.15). Зерно поступает в рабочее пространство между жерновами, где и происходит шелушение. Регулировка интенсивности шелушения осуществляется изменением расстояния между жерновами.

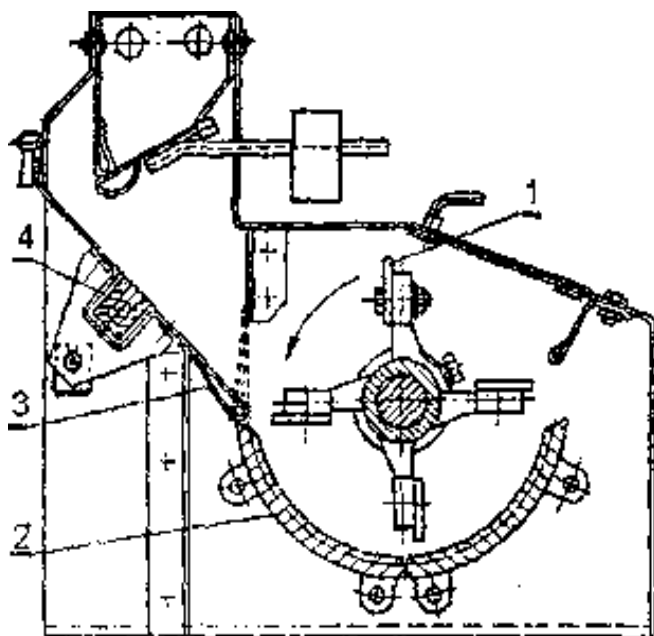


1 – крышка; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – гонок; 5 – тарелка; 6 – конусная воронка; 7 – патрубок; 8, 19 – шпонки; 9 – вал; 10 – кронштейн; 11 – маховик; 12 – гайки; 13 – винт; 14 – жернов; 15 – выпускной патрубок; 16 – люк; 17 – клапан; 18, 20 – подшипники; 21 – подпятник; 22 – винтовой механизм; 23 – рычаг

Рисунок 1.15 – Шелушильный постав

На рисунке 1.16 показана схема устройства машины со стальными бичами и декой, выпускаемой фирмой «Бюлер». Ее применяют для удаления остей с зерен овса и риса.

Основными рабочими органами являются быстровращающиеся стальные бичи 1 и стальная дека 2 с шероховатой поверхностью. Металломагнитные примеси задерживаются магнитом 4. Устанавливая клапан 3 в вертикальное положение, можно снять примеси с полюсов магнитов.



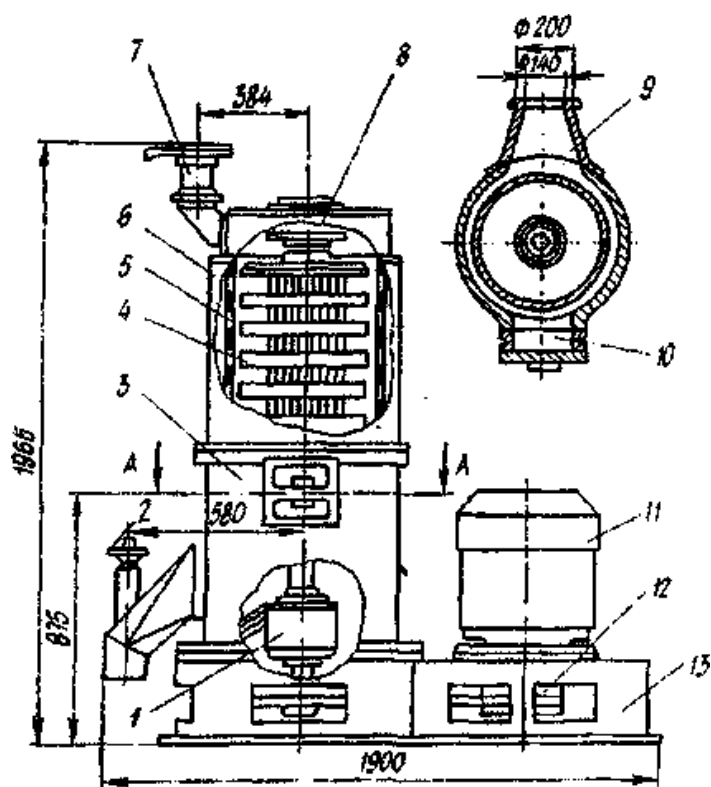
1 – бич; 2 – дека; 3 – клапан; 4 – магнит

Рисунок 1.16 – Схема устройства машины со стальными бичами и декой

Рассмотрим работу машины шелушильно-шлифовального типа А1-3ШН-3 (рисунок 1.17). Исходное сырье (зерно), подлежащее обработке, через приемный патрубок 7 поступает в рабочую полость между вращающимися абразивными кругами 4 и неподвижным перфорированным цилиндром, где оболочки отделяются, основная масса их удаляется через отверстия перфорированного цилиндра и кольцевую камеру за пределы машины.

Воздух, необходимый для транспортирования отделенных оболочек, частично засасывается в пустотелый вертикальный вал и, проходя через имеющиеся отверстия и аспирационные обечайки, пронизывает массу зерна. Затем через отверстия перфорированного цилиндра попадает в кольцевую камеру с двумя рассекателями, выправляющими воздушный поток, и вместе с

оболочками направляется в аспирационную систему.



1 – опора нижняя; 2 – патрубок выпускной; 3 – корпус; 4 – вал с абразивными кругами; 5 – цилиндр ситовой; 6 – корпус рабочей камеры; 7 – патрубок приемный; 8 – опора верхняя; 9 – патрубок для выхода мучки; 10 – патрубок для дополнительного подсоса воздуха; 11 – электродвигатель; 12 – клиноременная передача; 13 – рама

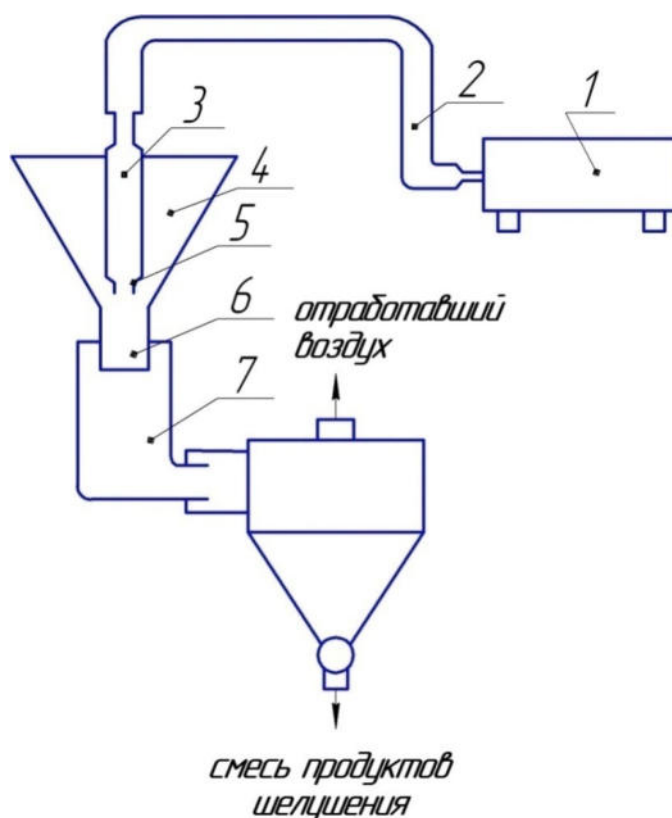
Рисунок 1.17 – Шелушительно-шлифовальная машина А1-ЗШН-З

Рассмотрим работу машины аэродинамического шелушения (рисунок 1.18).

Физическая сущность процесса шелушения в установке представляется следующим образом. Струя воздушного потока, движущаяся с критической (звуковой) или сверхзвуковой скоростью, увлекает непрерывно поступающее в конусный бункер зерно и транспортирует его в трубку смешения 6. Здесь зерно испытывает в результате трения о стенки трубки тормозящее действие. Под влиянием комплекса факторов (перепада давления, трения, сил инерции) нарушается целостность оболочки зерна. Благодаря разности скоростей зерновки и струи воздушного потока на поверхности оболочек возникают

тангенциальные (касательные) силы, которые разрушают связи как между наружными покровами зерновки, так и ядром. В результате этого зерно шелушится.

Смесь шелушенных и нешелушенных зерен вместе с потоком воздуха, вылетая из трубки смешения, поступает через отводящую резиновую трубку в центробежный разгрузитель.

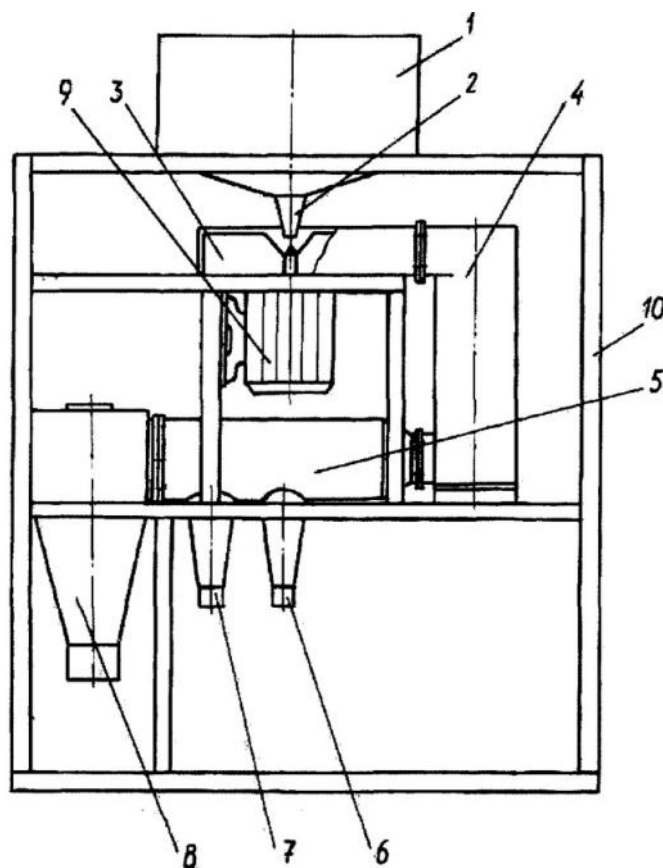


1 – компрессор с ресивером; 2 – воздухопровод; 3 – трубка; 4 – конусный бункер; 5 – сопло; 6 – трубка смешения; 7 – резиновая трубка; 8 – центробежный разгрузитель

Рисунок 1.18 – Схема аэрошелушильной установки

Устройство для пневмомеханического шелушения (рисунок 1.19) работает следующим образом: из бункера 1 зерно с помощью патрубка 2 подается на лопастной диск вентилятора 3, лопасти которого разгоняют зерно и вместе с воздушным потоком направляют (бросают) в вертикальную шелушильную камеру 4. Частота вращения лопастного диска вентилятора 1100-1500 мин⁻¹. В шелушильную камеру зерно попадает, проходя через сетчатый

рабочий орган, взаимодействие с которым ведет к шелушению. Из шелушильной камеры продукт шелушения воздушным потоком направляется в пневмосепаратор 5, где происходит его разделение на фракции. Ядрица попадает в первый отвод 6, является наиболее тяжелой, сечка - во второй отвод 7, а мучка, лузга и пыль оседают в осадителе центробежного типа 8.

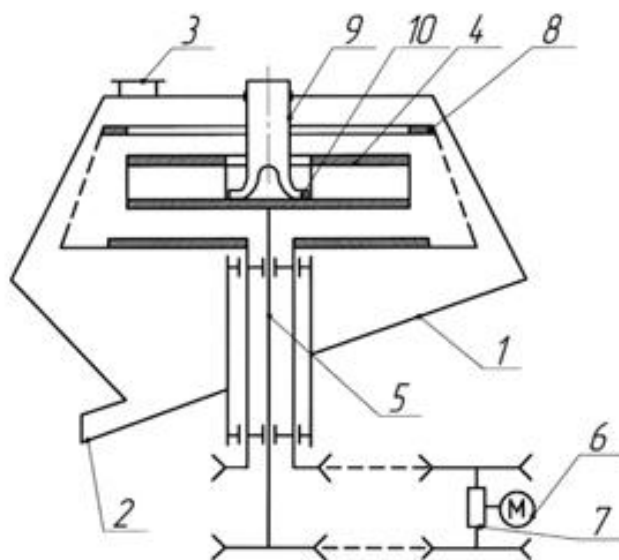


1 – питающий бункер; 2 – загрузочный патрубок; 3 – вентилятор с прямым расположением под углом лапотками; 4 – вертикальная шелушильная камера; 5 – общий воздуховод; 6, 7 – отводы от общего воздуховода; 8 – центробежный осадитель; 9 – электродвигатель; 10 – станина

Рисунок 1.19 – Схема пневмомеханической шелушильной установки

Устройство для шелушения зерна (патент РФ 181471) работает следующим образом: продукт поступает в корпус 1 через вращающийся вместе с ротором загрузочный патрубок 9 и за счет центробежных сил выходит из отводящих лопастных патрубков 10, равномерно распределяясь по лопастному

ротору 4, (рисунок 1.20). Разгоняемое лопастями ротора зерно ударяется о боковую поверхность вращающейся деки 8. Шелушение происходит за счет удара зерна о деку. Продукт шелушения выходит через выпускное окно в нижней части вращающейся деки и далее выводится из устройства через разгрузочный патрубок 2 [70].



1 – корпус; 2 – разгрузочный патрубок; 3 – аспирационный патрубок; 4 – лопастной ротор; 5 – вертикальный вал; 6 – привод, 7 – реверсивный вариатор; 8 – дека; 9 – загрузочный патрубок; 10 – лопастные патрубки

Рисунок 1.20 – Схема устройства для шелушения зерна (патент РФ 181471)

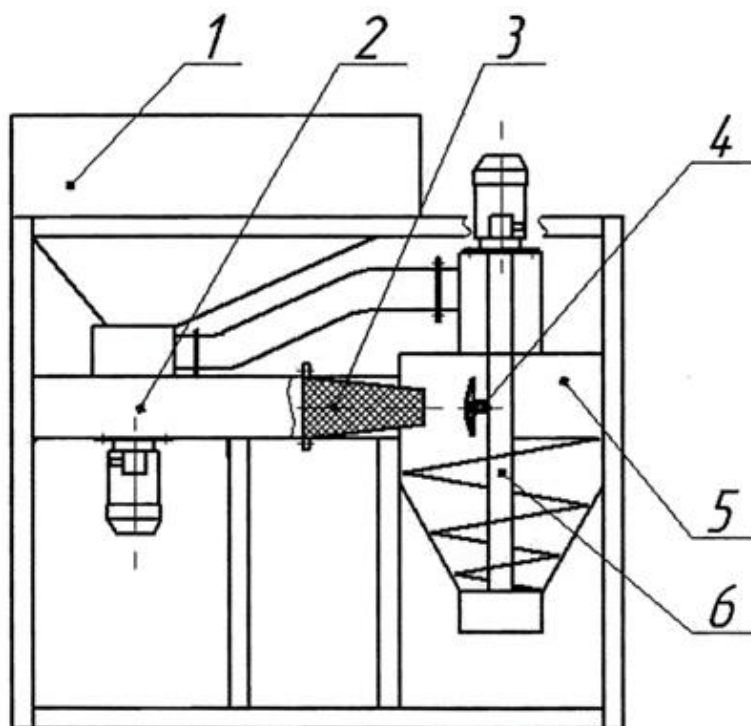
Технической задачей полезной модели является повышение эффективности шелушения. В устройстве для шелушения зерна содержится корпус с закрепленными в нем разгрузочным и аспирационным патрубками, расположенные в корпусе лопастной ротор, установленный на вертикальном валу, привод, реверсивный вариатор и дека. При этом загрузочный патрубок закреплен на лопастном роторе и выполнен в виде распределителя с отводящими патрубками с плавным изменением направления движения канала на угол 90° к лопастям ротора, количество отводящих патрубков равно количеству лопастей ротора. Такое выполнение загрузочного патрубка

позволяет обеспечить равномерное распределение по поверхности лопастного ротора всего зерна, поступающего в устройство.

Пневмомеханическое устройство для шелушения (патент РФ 2621253) работает следующим образом: (рисунок 1.21). Зерно из питающего бункера 1 подается на лопасти вентилятора 2, с которых вместе с воздушным потоком проходит через сетчатый рабочий орган 3, позволяющий интенсифицировать процесс шелушения за счет удара или удара с протаскиванием о его боковые грани, изготовленные из металлической сетки с отверстиями, диаметр которых меньше диаметра семян перерабатываемой продукции. Сетчатый рабочий орган играет роль направляющей для обеспечения ударного взаимодействия всей порции зерна с рабочей пластиной 5 со сферической поверхностью, положение которой можно изменять в горизонтальной и вертикальной плоскостях, что позволяет регулировать процесс шелушения. Входной патрубок осадителя 4 расположен по касательной к его боковой поверхности, за счет чего движение продукта внутри него приобретает центробежный характер, причем зерно движется по вращающейся винтовой поверхности, установленной в нижней части осадителя. Вращение винтовой поверхности осуществляется в сторону, обратную движению зерна, что приводит к воздействию на него дополнительных сил трения. Это позволяет «дошелушить» ту часть зерна, оболочка которой была нарушена или снята только частично при его ударе о рабочую пластину со сферической поверхностью [78].

Технический результат заключается в том, что в пневмомеханическое устройство для шелушения, содержащее питающий бункер с загрузочным патрубком, вентилятор с лопастями, сетчатый рабочий орган в виде усеченной пирамиды, осадитель с установленной внутри рабочей пластиной со сферической поверхностью, снабжено вращающейся винтовой поверхностью, установленной в нижней части осадителя. Диаметр винтовой поверхности меньше диаметра осадителя на 5...10 мм, шаг винтовой поверхности - 100...200 мм, а частота вращения - 50...100 мин⁻¹. Взаимодействуя с вращающейся винтовой поверхностью, зерно получает дополнительное воздействие сил

трения, что позволяет полностью снять с него плодовую оболочку, целостность которой была нарушена при ударе о рабочую пластину со сферической поверхностью. Интенсивность воздействия винтовой поверхности за зерно можно регулировать путем изменения ее шага и частоты вращения.

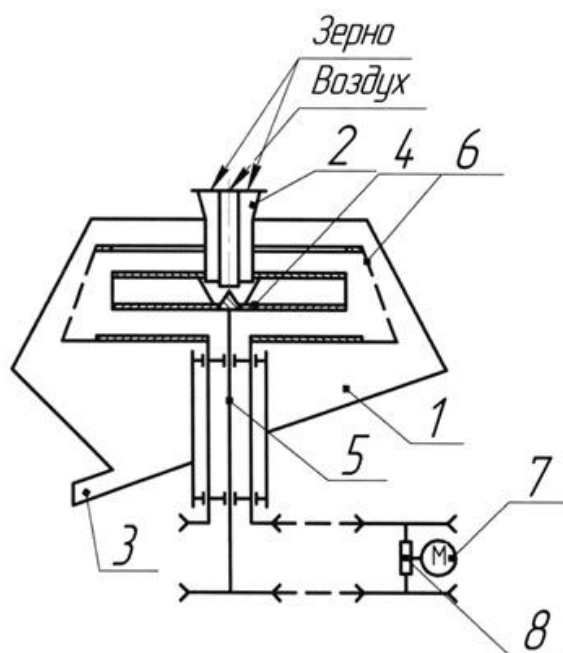


1 – питающий бункер; 2 – вентилятор с лопастями; 3 – сетчатый рабочий орган; 4 – осадитель; 5 – рабочая пластина со сферической поверхностью; 6 – винтовая поверхность

Рисунок 1.21 – Пневмомеханическое устройство для шелушения (патент РФ 2621253)

Устройство для шелушения зерна (патент РФ 186223) работает следующим образом (рисунок 1.22). Через внешний патрубок подается зерно, при этом воздух беспрепятственно поступает в рабочую зону лопастного ротора через внутренний патрубок. Полученная воздушно-зерновая смесь разгоняется лопастным ротором, вылетает с него и ударяется о боковую поверхность вращающейся деки в виде усеченного конуса. Шелушения зерна осуществляется за счет удара зерна о деку и взаимодействие между собой в воздушно-зерновой смеси. Продукты шелушения выводятся из устройства

через разгрузочный патрубок. Дополнительный воздушный поток, поступающий через внутренний патрубок способствует интенсивному перемещению воздушно-зерновой смеси в устройстве, выводу из него продуктов шелушения и используется для дальнейшего их разделения на фракции [71].



1 – корпус; 2 – приемное устройство; 3 – разгрузочным патрубком; 4 – лопастной ротор; 5 – вертикальный вал; 6 – боковая поверхность вращающейся деки; 7 – привод; 8 – реверсивный вариатор

Рисунок 1.22 – Устройство для шелушения зерна (патент РФ 186223)

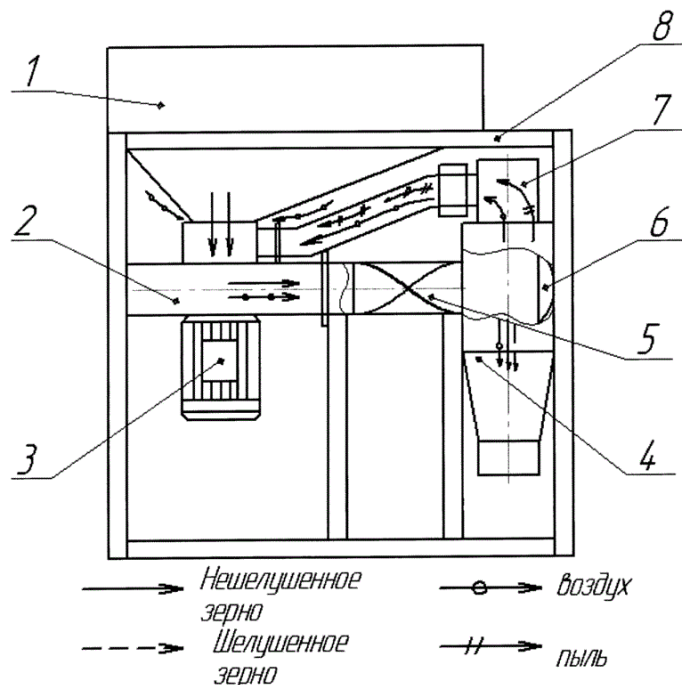
Технический результат достигается тем, что в устройстве для шелушения зерна, содержащем корпус с закрепленным в нем разгрузочным патрубком, расположенный в корпусе лопастной ротор, установленный на вертикальном валу, привод и реверсивный вариатор, боковая поверхность вращающейся деки в виде усеченного конуса, выполненная из металлической сетки, диаметры отверстий которой меньше размера эквивалентного диаметра зерна, установлено приемное устройство выполненное в виде внешнего патрубка диаметром d , с установленным в нем внутренним патрубком диаметром $d/3$ и

соединенных друг с другом перемычками. Такое исполнение конструкции дает возможность подавать в устройство для шелушения зерна перерабатываемый продукт через внешний патрубок, а воздух будет беспрепятственно поступать в устройство, в рабочую зону лопастного ротора, через внутренний патрубок.

Пневмомеханическое устройство для снятия плодовых оболочек с зерна (патент РФ 167516) работает следующим образом (рисунок 1.23). Зерно из питающего бункера подается на лопасти вентилятора, с которого вместе с воздушным потоком проходит через сетчатый рабочий орган в виде усеченной пирамиды, позволяющий интенсифицировать процесс шелушения за счет многократного удара или удара с проскальзыванием об его грани. Воздушно-зерновая смесь, выходя из сетчатого рабочего органа, рассеивается, и зерно ударяется о рабочую пластину в виде сферического сегмента с внутренней - вогнутой стороны. При этом угол удара зерна о рабочую пластину - прямой или близко к прямому, что позволяет всю энергию удара затратить на отделение плодовой оболочки от ядриц. После этого переработанный продукт осаждается в вертикальном осадителе и выводится из устройства для разделения по фракциям в семеновейках, а пыль с потоком воздуха выходят через вытяжную трубу. Перемещая вершину рабочей пластины в виде сферического сегмента по оси входного патрубка, можно регулировать интенсивность снятия плодовых оболочек [69].

Технический результат заключается в том, что в устройстве для снятия плодовых оболочек с зерна предлагается в качестве шелушильной камеры использовать осадитель, входной патрубок которого расположен перпендикулярно касательной к его боковой поверхности, также внутри него установлена рабочая пластина в виде сферического сегмента, установленного вогнутой стороной к входному патрубку осадителя. Вершина сферического сегмента находится на оси входного патрубка, диаметр основания сферического сегмента в 1,2...1,5 раза больше диаметра входного патрубка, а радиус кривизны сферической поверхности в 1,2...1,8 раз больше радиуса основания сферического сегмента. Такая форма и расположение сферического

сегмента приводит к тому, что зерно, рассеиваясь после вылета из сетчатого рабочего органа, ударяется по всей его поверхности под прямым углом, что обеспечивает полное разрушение оболочек зерна при шелушении.



1 — питающий бункер с загрузочным патрубком; 2 — вентилятор с лопастями; 3 — электродвигатель; 4 — осадитель; 5 — сетчатый рабочий орган в виде усеченной пирамиды; 6 — рабочая пластина в виде сферического сегмента; 7 — труба вытяжная; 8 — рама

Рисунок 1.23 — Пневмомеханическое устройство для снятия плодовых оболочек с зерна (патент РФ 167516)

Проведенный нами анализ машин показал большое их многообразие. Однако обзор существующих шелушильных машин выявил наличие множества негативных факторов, которые влияют на процесс шелушения (производительность, выход крупы, качество шелушения и пр.) Поэтому совершенствование способов шелушения и технических средств для этого процесса является актуальной задачей.

1.4 Анализ теоретических исследований шелушения зерна

Основным рабочим органом шелушителя пневмомеханического типа является лопастной диск (ротор), функция которого заключается в разгоне подаваемого на него зерна для удара его о рабочую поверхность и последующего шелушения.

Рассмотрим некоторые теоретические исследования посвященные движению зерна по рабочим органам сельскохозяйственных машин в виде лопастных дисков, дисков без лопастей, роторов и прочее. Такие теоретические исследования проводились в большом количестве авторов [21,60,102]. Однако, не смотря на это из-за постоянного обновления конструкций машин для шелушения зерна создание новых и совершенствование существующих рабочих органов, проведенные теоретические исследования оказываются не всегда достаточными для описания взаимодействия зерна с рабочими поверхностями машин.

Всегда остается актуальным проведение дополнительных теоретических исследований для построения математических моделей взаимодействия именно зерна с новыми рабочими органами в новой форме, с различным конструктивными технологическими параметрами.

В таблице 1.2 приведен анализ теоретических исследований движения зерна по лопастному диску.

Таблица 1.2 – Анализ теоретических исследований движения зерна по лопастному диску

№ п/п	Автор, литература	Вид зависимости № формулы	Характерн ые особенност и исследован ий
1	2	3	4
1	Василенко П.М. [240, 248]	Дифференциальное уравнение движения по полярной системе координат: $r'' = 2 r w^2 - 2 v_r w \sin \alpha;$ (1)	Диск без лопастей вращается

		$\frac{1}{r} \frac{d}{dt} (r^2 \dot{\varphi}) = 2 v_r w \cos \alpha, \quad (2)$ <p>Где r и φ – полярные координаты; $w = \frac{d\psi}{dt}$ – угловая скорость; v_r – относительная скорость; $2wv_r$ – ускорение Кориолиса; α – угол составляемый радиальным направлением с относительной скоростью v_r. Решение этих дифференциальных уравнений имеет вид: $r = \frac{v_0 \varphi}{w} \quad (3)$ <i>Движения частицы по диску</i> $r' r'' - r r' w^2 + r r' \dot{\varphi}^2 + r^2 \dot{\varphi} \ddot{\varphi} = -fg \sqrt{r'^2 + r^2 \dot{\varphi}^2} \quad (4)$</p>	с постоянно й угловой скоростью w около вертикальн ой оси. По диску прямолине йно от центра с постоянно й скоростью v_0 перемещае тся частица.
2	П.М. Василенко [248, 249, 250]	$\frac{d}{dt} (r'^2 - w^2 r^2) + \frac{d}{dt} (r^2 \dot{\varphi}^2) = -2fgv_r \quad (5)$ $v_r = \sqrt{r'^2 w^2 - 2fgs} \quad (6)$ $t = \frac{1}{n} \ln \left(m + ns_r + \sqrt{n} \sqrt{l + 2ms_r + ns_r^2} \right) \quad (7)$ <p>Последнее уравнение устанавливает связь между временем A и длиной дуги</p> $v_\alpha \approx v_e - v_r = rw - \sqrt{r^2 w^2 - \frac{2fg\sqrt{1+a^2}}{a}} (r - r_0) \quad (8)$	На вращающи йся с постоянно й угловой скоростью диск, поступила частица с материал о м. Частица начинает двигаться по некоторой траектории в абсолютно м движении и по некоторой траектории в относитель ном движении
3	П.М. Василенко [252, 253, 254]	<p>Дифференциальное уравнение движения частицы в направлении лопатки.</p> $m\ddot{\xi} = mrw^2 \cos \psi - fmg + fmrw^2 \sin \psi - 2fmw\dot{\xi}' \quad (9)$ $\ddot{\xi} + 2fw\dot{\xi}' - w^2 \xi = r_0 w^2 \frac{\cos(\psi_0 - \varphi)}{\cos \varphi} - fg \quad (10)$ <p>φ – угол трения</p>	Исследова лось движение частицы по горизонтал ьному

		$\xi'' + 2fw\xi' - w^2\xi = r_0w^2 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} - fg \quad (11)$ $\xi = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} - \frac{fg}{w^2} \quad (12)$ $r = \sqrt{\left\{ \left(\frac{fg}{w^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} \right) \right\} \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1} + r_0 \cos\psi_0 + r_0^2 \sin^2 \quad (13)$ <p>Скорость движения частицы в направлении лопатки определяется из уравнения</p> $\xi' \approx v_\xi \approx \left(\frac{fg}{w^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} \right) \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}) \right] \quad (14)$ $v = v_e \pm v_\xi \sin\psi_1 =$ $rw \pm \left\{ \left(\frac{fg}{w^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} \right) \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}) \right] \right\} \sin\psi_1 \quad (15)$ $\xi = r = \frac{fg}{w^2} \left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1 \right] \quad (16)$ $v = v_e = rw \quad (17)$ <p>Угловое перемещение частицы в абсолютном движении:</p> <p>Для лопатки наклоненной назад</p> $\theta = wt_1 - (\psi_0 - \psi_1) \quad (18)$ <p>Для лопатки наклоненной вперед</p> $\theta = wt_1 + (\psi_0 - \psi_1) \quad (19)$	диск с прямыми лопатками
4	П.М. Василенко [254, 255, 256]	<p>Дифференциальное уравнение движения частицы:</p> $ms'' = mrw^2 \cos\psi - fmg + fmr n^2 \sin\varphi - 2fmws_r \quad (20)$ <p>где s – пройденный по дуге лопатки путь</p> $\cos\varphi = \frac{r'}{s'} \quad (21)$ $\sin\varphi = \frac{r\varphi'}{s'} \quad (22)$ <p>φ-угловое перемещение частицы в относительном движении.</p> $s's'' = rw^2 r' - fgs' + fr^2 w^2 \varphi' - 2fws_r'^2 \quad (23)$ <p>Решение этого уравнения возможно в том случае, когда известно уравнение горизонтального сечения лопатки.</p> <p>Пример:</p> $\varphi = \varphi_0 = \text{const} \quad (24)$ $r = r_0 e^{a\varphi} \quad (25)$ <p>Где r_0 – начальное значение координата r</p> <p>φ – полярная координата</p> <p>a – постоянная, равная</p> $a = ctg\psi_0 \quad (26)$ $s' = r' \frac{\sqrt{1+a^2}}{a} \quad (27)$ $s'' = r'' \frac{\sqrt{1+a^2}}{a} \quad (28)$ $r'' + 2fwr' - \frac{a(a+f)}{1+a^2} w^2 r = -fg \frac{a}{\sqrt{1+a^2}} \quad (29)$ $r = C_1 e^{P_1 t} + C_2 e^{P_2 t} + \frac{fg\sqrt{1+a^2}}{(a+1)w^2} \quad (30)$ <p>C_1 и C_2 – произвольные постоянные</p>	Исследовалось движение частицы по горизонтальному, вращающемуся около вертикальной оси, диску с вертикальной о укрепленной к нему криволинейной формы лопаткой

		$r = \frac{(r_0 - m)}{P_1 - P_2} [P_1 e^{P_2 t} - P_2 e^{P_1 t}] + m \quad (31)$ $m = \frac{fg\sqrt{1+a^2}}{(a+1)w^2} \quad (32)$ <p>Отсюда можно получить и другие необходимые кинематические элементы движения.</p>	
5	П.М. Василенко [261, 262]	$\xi'' + p\xi' - rw^2\xi = rw^2 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} - fg \quad (33)$ <p>где $p = 2fw + k_0$</p> $\xi = \left[\frac{fg}{w^2} - r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} \right] \left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1 \right] \quad (34)$ <p>Где $\lambda_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + w^2}$</p> $\lambda_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + w^2}$ <p>Если сопротивление среды пропорционально квадрату скорости $kv^2 = k\xi'^2$</p> $\xi + 2fw\xi' + k_0\xi'^2 - w^2\xi = rw^2 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} - fg \quad (35)$ $\frac{dq}{d\xi} = \frac{w^2\xi + a}{q} - k_0q - 2fw \quad (36)$ <p>Где $a = r_0w^2 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi} - fg$</p> $\frac{dq^2}{d\xi} + k_0q^2 = w^2\xi + r_0w^2 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi}$ $q^2 = Ce^{-k_0\xi} + \frac{w^2}{k_0^2} (k_0\xi - 1) + \frac{r_0w^2 \cos(\psi_0 \pm \varphi)}{k_0 \cos\varphi}$ <p>C – произвольная постоянная</p> <p>Так как $q = \xi = \frac{d\xi}{dt}$, то окончательно получим</p> $t = \int \frac{d\xi}{\sqrt{Ce^{-k_0\xi} + \frac{w^2}{k_0^2} (k_0\xi - 1) - \frac{r_0w^2 \cos(\psi_0 \pm \varphi)}{k_0 \cos\varphi}}}$	Исследовалось движение частицы по горизонтальному вращающемуся диску с прямыми лопатками при учете сопротивления среды
6	П.М. Василенко [262, 263]	$\xi'' + p\xi' - w^2\xi = A \sin wt + B \cos wt + r_0w^2D \quad (37)$ <p>Где $p = 2fw + k_0$</p> $\xi = a_2 e^{\lambda_1 t} + b_2^{\lambda_2 t} - c_2 \sin wt - d_2 \cos wt - l \quad (38)$ $\lambda_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + w^2}$ $\lambda_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + w^2}$ $\xi'' + 2fw\xi' + k\xi'^2 - w^2\xi = A \sin wt + B \cos wt + r_0w^2D \quad (39)$	Исследовалось движение частицы по плоскости, вращающейся около горизонтальной оси, при учете сопротивления среды
7	Нуруллин Э.Г. [54, 55]	$X = ae^{k_1 t} + be^{k_2 t} - c \sin wt - d \cos wt - 1 \quad (40)$ <p>Где $a = C_1$; $b = C_2$</p>	Закон движения зерна по

		$c = \frac{A-fB}{2w^2(1+f^2)}; \quad d = \frac{fA+B}{2w^2(1+f^2)}; \quad l = r_0 D$ $l_{\text{л}} = 0,4r_0(e^{0,01d} - 1) - \frac{3(\sin\alpha + \cos\alpha)}{w^2} \quad (41)$	поверхности лопаток
8	Капустин А.Н. [122, 123]	$w^2 r_i \cos\psi_i > fg + f(2wv_i - w^2 r_i \sin\psi_i) \quad (42)$ <p>Абсолютная скорость гранулы в момент ее схода с лопасти при радиальном расположении лопастей составляет</p> $v_a = \sqrt{v_e^2} + v_r^2$ <p>Расчет дальности полета x осуществляется по формуле</p> $x = v_a \sqrt{2H/g} \approx wr \sqrt{2H/g} \quad (43)$	Исследование скольжения гранулы вдоль лопасти
9	Ярум А.И. [58, 59, 60]	<p>Нормальная составляющая центробежной силы и Кориолисова сила прижимают зерно к лопасти и определяют сопротивление перемещению зерна по лопасти.</p> $F_f = (F_{\text{цбп}} + F_K)f \quad (45)$ $F_f = (mw^2 r \sin\alpha + m2wV_{\text{отн}})f = mwf(wr \sin\alpha + 2V_{\text{отн}}) \quad (44)$ <p>Тогда сила, обеспечивающая движения зерна по лопасти с ускорением, определится:</p> $F_a = F_{\text{цбп}} - F_f = mw^2 r \cos\alpha - mwf(wr \sin\alpha + 2V_{\text{отн}}) = m(w^2 r (\cos\alpha - f \sin\alpha) - 2wfV_{\text{отн}}) \quad (45)$ <p>Ускорение зерна при движении лопасти</p> $a_{\text{л}} = \frac{F_a}{m} = w^2 r (\cos\alpha - f \sin\alpha) - 2wfV_{\text{отн}} \quad (46)$ <p>Из уравнения следует, что при постоянной угловой скорости и равном нулю коэффициенте трения ускорение пропорционально радиусу вращения зерна. В связи с этим в дальнейшем примем допущение, что движение зерна по лопасти будет равноускоренным со средним ускорением, равным</p> $a_{\text{л ср}} = \frac{a_{\text{л мин}} + a_{\text{л макс}}}{2} \quad (47)$ $a_{\text{л ср}} = 0,5w^2 r_{\text{макс}} (\cos\alpha - f \sin\alpha) - fwV_{\text{отн}} \quad (48)$ $V_{\text{отн}}^2 = 2r_{\text{макс}} a_{\text{л ср}} \quad (49)$ <p>Подставим в него значение ускорения из (46)</p> $V_{\text{отн}}^2 = 2r_{\text{макс}} (0,5w^2 r_{\text{макс}} (\cos\alpha - f \sin\alpha) - fwV_{\text{отн}}) \quad (50)$ <p>Преобразуем уравнение 50</p> $V_{\text{отн}}^2 = w^2 r_{\text{макс}}^2 (\cos\alpha - f \sin\alpha) - 2r_{\text{макс}} fwV_{\text{отн}} \quad (51)$ $V_{\text{отн}} = \frac{-2r_{\text{макс}}fw + \sqrt{4r_{\text{макс}}^2 f^2 w^2 + 4r_{\text{макс}}^2 w^2 (\cos\alpha - f \sin\alpha)}}{2} \quad (52)$	Исследование движения зерна по лопасти диска

В таблице 1.2 использованы следующие основные условные обозначения:

$l_{\text{л}}$ - длина лопатки, мм;

r_0 - радиус подающего патрубка, град;

α - угол подачи материала, град;

ω - угловая скорость вращения лопастного колеса, рад/с ;

r_i - расстояние гранул от оси вращения диска;

v_i - относительная скорость скольжения гранулы вдоль лопасти;

f - коэффициент трения зерна о поверхность лопасти;

ψ_i - угол отклонения лопасти от радиуса;

r и φ - полярные координаты;

v_r - относительная скорость;

$2\omega v_r$ - ускорение Кориолиса;

φ - полярная координата;

a - постоянная, равная;

s - пройденный по дуге лопатки путь;

φ - угловое перемещение частицы в относительном движении;

G - ускорение силы тяжести;

mg - силы веса;

$mr\omega^2$ - центробежной силы;

fmg - силы трения частицы по поверхности диска;

$2m\omega\xi'$ - силы Кориолиса;

ξ' - скорость относительного движения частицы;

$2fm\omega\xi'$ - силы трения частицы по поверхности лопатки;

r_0 - расстояние начала лопатки от центра диска;

ψ_0 - начальное значение угла ψ ;

$r_{\text{макс}}$ - максимальная длина ротора.

Анализ работ, представленных в таблице, показывает, что основные расчетные зависимости движения зерна по рабочим органам в виде лопастного диска, диска без лопастей, и другим были проведены достаточно подробно.

Однако, в этих расчетах не всегда учитывались реальные движения воздушных потоков, коэффициент восстановления перерабатываемого продукта (зерна) и другие факторы.

1.5 Анализ исследований по определению коэффициента восстановления зерна

Значение ударного импульса, появляющегося при соударении двух тел, зависит не только от их масс и скоростей до удара, но и от упругих свойств соударяющихся тел; эти свойства при ударе характеризуют величиной, называемой коэффициентом восстановления.

Рассмотрим шар, падающий вертикально на неподвижную горизонтальную жесткую плиту (рисунок 1.26).

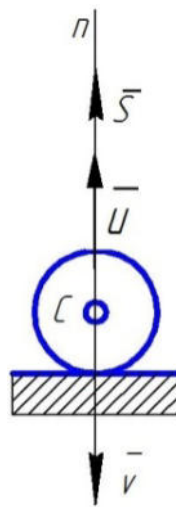


Рисунок 1.24 – Шар падающий вертикально на неподвижную горизонтальную жесткую плиту

Для прямого удара, который при этом произойдет, можно различать две стадии. В течение первой стадии скорости частиц шара, равные в момент начала удара v (движение шара считаем поступательным), убывают до нуля.

Шар при этом деформируется и вся его начальная кинетическая энергия $mv^2/2$ переходит во внутреннюю потенциальную энергию деформированного тела. Во второй стадии удара шар под действием внутренних сил (сил упругости) начинает восстанавливать свою форму; при этом его внутренняя потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию движения частиц шара. В конце удара скорости частиц будут равны u , а кинетическая энергия шара $mu^2/2$. Однако полностью механическая энергия шара при этом не восстанавливается, так как часть ее уходит на сообщение шару остаточных деформаций и его нагревание. Поэтому скорость u будет меньше v .

Величина k , равная при прямом ударе тела о неподвижную преграду отношению модуля скорости тела в конце удара к модулю скорости в начале удара, называется коэффициентом восстановления при ударе:

$$k = u/v \quad (1.1)$$

Значение коэффициента восстановления для разных тел определяется опытным путем. По данным опыта при изменении скорости v не в очень больших пределах величину k можно считать зависящей только от материала соударяющихся тел.

В качестве предельных случаев рассматривают случай *абсолютно упругого удара* ($k=1$), при котором кинетическая энергия тела после удара полностью восстанавливается, и случай *абсолютно неупругого удара* ($k=0$), когда удар заканчивается в первой стадии и вся кинетическая энергия тела теряется на его деформацию и нагревание.

Экспериментально величину k можно найти, если рассмотреть шар, свободно падающий на плиту с предварительно измеренной высоты H , и определить с помощью стоящей рядом вертикальной рейки (рисунок 1.25) высоту его подъема h после удара. Тогда по формуле Галилея:

$$v = \sqrt{2gH} \quad (1.2)$$

$$u = \sqrt{2gh} \quad (1.3)$$

$$k = u/v = \sqrt{h'H} \quad (1.4)$$

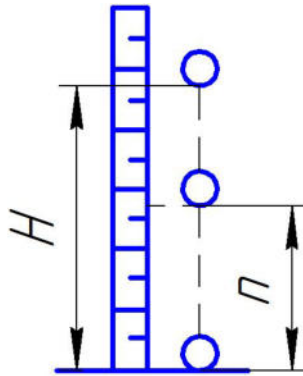


Рисунок 1.25 – К экспериментальному определению коэффициента восстановления зерна

Значение коэффициента восстановления для тел из различных материалов дается в соответствующих справочниках. В частности, можно считать при скоростях соударения порядка 3 м/с для удара дерева о дерево $k \approx 0,5$, стали о сталь $k \approx 0,56$, стекла о стекло $k \approx 0,94$.

Коэффициент восстановления зерна является одним из значимых показателей, характеризующий его ударно-инерционное взаимодействие с рабочими поверхностями различных сельскохозяйственных машин.

Особенно важно знать величину этого коэффициента при исследовании ударного взаимодействия зерна с рабочей поверхностью машин ударного типа, в результате чего с зерна снимается оболочка, а эффективность этого процесса напрямую влияет на качество получаемого конечного продукта.

Рассмотрим известные методики определения коэффициента

восстановления зерна.

А.М. Гимадиевым предложено следующая методика определения коэффициента восстановления зерна [9]:

Опыты по исследованию критической скорости удара проводились на экспериментальной установке (пневмосепараторе с поворотным барьером), в которой, за счет регулирования рабочего давления воздуха, изменяют скорость движения зернового потока. Кинокамера устанавливается таким образом, чтобы производить съемку зерновок в полете до ударной плоскости, удар и полет после отскока.

Для определения коэффициента восстановления было выбрано на киноленте те частицы, которые после удара получали направление скорости, близкое к нормальному по отношению к рабочей плоскости ударного элемента (угол отскока находился в пределах $90 \pm 15^\circ$). Для данных частиц определяли скорость движения до удара и после отскока от плоскости с учетом только нормальной составляющей скорости отлета.

Исходным материалом являлись зерновые культуры: пшеница рядовая, влажностью 14,0%; ячмень рядовой, влажностью 11%; овес рядовой, влажностью 11%; кукуруза, влажность 9%.

Для проверки снижения коэффициента восстановления (K) при повышений критической скорости (V) зерен в момент удара, были проведены исследования прочных свойств пшеницы, ржи, ячменя, после их удара о стальную плоскость. При этом скорость удара изменялась от 3 до 22 м/с.

Исследования подтвердили снижение прочности зерна различных культур после их удара о плоскость со скоростью выше критической.

По результатам экспериментального исследования установили, что коэффициент восстановления для пшеницы при возрастании скорости удара сначала увеличивается и при скорости 10 м/с достигает максимального значения, дальнейшее повышение скорости удара зерновки о поверхность приводило к уменьшению коэффициента восстановления.

Аналогичная зависимость наблюдалась и для других видов зерна.

Отличия лишь в том, что максимальное значение коэффициента имеет место при различной критической скорости $V_{уд}$ зерен в момент удара. так, для кукурузы $K = 0,57$ при $V_{уд} = 6$ м/с, для ячменя $K = 0,53$ при $V_{уд} = 12$ м/с, для пшеницы $K = 0,5$ при $V_{уд} = 10$ м/с, для овса $K = 0.43$ при $V_{уд} = 13$ м/с, для ржи $K = 0,47$ при $V_{уд} = 10$ м/с.

Полученную закономерность изменения K от $V_{уд}$ можно объяснить следующим образом. В начале увеличение $V_{уд}$ приводит к более явному проявлению упругих свойств зерна и большая часть кинетической энергии затрачивается на восстановление скорости при отскоке, что обуславливает первоначальное возрастание K . Снижение K при дальнейшем повышении $V_{уд}$ вызывается деформациям зерна сопровождающееся образованием и развитием внутренних и внешних трещин в зерне и их разрушением, на что расходуется значительная часть энергии.

Полученные данные по величине критической скорости удара, при которой начинается структурное изменение в зерне, позволяют более правильно подобрать угол поворота барьеров в технологическом оборудовании.

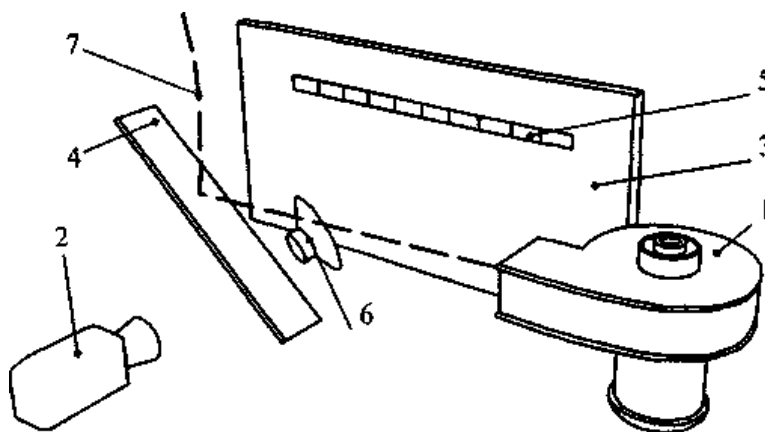
По результатам экспериментального исследования было установлено, что снизить повреждения семян удалось путем поворота барьера на угол ϕ . Скорость элемента зернового материала перед ударом направлена под углом 90^0 к общей касательной, проведенный к ударяющимся телам в точке удара. Соответственно, уменьшилась связанная с ударным импульсом динамическая нагрузка. Это позволяет обеспечить «мягкий» режим движения, в первую очередь, необходимый для обработки таких легко травмируемых культур, зернобобовые и крупяные.

На основании экспериментальных исследований был спроектирован пневмосепаратор с поворотными барьерами (Заявка № 2009120647), представляющий собой «Канал для сепарации зерна с поворотными барьерами, восходящим воздушным потоком». Конструктивными решениями предполагалось создание нового поколения машин, реализующих направление наиболее полного учета агробиологических особенностей объектов машинного

воздействия.

Рассмотрим методику определения коэффициента восстановления зерна, разработанную Нуруллиным Э.Г., Маланчиевым И.В., Халиуллиным Д.Т. [16]:

Для исследования авторами, коэффициента восстановления зерна, изготовлен экспериментальный стенд (рисунок 1.26).



1 – вентилятор-метатель; 2 – видеокамера; 3 – белый экран; 4 – пластина-отражатель; 5 – линейка; 6 – лампа; 7 – траектория семян

Рисунок 1.26 – Схема экспериментального стенда

Семена вентилятором-метателем 1 подавали на сталь 2. Для повышения контрастности изображения устанавливали белый экран 3 с подсветкой 6 и закрепленной на ней линейкой 5.

Использовали четыре партии семян подсолнечника сорта Санмарин влажностью 4,7; 5,6; 6,8; 8,7; 10,5%. Из каждой партии используют пять порций семян по 200 г.

Коэффициент восстановления семян подсолнечника I_{c_n} при столкновении с неподвижной рабочей поверхностью определяли по формуле:

$$k = \frac{v_1}{v} \quad (1.5)$$

где v , v_1 – соответственно нормальная составляющая скорости до и после столкновения, м/с.

Траектории семян отслеживали по «трекам» - размытым изображениям

быстро движущихся семян на кадре видеозаписи.

Для определения величины и направления скорости семян с кадров видеозаписи снимали координаты (в пикселях) четырех точек: A -начальной точки трека, B - конечной точки трека, а также C и D – концов масштабного отрезка (рисунок 1.27).

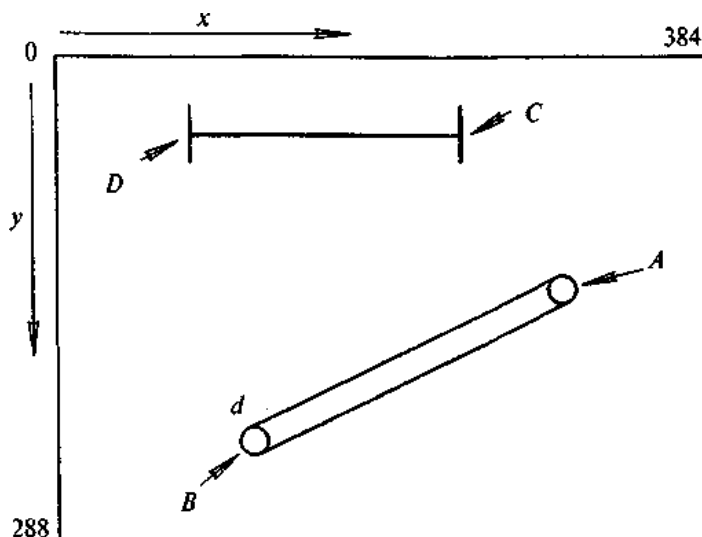


Рисунок 1.27 – Схема анализа кадра с изображением трека семян

Скорость семян рассчитывали по формуле:

$$v = \frac{1}{t_y} \left(l \frac{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}}{\sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2}} - d_y \right), \quad (1.6)$$

где t_y — время экспозиции одного кадра, с;

l — длина масштабного отрезка, м;

d_y — эквивалентный диаметр частицы, м;

$x_B, x_A, y_B, y_A, x_D, x_C, y_D, y_C$ — координаты начальных и конечных точек и масштабного отрезка.

Полученные значения коэффициентов восстановления семян подсолнечника при различной влажности представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Полученные значения

Коэффициент восстановления	Влажность семян, %				
	4,7	5,6	6,8	8,7	10,5
K	$0,24 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,08$	$0,34 \pm 0,06$	$0,17 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,03$

При влажности семян меньше 5,6% уменьшение k_{Π} объясняется тем, что они хрупкие и разрушаются при столкновении с пластиной-отражателем. При влажности больше 5,6% k_{Π} также уменьшается, так как семена становятся пластичными и деформируются при столкновении с пластиной-отражателем.

1.6 Задачи исследований

На основании проведенного анализа способов шелушения, технологий получения крупы и машин для шелушения зерна поставим следующие задачи:

1. Разработать конструкцию и создать прототип шелушителя пневмомеханического типа;
2. Провести исследования движения зерна гречихи по рабочим органам шелушителя;
3. Исследовать ударное взаимодействие зерна о рабочую поверхность шелушителя с учетом коэффициента восстановления;
4. Определить рациональные параметры и режимы работы пневмомеханического шелушителя;
5. Дать технико-экономическую оценку рекомендации по использованию пневмомеханического шелушителя;
6. Сделать выводы по полученным результатам.

2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ

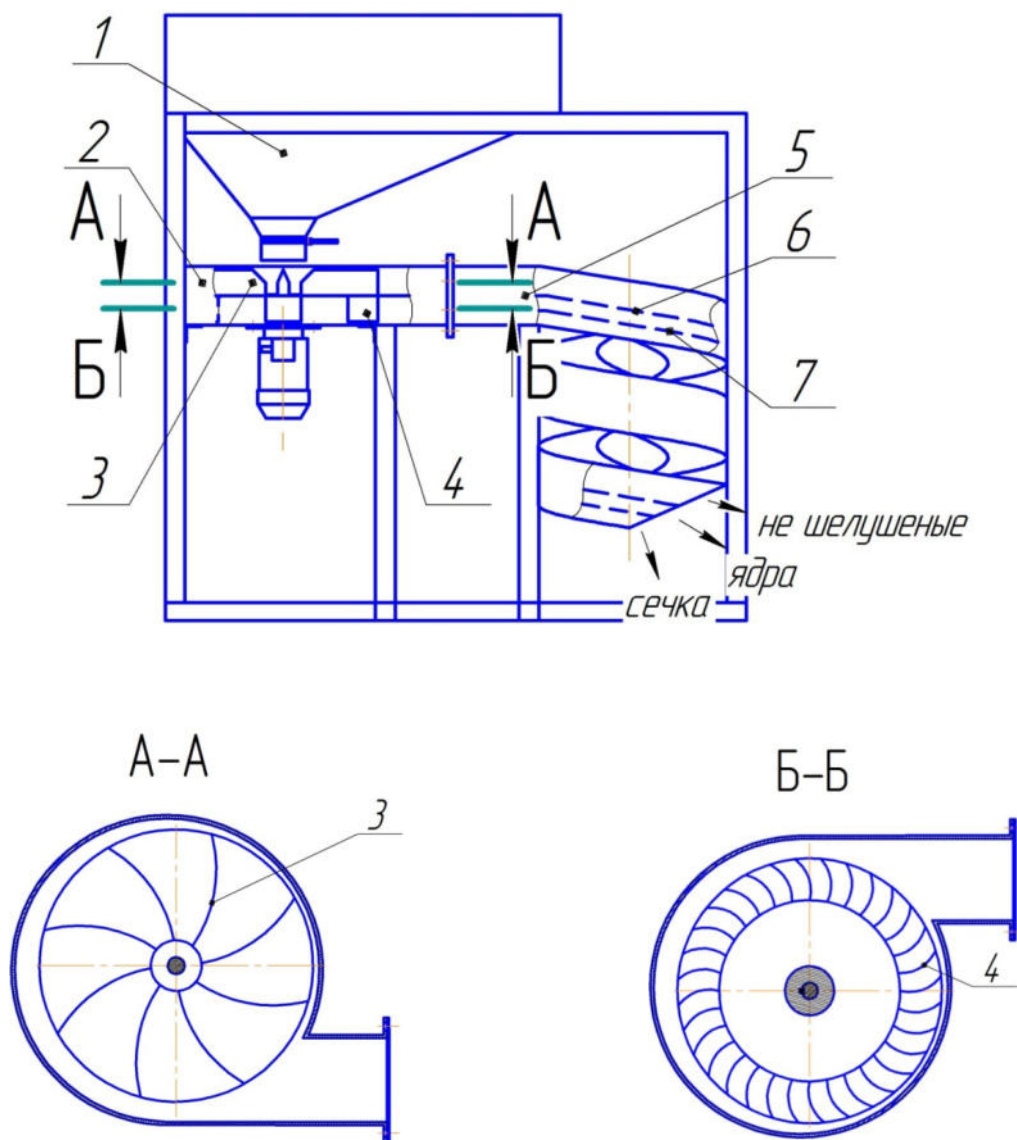
2.1 Устройство и принцип действия предлагаемого шелушителя зерна

На основе анализа современных машин для шелушения зерна предлагается новая конструкция шелушителя с цилиндрической спиральной шелушильной камеры, использование которой позволяет интенсифицировать процесс шелушения, и обеспечить высокое качество готового продукта. При этом данный шелушитель будет показывать высокую эффективность работы в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя [81,82].

Шелушитель гречихи с цилиндрической спиральной шелушильной камерой (рисунок 2.1) содержит питательный бункер с загрузочным патрубком, вентилятор с верхними и нижними лопастями, рабочую камеру, выполненную в виде винтовой цилиндрической спирали прямоугольного сечения, верхнюю и нижнюю сетчатые продольные перегородки. Верхние лопасти вентилятора служат для подачи зерна в рабочую камеру и загнуты в сторону вращения вентилятора для придания максимального ускорения зерну, подаваемому в рабочую камеру. Нижние лопасти вентилятора создают воздушный поток для обеспечения движения зерна и продуктов шелушения в рабочей камере и загнуты в обратную сторону вращения вентилятора для создания равномерного воздушного потока.

Установка для шелушения зерна работает следующим образом: зерно из питательного бункера подается на верхние лопасти вентилятора, затем поступает в рабочую камеру, выполненную в виде винтовой цилиндрической спирали прямоугольного сечения. Шелушение происходит за счет ударов и трения зерна о стенки рабочей камеры и верхнюю сетчатую продольную перегородку, а также соударения и трения зерна с зерном. Шелушенные ядра и дробленка, имеющие размеры меньше нешелушенного зерна, по мере движения

в рабочей камере проходят сквозь верхнюю сетчатую продольную перегородку. Таким образом, на выходе из рабочей камеры пневмомеханического устройства получается продукт разделенный на три фракции. Движение зерна, шелушенных ядер, дробленки и шелухи в рабочей камере осуществляется потоком воздуха, создаваемым нижними лопастями вентилятора.



1 – бункер; 2 – вентилятор; 3 – верхние лопасти вентилятора; 4 – нижние лопасти вентилятора; 5 – рабочая камера; 6 - верхняя сетчатая продольная перегородка; 7 - нижняя сетчатая продольная перегородка

Рисунок 2.1 – Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна

Отличительная особенность данной конструкции в том, что верхние лопасти загнуты в сторону вращения вентилятора для придания максимального ускорения зерну, подаваемому в рабочую камеру, нижние лопасти в обратную сторону для создания равномерного воздушного потока. Рабочая камера выполнена в виде винтовой цилиндрической спирали прямоугольного сечения, разделенная внутри верхней и нижней сетчатыми продольными перегородками.

Выполнение шелушильной камеры оригинальной конструкции позволяет дополнительно воздействовать на неошелушенные зерна и получить продукт, разделенный на три фракции.

2.2 Теоретические исследования взаимодействия зерна с рабочими органами шелушителя с учетом коэффициента восстановления зерна

2.2.1. Анализ движения частицы по лопасти броскового вентилятора и обоснование ее формы

В установке для пневмомеханического шелушения зерна в качестве разгонного устройства для перерабатываемого продукта используется горизонтально установленный бросковый вентилятор, лопасти ротора которого имеют криволинейную форму. Для определения конструктивных и кинематических параметров вентилятора необходимо рассмотреть движение зерновки по лопасти (рисунок 2.2).

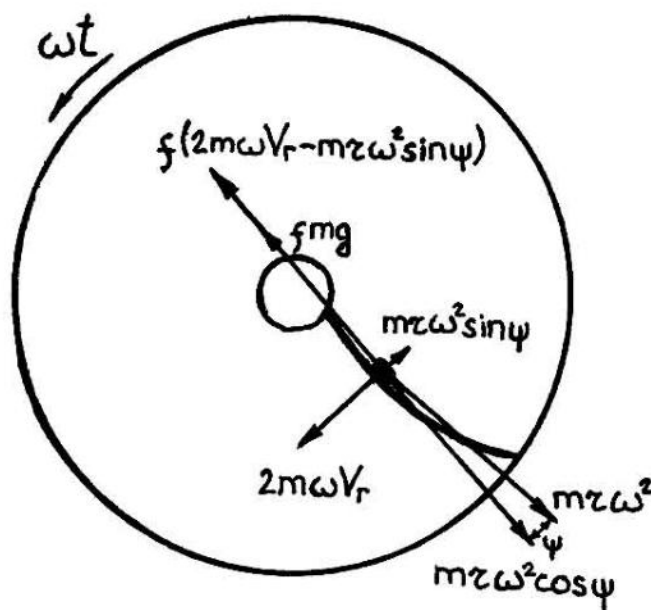


Рисунок 2.2 – Силы, действующие на зерновку при ее движении по криволинейной лопасти броскового вентилятора

При рассматриваемом движении на частицу действуют следующие силы:

1. сила тяжести – mg . При горизонтальном положении диска и вертикальном положении лопатки проекции этой силы в плоскости диска и лопатки равны нулю.
2. центробежная сила – $mr\omega^2$;
3. сила трения частицы по поверхности диска – fmg . Так как частица перемещается в относительном движении в плоскости лопатки, то эта сила также будет направлена по касательной к выгнутой плоскости лопатки;
4. сила Кориолиса. Величина этой силы равна $2m\omega\xi$, где ξ – скорость относительного движения частицы;
5. сила трения частицы по поверхности лопатки – $2f m \omega \xi$. Появление этой силы сопряжено с наличием давления частицы на поверхность лопатки, возникшего вследствие наличия силы Кориолиса.

Действие вышеперечисленных сил на частицу при ее движении по криволинейной поверхности лопатки рассмотрено П.М. Василенко [21]. На основе анализа этих сил им было выведено дифференциальное уравнение углового перемещения материальной частицы по криволинейной лопасти:

$$S'S'' = r\omega^2 r' - fgS' + fr^2\omega^2\varphi' - 2f\omega S'^2, \quad (2.1)$$

где φ - угловое перемещение частицы в относительном движении.

Для дальнейшего анализа движения частицы по криволинейной лопасти броскового вентилятора будем пользоваться этим уравнением как основополагающим.

Для определения уравнения кривой воспользуемся вышеуказанным дифференциальным уравнением углового перемещения материальной частицы в относительном движении.

Уравнение кривой лопасти броскового вентилятора должно представлять собой уравнение связи для выражения (2.1). Только в этом случае дифференциальное уравнение углового перемещения частицы будет разрешимо.

П.М. Василенко предложил уравнение кривой, представляющее собой уравнение логарифмической спирали [21]:

$$r = r_0 e^{a\varphi}, \quad (2.2)$$

где r_0 – начальное значение координаты r ;

φ – полярная координата;

a – постоянная величина.

при этом $S' = \sqrt{r'^2 + r^2\varphi'^2}$ он выразил как $\sqrt{r'^2 + r^2\varphi'^2} = \lambda r'$. Применение этого условия дает возможность решения уравнения (2.1).

Однако $S' = \sqrt{r'^2 + r^2\varphi'^2}$ можно выразить и другим способом:

$$\sqrt{r'^2 + r^2\varphi'^2} = a\varphi' \quad (2.3)$$

В этом случае решение уравнения (2.1) возможно с применением иного уравнения кривой лопасти.

Поставим задачу найти уравнение кривой горизонтального сечения лопатки броскового вентилятора, применяя условие (2.3), которое можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} r'^2 &= (a^2 - r^2)\varphi'^2, \\ r' &= \sqrt{a^2 - r^2}\varphi', \\ \varphi' &= \frac{r'}{\sqrt{a^2 - r^2}}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Дифференцируя уравнение (2.4) получим [62]:

$$\varphi' dt = \frac{r' dt}{\sqrt{a^2 - r^2}}. \quad (2.5)$$

Решаем уравнение (2.5):

$$\begin{aligned} \int \varphi' dt &= \int \frac{r' dt}{\sqrt{a^2 - r^2}}, \\ \int d\varphi &= \int \frac{dr}{\sqrt{a^2 - r^2}}, \\ \varphi &= \int \frac{d(r/a)}{\sqrt{1 - (r/a)^2}}, \\ \varphi &= \arcsin \frac{r}{a} + C. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Постоянную C можно приравнять нулю, вследствие чего получаем:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arcsin \frac{r}{a}, \\ \sin \varphi &= \frac{r}{a}, \\ r &= a \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2.7)$$

где $a = 2r_1$

Полученное уравнение – полярное уравнение окружности. Заметим, что в прямоугольной системе координат это же уравнение записывается в виде:

$$x^2 + (y - r_1)^2 = r^2. \quad (2.8)$$

Таким образом, в результате анализа дифференциального уравнения углового перемещения материальной частицы по криволинейным лопастям получено выражение, описывающее форму лопасти броскового вентилятора, на основе которого она была построена (рисунок 2.3).

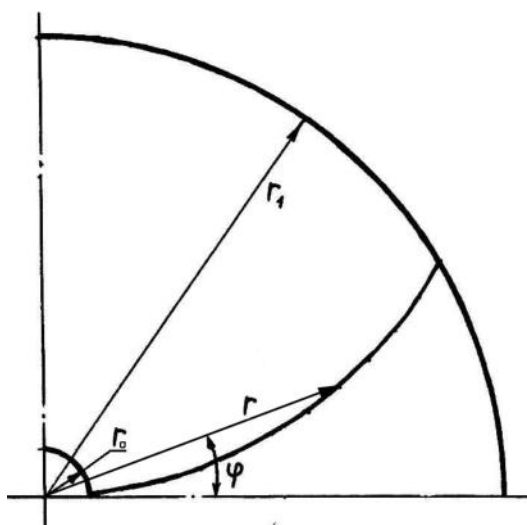


Рисунок 2.3 – Форма лопасти броскового вентилятора

2.2.2 Исследование движения зерна по криволинейной лопасти броскового вентилятора и обоснование угла перемещения его в абсолютном движении до момента срыва

Для нахождения конструктивных и кинематических параметров центробежного вентилятора пневмомеханического шелушителя необходимо исследовать движение частицы по криволинейной лопасти вентиляторного диска [30].

Допустим, что в некоторый начальный момент частица материала поступила с бесконечно малой скоростью на диск. Вследствие вращения диска частица начнет перемещаться по его поверхности и по поверхности лопатки.

Угловое перемещение частицы в относительном движении по криволинейной лопасти было описано в виде дифференциального уравнения (2.1). Решение этого уравнения возможно в том случае, когда известно уравнение кривой горизонтального сечения лопатки, т.е. когда задано уравнение связи. Таким уравнением является полярное уравнение окружности (2.7).

Запишем:

$$S' = a\varphi', \quad S'' = a\varphi'', \quad r' = a \cos \varphi\varphi'.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (2.1) получаем:

$$a^2\varphi'\varphi'' = a^2\omega^2 \sin \varphi \cos \varphi\varphi' - fga\varphi' + fa^2\omega^2 \sin^2 \varphi\varphi' - 2fa^2\omega\varphi'^2. \quad (2.9)$$

Сокращая выражение (2.9) на $a^2\varphi'$ имеем:

$$\begin{aligned} \varphi'' &= \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi - \frac{fg}{a} + f\omega^2 \sin^2 \varphi - 2f\omega\varphi', \\ \varphi'' + 2f\omega\varphi' - \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi - f\omega^2 \sin^2 \varphi &= -\frac{fg}{a}, \\ \varphi'' + 2f\omega\varphi' - \omega^2 (\sin \varphi \cos \varphi + f \sin^2 \varphi) &= -\frac{fg}{a}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Упрощаем:

$$\begin{aligned} \sin \varphi \cos \varphi + f \sin^2 \varphi &= \frac{1}{2} 2 \sin \varphi \cos \varphi + f \left(\frac{1 - \cos 2\varphi}{2} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \sin 2\varphi + \frac{f}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi = \frac{1}{2} (\sin 2\varphi - f \cos 2\varphi) + \frac{f}{2}. \end{aligned}$$

Тогда выражение (2.10) примет вид:

$$\begin{aligned} \varphi'' + 2f\omega\varphi' - \frac{\omega^2}{2} (\sin 2\varphi - f \cos 2\varphi) - \frac{f\omega^2}{2} &= -\frac{fg}{a}, \\ 2\varphi'' + 4f\omega\varphi' - \omega^2 (\sin 2\varphi - f \cos 2\varphi) - f\omega^2 &= -\frac{2fg}{a}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Заменим:

$$\alpha = 2\varphi, \quad \alpha' = 2\varphi', \quad \alpha'' = 2\varphi''.$$

Тогда уравнение (2.11) запишется так:

$$\alpha'' + 2\omega\alpha' - \omega^2(\sin\alpha - f\cos\alpha) - f\omega^2 = -\frac{2fg}{a}. \quad (2.12)$$

Функции $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$ заменим их разложением в степенной ряд ограничиваясь первыми двумя членами, если $\alpha < 1$ [63]:

$$\sin\alpha \approx \alpha - \frac{\alpha^3}{6},$$

$$\cos\alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}.$$

Тогда:

$$\sin\alpha - f\cos\alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{6} - f + \frac{f\alpha^2}{2} = \alpha \left(1 + \frac{f\alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{2} \right) - f.$$

Следовательно, уравнение (2.12) примет вид:

$$\alpha'' + 2f\omega\alpha' - \omega^2\alpha \left(1 + \frac{f\alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6} \right) = -\frac{2fg}{a}. \quad (2.13)$$

Для дальнейшего решения уравнения (2.13) найдем условие, при котором $\left(1 + \frac{f\alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6} \right) \approx 1$, для чего исследуем функцию:

$$F(\alpha) = 1 + \frac{f\alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6},$$

где f - коэффициент трения зерна по стали.

При исследовании данной функции можно прийти к выводу, что $F(\alpha) \approx 1$, когда $0 \leq \varphi \leq \frac{3f}{2}$.

Если $f=0,37$, то $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}$.

Таким образом, уравнение (2.13) примет вид:

$$\begin{aligned}
\alpha'' + 2f\omega\alpha' - \omega^2\alpha &= -\frac{2fg}{a}, \\
2\varphi'' + 4f\omega\varphi' - 2\omega^2\varphi &= -\frac{2fg}{a}, \\
\varphi'' + 2f\omega\varphi' - \omega^2\varphi &= -\frac{fg}{a}.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Характеристическое уравнение для выражения (2.14) будет таким:

$$k^2 + 2f\omega k - \omega^2 = 0.$$

Общее решение этого уравнения записывается в следующем виде:

$$\varphi = \varphi^* + \varphi^\bullet,$$

где φ^* - общее решение однородного уравнения;

φ^\bullet - частное решение однородного уравнения.

$$\varphi^* = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t},$$

где $k_1 = \left(-f + \sqrt{f^2 + 1}\right)\omega = \lambda_1 \omega$,

$$k_2 = \left(-f - \sqrt{f^2 + 1}\right)\omega = \lambda_2 \omega.$$

$$\varphi^\bullet = \frac{fg}{a\omega^2}.$$

Тогда уравнение (2.14) можно записать:

$$\varphi = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + \frac{fg}{a\omega^2}.$$

Обозначим $\frac{fg}{a\omega^2} = D$, тогда:

$$\varphi = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + D. \tag{2.15}$$

Используя начальные условия: 1) $t=0$, $\varphi = \varphi_0$, 2) $t=0$, $\varphi' = 0$ найдем постоянные:

$$C_1 = \frac{(\varphi_0 - D)k_2}{k_2 - k_1},$$

$$C_2 = \frac{(\varphi_0 - D)k_1}{k_2 - k_1}.$$

Подставляя постоянные C_1 и C_2 в уравнение (2.15) получаем:

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{k_2 - k_1} (k_2 e^{k_1 t} - k_1 e^{k_2 t}) + D, \quad (2.16)$$

$$\varphi' = \frac{(\varphi_0 - D)k_1 k_2}{k_2 - k_1} (e^{k_1 t} - e^{k_2 t}). \quad (2.17)$$

Для дальнейшего решения уравнений (2.16., 2.17) найдем:

$$k_2 - k_1 = -\omega(\lambda_1 - \lambda_2),$$

$$k_1 - k_2 = \omega(\lambda_1 - \lambda_2),$$

$$k_1 k_2 = \omega^2 \lambda_1 \lambda_2.$$

Подставляя эти значения в (2.16, 2.17) запишем уравнение изменения относительного полярного угла при движении частицы по криволинейной лопасти (2.18) и уравнение изменения относительной угловой скорости при движении частицы по криволинейной лопасти (2.19):

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \omega t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \omega t}) + D, \quad (2.18)$$

$$\varphi' = \frac{(\varphi_0 - D)\omega}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{\lambda_1 \omega t} - e^{\lambda_2 \omega t}). \quad (2.19)$$

При практических расчетах необходимо знание «рабочего угла», т.е. угловое перемещение частицы в абсолютном движении до момента схода ее с лопатки θ . Этот угол можно определить следующим образом.

Из уравнения 2.18. после подстановки в него конечного значения угла φ и других известных постоянных находим значение углового пути частицы при переносном движении $\alpha = \omega t$.

В то же время частица совершит относительное перемещение по лопатке на угол $\varphi_1 - \varphi_0$.

Поэтому угловое перемещение частицы в абсолютном движении будет:

$$\theta = \omega t + (\varphi_1 - \varphi_0). \quad (2.20)$$

Таким образом, полученные уравнения дают связь между всеми параметрами, характеризующими движение частицы по криволинейной лопасти броскового вентилятора. При этом, какой именно параметр является искомым, а какой заданным зависит от технологических требований.

2.2.3 Обоснование оптимальной частоты вращения лопастного диска броскового вентилятора

Основная функция броскового вентилятора в пневмомеханической шелушильной установке – разгон зерна и подача его на рабочую поверхность. При этом зерновка должна получить достаточную потенциальную энергию, необходимую для разрушения ее оболочки. Для гречихи были проведены лабораторные эксперименты по определению энергий, необходимых для разрушения оболочек и ядра [31]. Зная эти энергии, мы можем задать режим работы броскового вентилятора для получения продукции оптимального качества [57].

Поставим цель найти зависимость между энергией обладаемой зерновкой на выходе из броскового вентилятора E и угловой скоростью лопастного диска ω . Для этого рассмотрим уравнение 2.16.:

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{k_2 - k_1} (k_2 e^{k_1 t} - k_1 e^{k_2 t}) + D,$$

$$\text{где } k_1 = \lambda_1 \omega, \quad k_2 = \lambda_2 \omega,$$

$$\lambda_1 = \sqrt{f^2 + 1} - f, \quad \lambda_2 = -\sqrt{f^2 + 1} + f.$$

Следовательно, уравнение 2.16. можно записать:

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{2\sqrt{f^2 + 1}} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \alpha} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \alpha}) + D, \quad (2.21)$$

где $\alpha = \omega t$;

$$D = \frac{fg}{2r_1 \omega^2}.$$

При расчетах значение D можно не учитывать, так как оно очень мало, поэтому в развернутом виде уравнение 2.21. можно записать так:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{2\sqrt{f^2+1}} \left(\frac{(\sqrt{f^2+1}-f)}{e^{(\sqrt{f^2+1}+f)\alpha}} + (\sqrt{f^2+1}+f)e^{(\sqrt{f^2+1}-f)\alpha} \right), \quad (2.22)$$

где f - коэффициент трения зерна по поверхности лопастного диска;

r_1 - радиус лопастного диска.

Для дальнейшего решения поставленной задачи найдем значение α путем подстановки известных значений в уравнение 2.22. для конкретно взятого броскового вентилятора.

Имеем: $f = 0,37$; $r = 0,03$ м; $r = 0,25$ м; $\varphi = \pi/6$; $\varphi_0 = \pi/60$.

Решая указанное уравнение методом приближений, найдем угловой путь зерновки в относительном движении: $\alpha = \omega t = 3,71$ рад = 212° .

Далее найдем угловую скорость относительного движения. Запишем уравнение 2.21. в виде:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\varphi_0 - D}{2\sqrt{f^2+1}} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \omega t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \omega t}) + D, \\ \varphi' &= \left[\frac{\varphi_0 - D}{2\sqrt{f^2+1}} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \omega t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \omega t}) + D \right]', \\ \varphi' &= \frac{(\varphi_0 - D)\omega}{2\sqrt{f^2+1}} (e^{\lambda_1 \omega t} - e^{\lambda_2 \omega t}), \\ \varphi' &= \frac{(\varphi_0 - D)\omega}{2\sqrt{f^2+1}} \left(e^{(\sqrt{f^2+1}-f)\omega t} - e^{-(\sqrt{f^2+1}+f)\omega t} \right). \end{aligned} \quad (2.23)$$

Скорость относительного движения $V_r = \sqrt{r'^2 + r^2 \varphi'^2}$. Для нашего случая $\sqrt{r'^2 + r^2 \varphi'^2} = a \varphi' = 2r_1 \varphi'$. Следовательно:

$$V_r = 2r_1 \varphi'. \quad (2.24)$$

Переносная скорость равна $V_e = \omega r$, а на краю диска:

$$V_e = \omega r_1. \quad (2.25)$$

Обозначим: $\frac{(\varphi_0 - D)}{2\sqrt{f^2 + 1}} \left(e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)\omega t} - e^{-(\sqrt{f^2 + 1} + f)\omega t} \right) = K$, тогда

$$\varphi' = K\omega. \quad (2.26)$$

Зная исходные параметры броскового вентилятора можно найти K .

Пользуясь рисунком 2.4. найдем значение абсолютной скорости V_{abc} .

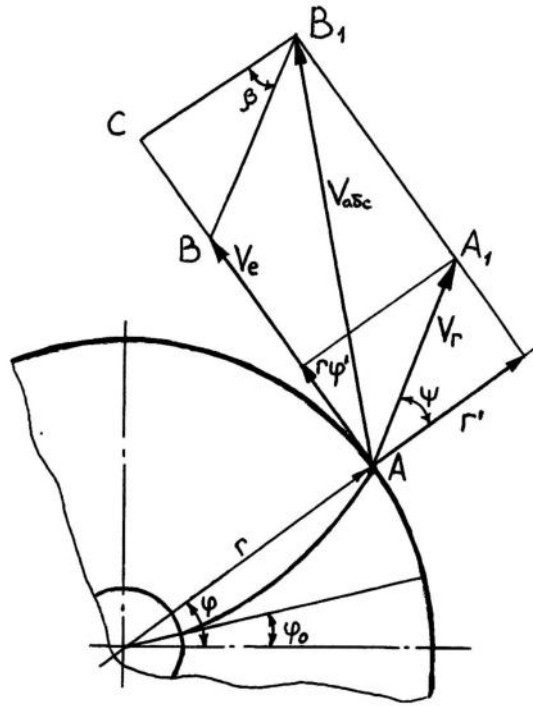


Рисунок 2.4 – К определению скоростей движения зерновки по криволинейной лопасти броскового вентилятора

$\sin \psi = \frac{r\varphi'}{V_r}$, но зная, что $V_r = 2r_1\varphi'$ и $r = 2r_1 \sin \beta$ можно записать:

$$\sin \psi = \frac{2r_1 \sin \beta}{2r_1} = \sin \beta \text{ или } \psi = \beta.$$

Абсолютную скорость движения зерновки V_{abc} находим по формуле:

$$V_{abc}^2 = AC^2 + B_1C^2. \quad (2.27)$$

Однако, зная что $AC = AB + BC$, $B_1C = V_r \cos \beta$, $BC = V_r \sin \beta$, $AC = V_e + V_r \sin \beta$ уравнение 2.27. можно записать так:

$$\begin{aligned}
V_{a\bar{b}c}^2 &= (V_e + V_r \sin \beta)^2 + (V_r \cos \beta)^2, \\
V_{a\bar{b}c}^2 &= V_e^2 + 2 \sin \beta V_e V_r + V_r^2 \sin^2 \beta + V_r^2 \cos^2 \beta, \\
V_{a\bar{b}c}^2 &= V_e^2 + 2 \sin \beta V_e V_r + V_r^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta), \\
V_{a\bar{b}c}^2 &= V_e^2 + 2 \sin \beta V_e V_r + V_r^2.
\end{aligned} \tag{2.28}$$

Подставив в это уравнение выражения 2.24, 2.25 получим:

$$V_{a\bar{b}c}^2 = \omega^2 r^2 + 4 \sin \beta r r_1 \varphi' + 4 r_1^2 \varphi'^2.$$

Учитывая выражение 2.26. можно записать:

$$\begin{aligned}
V_{a\bar{b}c}^2 &= \omega^2 r^2 + 4 \sin \beta \omega r r_1 K \omega + 4 r_1^2 K^2 \omega^2, \\
V_{a\bar{b}c}^2 &= \omega^2 (r^2 + 4 r r_1 K \sin \beta + 4 r_1^2 K^2).
\end{aligned} \tag{2.29}$$

В момент срыва зерновки с диска $r = r_1$, $\sin \beta = \pi/6$, поэтому выражение 2.29. можно записать так:

$$\begin{aligned}
V_{a\bar{b}c}^2 &= \omega^2 (r_1^2 + 4 r_1^2 \frac{1}{2} K + 4 r_1^2 K^2), \\
V_{a\bar{b}c}^2 &= \omega^2 r_1^2 (1 + 2K + 4K^2).
\end{aligned} \tag{2.30}$$

Для дальнейшего решения поставленной задачи запишем формулу определения энергии разрушения зерна E_1 :

$$\begin{aligned}
E_1 &= \frac{m V_{a\bar{b}c}^2}{2}, \\
E_1 &= \frac{m}{2} \omega^2 r_1^2 (1 + 2K + 4K^2).
\end{aligned} \tag{2.31}$$

Найдем частоту вращения лопастного диска броскового вентилятора, необходимую для придания зерновке оптимальной энергии для качественного шелушения:

$$n = 13,5 \sqrt{\frac{E_1}{r_1^2 m (1 + 2K + 4K^2)}}. \tag{2.32}$$

По уравнению (2.32) построена графическая зависимость (рисунок 2.5) изменения энергии сообщаемой зерновке от частоты вращения лопастного

диска броскового вентилятора при постоянном значении его радиуса ($r = 0,25$ м), шероховатости и форме лопасти [30].

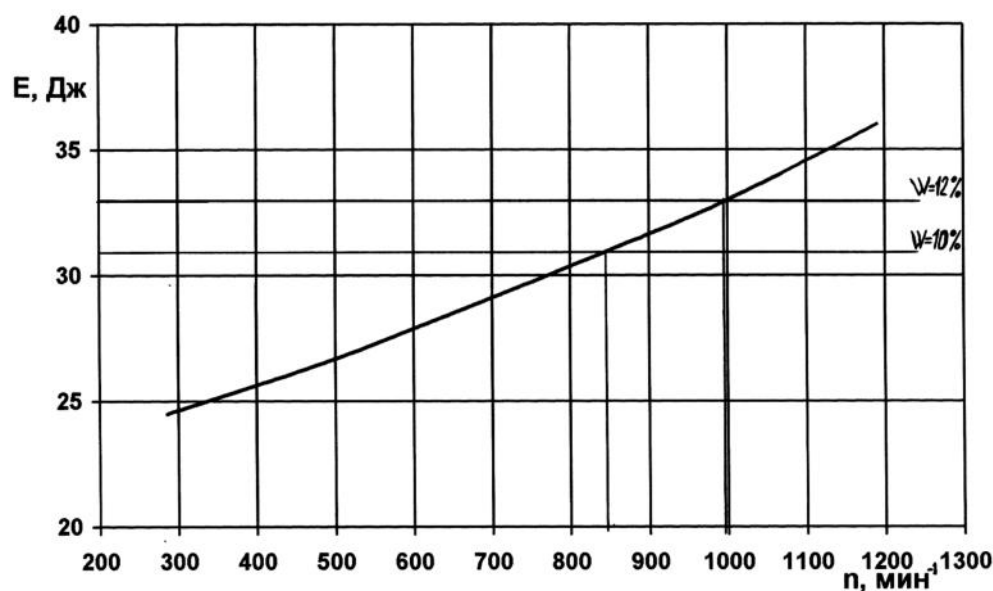


Рисунок 2.5 – График изменения энергии сообщаемой зерновке от частоты вращения лопастного диска броскового вентилятора

Зная величины энергий разрушения ядрицы и оболочки зерна гречихи при различных влажностях (определяются экспериментальным путем) можно обосновать частоту вращения лопастного диска, при которой зерно получает необходимую энергию для качественного шелушения.

2.2.4 Анализ ударного взаимодействия зерна о рабочую поверхность шелушителя с учетом коэффициента восстановления

Качество переработки зерна в крупу в большей степени зависит от эффективности отделения наружных оболочек зерна от ядра, выполняемых шелушительными машинами. Важное значение для качественного шелушения имеет направление скорости удара зерна о поверхность деки и дальнейшее взаимодействие зерна с этой поверхностью [40].

Известно, что кинетическая энергия зерна состоит из кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращательного движения зерна и выражается формулой:

$$E_{\text{кин}} = 0,7m\vartheta_3^2, \quad (2.33)$$

где $\vartheta_3 = \omega r_3$ - линейная скорость поступательного движения,

r_3 -радиус зерна,

ω – угловая скорость вращательного движения зерна.

Зерно во время отрыва от поверхности ротора вращается против направления вращения ротора, при этом часть зерна будет иметь скорость, равную линейной скорости ϑ , а противоположная часть будет иметь скорость $-\vartheta$. Так как эта часть будет вращаться против направления потока воздуха, то зерно будет иметь равнозамедленное вращательное движения с угловым ускорением ε :

$$\varepsilon = -\frac{15}{4} \cdot \frac{\eta\vartheta_B}{\rho r_3^3}, \quad (2.34)$$

где η – коэффициент вязкости воздуха,

ϑ_B - скорость воздушного потока,

ρ - плотность зерна.

Расчеты показывают, что угловое ускорение зерна незначительно влияет на угловую скорость зерна и, следовательно, можно изменением угловой скорости зерна пренебречь.

Для качественного шелушения сила удара зерна F о деку пневмомеханического шелушителя должна быть меньше силы удара разрушения зерна ядрицы $F_p^{\text{я}}$ и больше силы разрушения оболочки зерна $F_p^{\text{о}}$. Требуемое значение силы удара можно регулировать скоростью движения зерна и углом удара (падения) зерна о деку пневмомеханического шелушителя. Этого можно добиться как регулированием угловой скорости вращения ротора, так и дополнительным вращением деки.

При падении зерна на поверхность деки под углом α , нормальная составляющая скорости зерна будет равна $\vartheta_3 \cos \alpha$, а тангенциальная

составляющая $-\vartheta_3 \sin \alpha$. Нормальная составляющая силы воздействия зерна на поверхность деки F_n будет равна.

$$F_n = \frac{m\vartheta_n}{\Delta t} = \frac{m\vartheta_3 \cos \alpha}{\Delta t}, \quad (2.35)$$

где Δt - время деформации зерна на поверхности деки.

Значение силы разрушения оболочки F_p^0 можно вычислить по формуле:

$$F_p^0 = \frac{3\pi c E \delta^{5/2}}{r_3} \sqrt{\Delta h_1}, \quad (2.36)$$

где Δh_1 - величина деформации оболочки при разрушении оболочки,

r_3 - радиус оболочки зерна,

δ - толщина оболочки зерна,

E - модуль Юнга оболочки.

Нормальная составляющая сила должна быть больше деформации разрушения оболочки и не должна разрушать ядро зерна, поэтому для энергии нормальной составляющей зерна должно выполняться условие:

$$A_p^0 < 0,5m\vartheta_n^2 < A_p^0 + A. \quad (2.37)$$

Работу, необходимую для разрушения оболочки зерна, можно вычислить по формуле:

$$A_p^0 = \frac{F_p^0 \Delta h_1}{2}. \quad (2.38)$$

A для разрушения ядра:

$$A_p^a = \frac{F_p^a \Delta h_2}{2}. \quad (2.39)$$

Учитывая, что

$$\vartheta_n = \vartheta_3 \cos \alpha \quad (2.40)$$

И применяя соотношение (2.37) можно определить, что

$$\sqrt{\frac{A_p^0}{0,5m\vartheta_3^2}} < \cos \alpha \leq \sqrt{\frac{A_p^0 + A_p^a}{0,5m\vartheta_3^2}}. \quad (2.41)$$

Тогда угол α должен удовлетворять условию:

$$\arccos \sqrt{\frac{A_p^0}{0,5m\vartheta_3^2}} \geq \alpha > \arccos \sqrt{\frac{A_p^0 + A_p^a}{0,5m\vartheta_3^2}}. \quad (2.42)$$

Если нормальная составляющая энергии будет больше разрушения оболочки, то остаточная энергия после разрушения оболочки за счет упругой деформации деки и зерна приведет к движению ядрицы зерна перпендикулярно к поверхности деки со скоростью U_n , которую можно определить:

$$\frac{mU_n^2}{2} = \frac{m\vartheta_n^2}{2} - A_p^o \quad (2.43)$$

Отношения модуля вертикальной составляющей скорости тела в конце удара к модулю вертикальной составляющей скорости до удара является коэффициентом восстановления при ударе:

$$\frac{U_n}{\vartheta_n} = K. \quad (2.44)$$

Используя (2.43) найдем:

$$K = \sqrt{1 - \frac{2A_p^o}{m\vartheta_n^2}}. \quad (2.45)$$

Из уравнения (2.40) и (2.42) найдем скорости

$$\vartheta_{n1} = \vartheta_3 \cdot \cos\alpha_1 = 56,52 \cdot \cos 78,9^\circ = 10,88 \text{ м/с},$$

$$\vartheta_{n2} = \vartheta_3 \cdot \cos\alpha_2 = 56,52 \cdot \cos 77,21^\circ = 12,51 \text{ м/с},$$

Используя (2.45) для ϑ_{n2} при различных скоростях $10,88 < \vartheta_{n2} < 12,51$ можно найти значения K :

$$0 < K \leq 0,49.$$

Коэффициент восстановления K согласно можно представить в виде:

$$K = \frac{|U_n|}{|\vartheta_n|} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}, \quad (2.46)$$

где β - угол отражения зерна от поверхности деки.

Найдем $\operatorname{tg}\beta$:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{K}. \quad (2.47)$$

Так как $K < 1$, то при столкновении тела с поверхностью $\operatorname{tg}\beta > \operatorname{tg}\alpha$ и $\beta > \alpha$.

Рассмотрим тангенциальную составляющую скорость зерна при взаимодействии зерна с неподвижной декой. Если бы зерно не вращалось, то за

счет деформации зерна и за счет наличия трения скольжения возникло бы трения качения зерна на поверхность деки. Но в нашем случае вращающееся зерно падает на поверхность деки и начинает двигаться по поверхности деки за счет трения качения зерна. Поскольку трение качения зерна составляет менее одной тысячной доли трения скольжения, то потерей энергии за счет трения качения зерна можно пренебречь.

Общая тангенциальная составляющая энергия равна:

$$E_{\tau} = 0,2m\vartheta_3^2 + 0,5m\vartheta_{\tau}^2, \quad (2.48)$$

$$\vartheta_{\tau} = \vartheta_3 \sin \alpha. \quad (2.49)$$

Подставляя известные значения в уравнения (2.45) и (2.46), получим значение $E_{\tau} = 0,2934$ Дж. Нормальная составляющая кинетической энергии в этом случае будет $E_{\tau} = 0,5 m\vartheta_n^2 = 0,01064$ Дж, что составляет 3,63 % от тангенциальной составляющей кинетической энергии. Отсюда видно, что для увеличения коэффициента полезного действия (КПД) пневмомеханического шелушителя зерна необходимо регулировать величину скорости зерна и уменьшить угол удара зерна на поверхность деки.

Выполненные теоретические исследования дают более полное понятие о взаимодействии зерна с ротором и декой в рабочей зоне пневмомеханического шелушителя. Кроме этого они показывают коэффициент восстановления зерна с нетрадиционной точки зрения о деку и после, что позволяет более точно рассчитать оптимальные конструктивные и технологические параметры пневмомеханических шелушителей.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Планирование экспериментального исследования

Эксперимент должен быть построен на выборе определенной стратегии, которая сможет решить поставленные задачи при проведении заданного количества опытов. При планировании экспериментов необходимо определить основные свойства факторов, обычно одновременно изменяются несколько факторов. Основные требования, которые предъявляются к совокупности факторов, – совместимость и независимость. Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы, а независимость соответствует возможности установления фактора на любом уровне независимо от уровней других.

Планирование исследования определяет весь процесс проведения эксперимента на начальном уровне, что позволит задать минимальное число опытов при одновременном варьировании всеми факторами, которые бы смогли отобразить полную информацию без каких-либо потерь.

Факторным экспериментом является тот эксперимент, в котором одновременному варьированию подлежат несколько факторов. Уровни одного фактора эксперимента сочетаются с уровнями всех остальных факторов. Под уровнями факторов понимают значение их величин, которые принимают при варьировании в эксперименте, а факторы – независимые переменные величины, которые влияют на значение отклика – результата опыта зависящего от них.

На показатели процесса шелушения влияют следующие факторы: влажность зерна – $W \%$ и частота вращения вентилятора – $n, \text{мин}^{-1}$. Функциями отклика будут являться коэффициент шелушения $K_{\text{ш}}$, коэффициент целостности ядра $K_{\text{ц.я.}}$ и эффективность шелушения $E_{\text{шел.}}$.

Методика математического моделирования была использована при проведении эксперимента [14, 22, 34, 39, 47...49, 87, 97, 98].

Выбирая количество опытов зададимся допустимой ошибкой ε , выраженной в долях среднеквадратичного отклонения σ . Результаты многократных измерений должны лежать в пределах $\pm \varepsilon\sigma$, согласно классической теории ошибок измерений. Поэтому можем задаться этим пределом для сокращения числа опытов. При обычных исследованиях в технике доверительная вероятность составляет 0,7-0,9. Следовательно можно принять это значение для проведения эксперимента.

Обоснуем уровни и интервалы варьирования факторов.

Влажность зерна и частота вращения вентилятора являются изменяемыми параметрами при проведении эксперимента.

На величину прилагаемого усилия разрушения ядрицы и оболочки оказывает влажность исходного зерна гречихи. Наиболее подходящая влажность гречихи для эффективного шелушения составляет от 9,7 до 13,7 %, эти значения были проверены в лабораторных условиях. Поэтому при проведении эксперимента гречиха соответствовала заданному диапазону влажности.

Для того чтобы шелушение зерна гречихи было эффективным, требуется определенное число оборотов ротора и ротатора, при котором не будет происходить разрушение ядра. Диапазон изменения частоты вращения вентилятора колеблется в пределах 1200 – 1800 мин⁻¹.

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

Таблица 3.1 – Значение уровней и интервалов варьирования

Наименование	Факторы		
	W %	n, об/мин ⁻¹	код
Нулевой уровень	11,7	1500	0
Интервал варьирования	1,4	150	
Верхний уровень	13,7	1800	+1
Нижний уровень	9,7	1200	-1

Составим матрицу планирования двухфакторного эксперимента.

Таблица 3.2 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Факторы и их взаимодействия			Кодовое обозначение
	W	n	Wn	
1.	-1	-1	+	(1)
2.	+1	-1	-	W
3.	-1	+1	-	n
4.	+1	+1	+	Wn

3.2 Методика определения влажности зерна гречихи.

Влажность зерна определяется методом высушивания навесок в электрических сушильных шкафах. Для определения влажности зерна использовался шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п, термометр ТПК-М, БК-600.1.



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

Влажность зерна определяется в следующем порядке. Берутся 3 бюкса и взвешиваются на весах с точностью до 0,01 г. Около 30 г. исследуемого образца размалывается и помещается в отдельную емкость с хорошо притертой крышкой. Из этой емкости при помощи совочка отбираются порции весом 5 г. и помещается в бюксы. В каждую бюксу необходимо отвешивать точно 5 г. размолотого зерна.

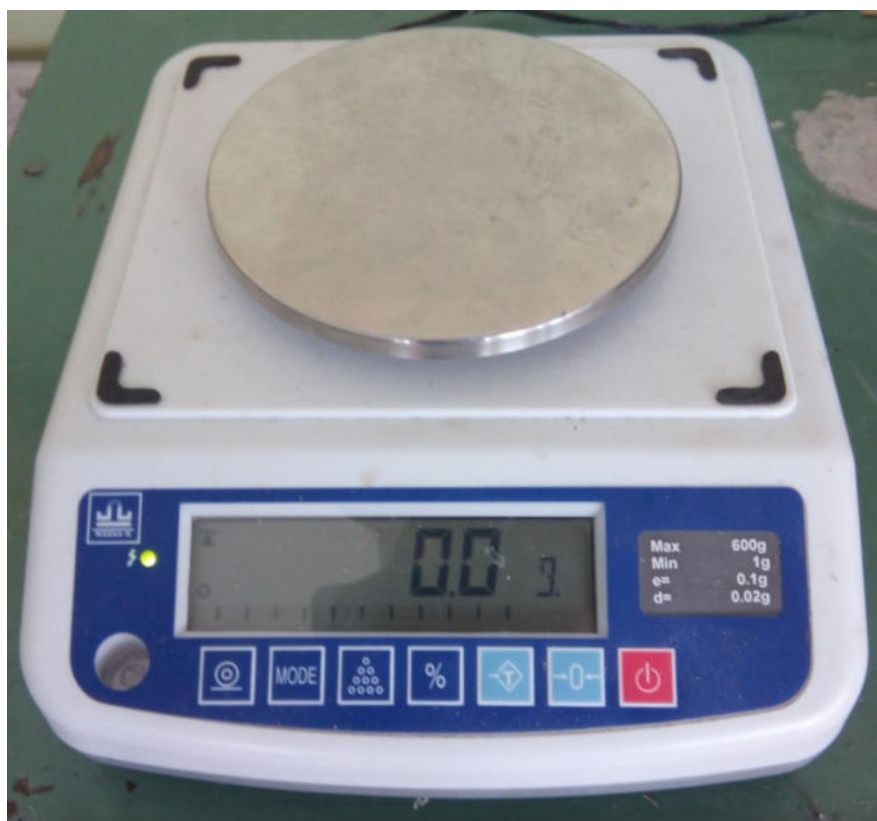


Рисунок 3.2 – Весы ВК-600.1

Предварительно нагреваем сушильный шкаф до температуры 140 °С. После этого помещаем бюксы в шкаф, предварительно открыв их. Бюксы выдерживаем в сушильном шкафу в течение 40 минут при температуре $130 \pm 2^\circ\text{C}$. По истечении времени достаём бюксы из шкафа, закрываем крышками и охлаждаем в течение 15...20 минут.

После охлаждения бюксы с навесками и крышками взвешиваем на весах. По разнице в массе до и после высушивания устанавливаем массу испарившейся влаги, которую выражаем в процентах к навеске массой 5 г.

Влажность рассчитываем по формуле:

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

где a - масса бюксы с крышкой, г;

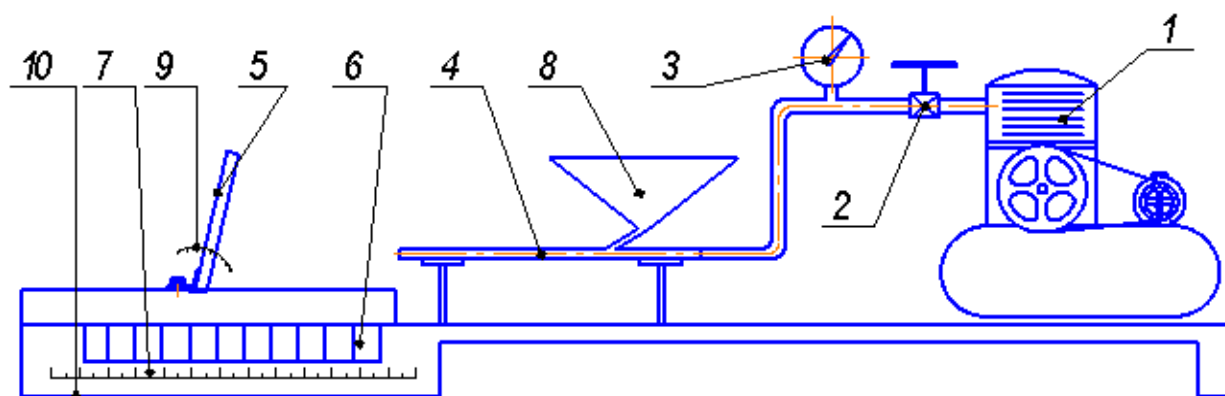
b - масса бюксы с крышкой и навеской размолотого зерна до высушивания, г;

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 коэффициента восстановления зерна гречихи

На основе анализа существующей методик определения коэффициента восстановления зерна и средств для проведения таких экспериментов нами была разработана схема лабораторной установки для определения коэффициента восстановления зерна, которые показаны на рисунке 3.3 [29].



1 – компрессор; 2 – кран для регулирования подачи воздуха (давления); 3 – манометр давления; 4 – разгонная трубка; 5 – наклонная поверхность; 6 – емкость для зерна; 7 – линейка; 8 – бункер; 9 – транспортер; 10 – рама

Рисунок 3.3 – Общий вид лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой установленный на раме компрессор 1, который подает воздух с определенным давлением в разгонную трубу 4. Давление воздушного потока, измеряется манометром 3, а регулируется краном 2. Перемещаясь по разгонной трубе воздушный поток, захватывает зерно из бункера 8 и выбрасывает на наклонную поверхность 5. Отражаясь от этой поверхности под определенным углом, который зависит от коэффициента восстановления, зерно попадает в одну из ячеек емкости 6.

По разработанной схеме была собрана лабораторная установка (рисунок 3.4).

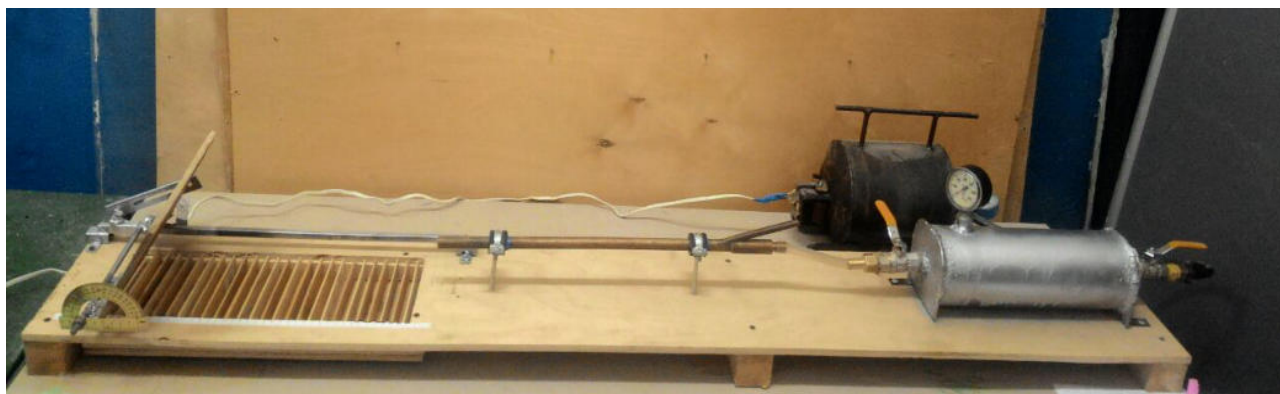


Рисунок 3.4 – Лабораторная установка

Программа экспериментальных исследований предусматривает определение количества семян в ячейках (m , грамм) в зависимости от нескольких параметров: угла подачи ($\alpha = \text{const}$), диаметр трубки ($D = \text{const}$) и скорость потока воздуха (V , м/с).

Для определения коэффициента восстановления зерна на разработанной установке, нами разработана новая методика определения коэффициента восстановления зерна (рисунок 3.5)

Коэффициент восстановления зерна определяем по формуле:

$$K_v = \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \beta} \quad (3.2)$$

где α – угол образованный скоростью \vec{v} центра масс зерна с нормалью к наклонной поверхности, град.;

β – угол образованный скорости \vec{u} центра масс зерна с нормалью к наклонной поверхности после удара, град.;

Угол α зависит от угла наклона поверхности γ и определяется по формуле:

$$\angle \alpha = 90 - \gamma \quad (3.3)$$

Угол γ определяем с помощью транспортира, закрепленного на раме.

Угол β определяем с помощью формулы:

$$\angle \beta = 90 - \varepsilon \quad (3.4)$$

Угол ε определяем с помощью формулы:

$$\sin \varepsilon = \frac{a \cdot \sin \gamma}{c}, \quad (3.5)$$

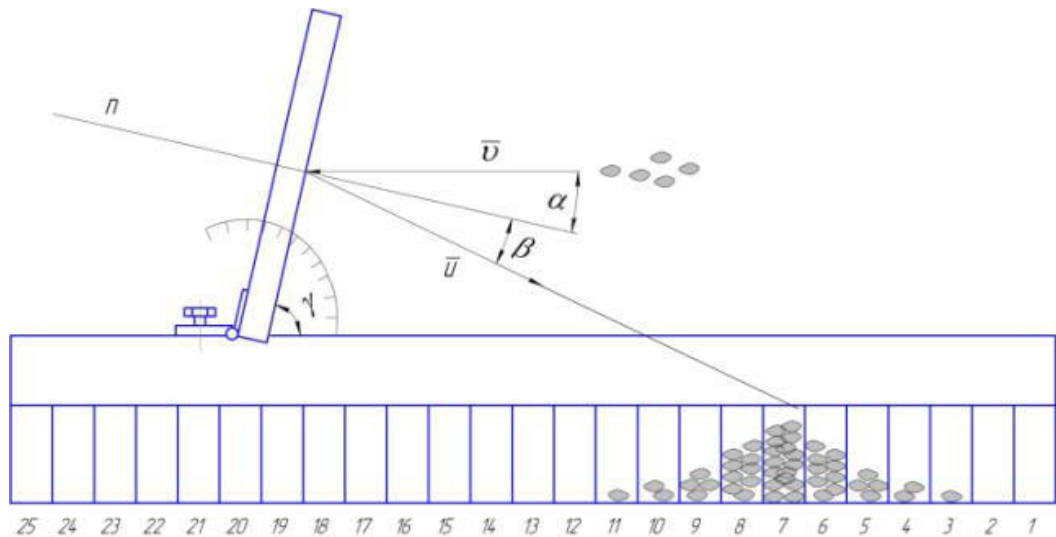


Рисунок 3.5 – К определению коэффициента восстановления

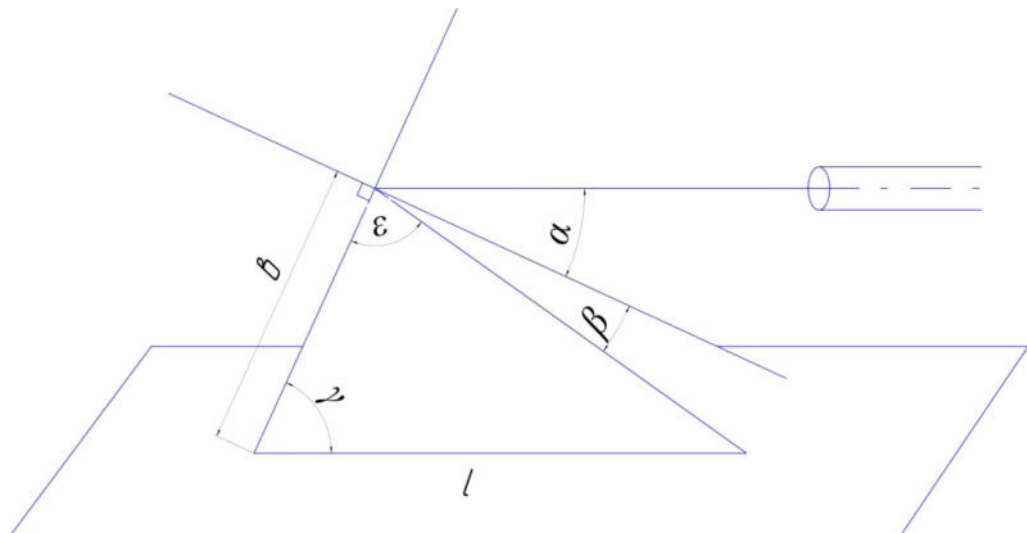


Рисунок 3.6 – К определению угла β

Полученные результаты определения коэффициента восстановления можно использовать при обосновании технологических и конструктивных параметров машин для обработки или переработки зерновых культур.

3.4 Методика определения эффективности шелушения зерна

Для исследования влияния режимов работы пневмомеханического шелушителя на показатели процесса шелушения была изготовлена

лабораторно-производственная установка (рисунок 3.7), состоящая из питательного бункера с загрузочным патрубком, вентилятора с верхними и нижними лопастями, рабочей камеры, выполненной в виде винтовой цилиндрической спирали прямоугольного сечения, верхнюю и нижнюю сетчатые продольные перегородки.

Установка позволяет регулировать скорость удара зерна о рабочую поверхность (изменением частоты вращения), подачу зерна (изменением положения задвижки в бункере для зерна), угол подачи зерна на лопастной диск броскового вентилятора (перемещением бункера относительно оси вентилятора).



Рисунок 3.7 – Общий вид пневмомеханического устройства для шелушения зерна

Данная машина позволяет провести шелушение зерна и определить коэффициент шелушения ядра и коэффициент извлечения ядра. В качестве зерна для шелушения была использована гречиха сорта «Кама». Для проведения опытов были приготовлены партии зерна гречихи с массой 150 грамм с различной влажностью 9,7...13,7%. Подготовленные партии зерна подавались на верхние лопасти вентилятора, частота вращения которого менялась с помощью частотного регулятора, а измерялась цифровым лазерным тахометром ДТ-2234С⁺. После прохода через установку продукт шелушения собирался в мешочки, затем производилось разделение на сечку, ядра, не шелушенное зерно. Все порции взвешивались на лабораторных весах ВК-600.1.

При оценке эффективности шелушения пользуются двумя показателями: коэффициентом шелушения и коэффициентом целостности ядра.

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

$$K_{ш} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (3.6)$$

где n_1 – количество нешелушенных зерен в смеси до шелушения, %;

n_2 – количество нешелушенных зерен в смеси после шелушения, %.

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

$$K_{ц.я.} = \frac{B}{B + D + M}, \quad (3.7)$$

где B – количество целых ядер после шелушения, %;

D – количество дробленых ядер после шелушения, %;

M – выход мучки, %.

Первый показатель $K_{ш}$ учитывает количественную сторону шелушения и показывает, какое относительное количество зерен ошелушено, а второй

показатель $K_{ц.я.}$ – качественную сторону и показывает относительный выход получаемого продукта.

При оценке эффективности шелушения пользуются двумя показателями: коэффициентом шелушения и коэффициентом целостности ядра. Первый показатель $K_{ш}$ учитывает количественную сторону шелушения и показывает, какое относительное количество зерен ошелушено, а второй показатель $K_{ц.я.}$ – качественную сторону и показывает относительный выход получаемого продукта. Показатель эффективности шелушения $E_{шел}$ учитывающий вышеперечисленные коэффициенты будет равен:

$$E_{шел} = K_{ш} \times K_{ц.я.} \quad (3.8)$$

Однако этот показатель малоэффективен, так как может быть равен одной и той же эффективности при различных значениях коэффициента шелушения и коэффициента целостности ядра.

3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментов

Одной из задач статистической обработки экспериментальных данных - отыскание некоторых величин, характеризующих выборную статистическую совокупность. Достаточную информацию об эксперименте можно получить по таким характеристикам: среднее значение – \bar{x} ; стандартное отклонение (среднее квадратическое отклонение) – S ; стандартная ошибка (ошибка средней) – $S_{\bar{x}}$; коэффициент вариации – ν .

Наиболее широко используемой характеристикой является средняя арифметическая, представляющая собой частное от деления суммы значений всех вариантов на их число:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}. \quad (3.9)$$

Одна из важнейших статистических характеристик – среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеяние значений вариантов по отношению к середине распределения, т.е. к средней арифметической:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.10)$$

где x – значение отдельных вариантов;

\bar{x} – средняя арифметическая;

n – число вариант.

Среднеквадратическое отклонение – именованное число и выражается в тех же единицах, что и данные измерения. Это затрудняет сравнение разноразмерных признаков для оценки степени их варьирования. Относительный показатель изменчивости изучаемого материала может быть вычислен в виде коэффициента вариации:

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%. \quad (3.11)$$

Одна из основных задач статистического анализа – установление степени приближения оценок (средней арифметической, среднего квадратического отклонения и других), вычисленных для выборки, к таким же параметрам генеральной совокупности. Прямая проверка этого, как правило, невозможна, однако теория математической статистики дает возможность с определенной вероятностью установить пределы, в которых находится средняя генеральной совокупности. Для этого вычисляется ошибка средней:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.12)$$

Эта величина, выраженная в тех же единицах измерения, что и средняя арифметическая, характеризует ошибку, которая допускается рассматривая \bar{x} в качестве средней генеральной совокупности. Учитывая это, среднюю арифметическую записывают обычно с ее ошибкой – $\bar{x} = \pm S_{\bar{x}}$. Стандартное отклонение, средняя квадратичная ошибка отдельного измерения определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\Pi} (m_{cp} - m_i)^2}{\Pi}}, \quad \Pi \rightarrow \infty \quad (3.13)$$

где m_{cp} – среднее арифметическое значение;

m_i – значение отдельных вариантов;

Π – повторность. (периодичность).

Коэффициент вариации – относительная средняя квадратическая ошибка измеряется в процентах и определяется по формуле

$$W = \frac{\sigma}{m_{cp}} \cdot 100\% \quad (3.14)$$

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Результаты определения влажности зерна гречихи

Одним из основных показателей, характеризующих физико-механические и технологические свойства зерна, является влажность, оказывающая влияние на разницу в величинах разрушающих усилий оболочки и ядра зерна гречихи. Чем больше эта разница, тем эффективнее процесс шелушения с точки зрения приложения необходимого усилия для разрушения оболочки и при этом сохранения ядра в целостности.

Для шелушения зерна гречихи на существующих машинах оптимальная влажность ее после гидротермической обработки считается 12...13,5%. Эксперименты проводились с зерном не прошедшим гидротермическую обработку с влажностью 11,6; 11,8; 12%.

Порядок определения влажности зерна. Процесс определения влажности зерна показан на рисунках 4.1, 4.2.



Рисунок 4.1 – Процесс взвешивания массы семян

Взвешиваем на весах 5 бюксов с точностью до 0,01г. Далее исследуемый материал размалываем (примерно 30г) и помещаем в отдельную емкость с хорошо притертой крышкой. Из этой емкости при помощи совочка отбираем порции весом ровно 5г и помещаем в бюксы.



Рисунок 4.2 – Процесс помещения бюксов в сушильный шкаф

Предварительно нагреваем сушильный шкаф до температуры 140°C . После этого, помещаем бюксы в шкаф, предварительно открыв их. Бюксы выдерживаем в сушильном шкафу в течение 40 минут при температуре $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$. По истечении времени достаём бюксы из шкафа, закрываем крышками и охлаждаем в течение 15...20 минут.

После охлаждения бюксы с навесками и крышками взвешиваем на весах. По разнице в массе до и после высушивания устанавливаем массу испарившейся влаги, выраженную в процентах к навеске массой 5г.

Влажность рассчитываем по формуле:

$$w = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}, \quad (4.1)$$

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.

Определения влажности для каждой пробы проводят дважды. Влажность исследуемой пробы находят как среднее арифметическое значение из этих двух определений. Расхождение между двумя определениями допускается не более $\pm 0,5\%$.

При проведении эксперимента был составлен протокол (см. Приложение Б). Данные эксперимента были приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований по определению влажности зерна гречихи

Номер бюкса, №	Масса бюкса с крышкой – а, г	Масса бюкса с крышкой и навеской размолотого зерна до высушивания – в, г	Масса бюкса с крышкой и навеской размолотого зерна после высушивания – с, г	Влажность $w = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}$, %	Средняя влажность $w_{\text{ср}}, \%$
100	19,85	24,85	24,26	11,8	11,9
041	21,30	26,30	25,70	12	
088	19,90	24,90	24,30	12	
017	19,94	24,94	24,30	12	
035	19,98	24,98	24,40	11,6	

Из таблицы 4.1 видно, что средняя влажность зерна исследуемой гречихи $w_{\text{ср}} = 11,9\%$.

4.2 Результаты исследований определения коэффициента восстановления зерна гречихи

Проведя эксперименты, согласно методике изложенной в разделе 3, нами были проведены эксперименты по определению коэффициента восстановления зерна гречихи в зависимости от его влажности.

Данное исследование проводилось на разработанной нами, экспериментальной лабораторной установке для определения коэффициента восстановления (рисунок 4.3) [28].

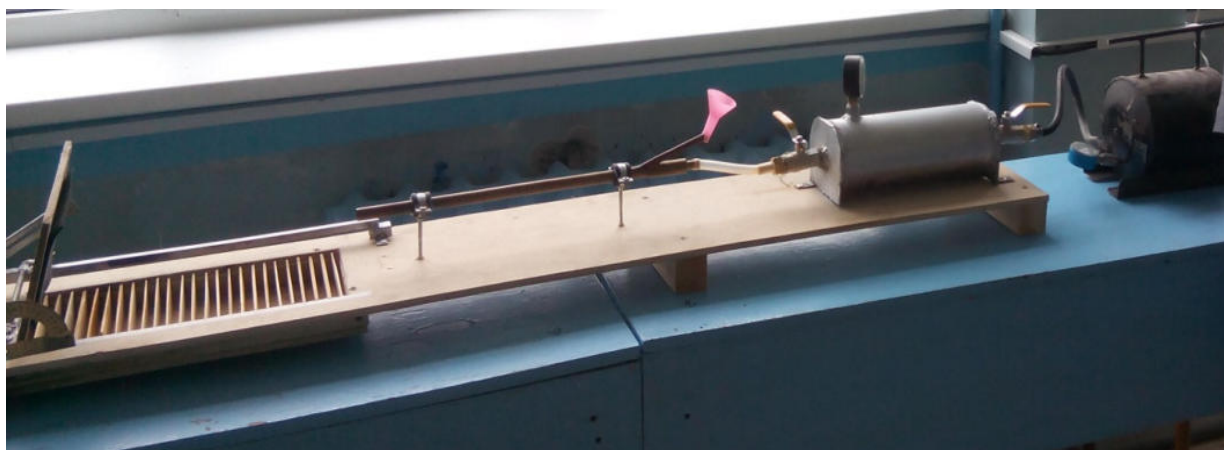


Рисунок 4.3 – Экспериментальная лабораторная установка для определения коэффициента восстановления зерна

В качестве объекта исследования был выбран один из последних районированных сортов гречихи – «Кама».

Вначале, как представлено на рисунке 4.1, 4.2, на весах ВК-600.1 взвешиваем необходимое количество зернового материала. На каждом этапе эксперимента исследованию подвергалось 30 грамм семян гречихи.

Первый эксперимент проводится при угле подачи 45^0 , который подбирается с помощью транспортира (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Регулировка угла подачи

Как видно из рисунка 4.5, исследуемый материал подается в бункер.



Рисунок 4.5 – Подача исследуемого материала в бункер

Таким образом, перемещаясь по разгонной трубе воздушный поток, который создается при помощи компрессора и рессивера, захватывает зерно из бункера и выбрасывает на наклонную поверхность. Отражаясь от этой поверхности под определенным углом, который зависит от коэффициента восстановления, зерно попадает в одну из ячеек емкости (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Ячейки емкости с зернами

Затем, как представлено на рисунке 4.7 определяем количество семян в ячейках.

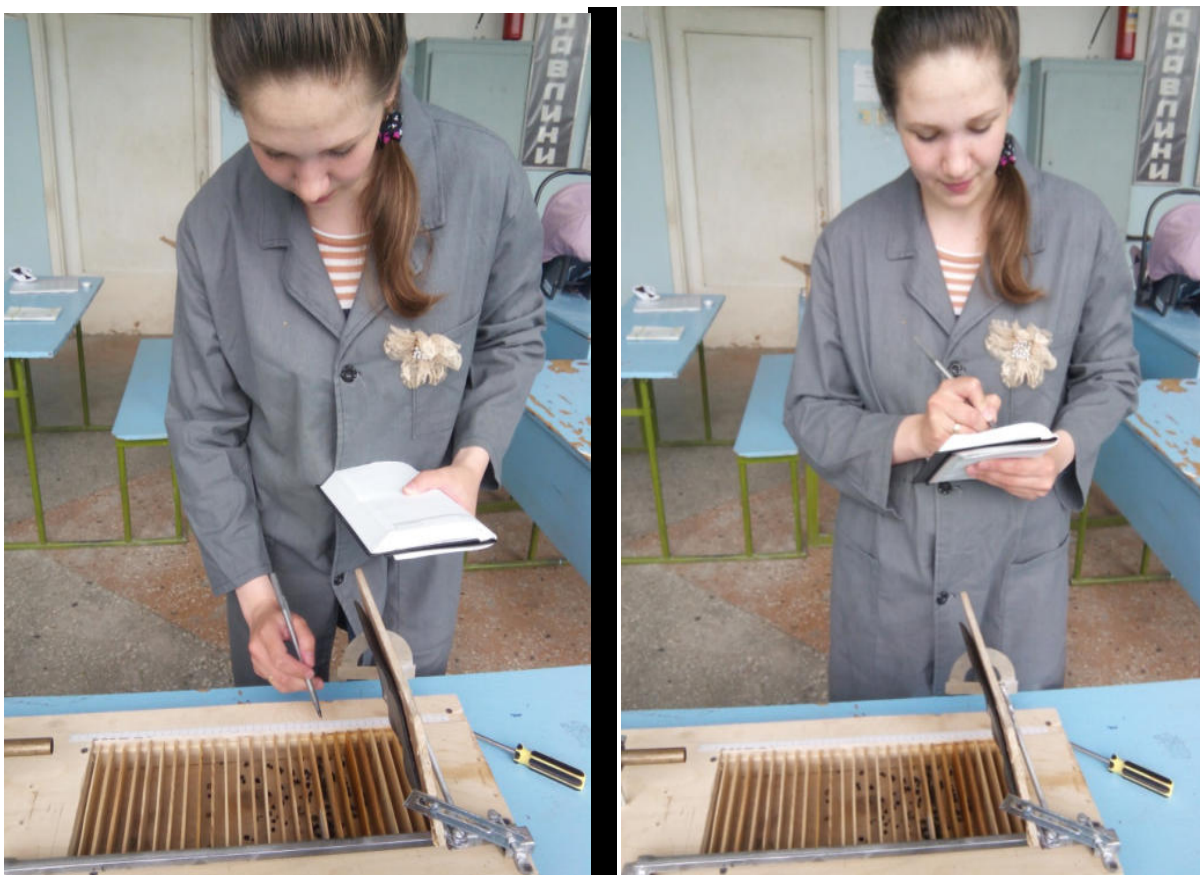


Рисунок 4.7 – Определение количества семян в ячейках

Последующие эксперименты проводились изменяя влажность зерна гречихи и угол наклонной поверхности.

1. Угол 45^0 , влажность 11%;
2. Угол 60^0 , влажность 12%;
3. Угол 30^0 , влажность 9%;
4. Угол 75^0 , влажность 13%;

По полученным данным, по формуле 3.2 определяем коэффициент восстановления зерна.

Проведя эксперименты, согласно изложенной методики, нами был определен коэффициент восстановления зерна гречихи в зависимости от её влажности (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Результаты значения коэффициента восстановления зерна гречихи

№ опыта	W, %	K _В	S	v	S _х
1	8,5	0,43	0,21	48,59	0,03
2	11,5	0,32	0,28	87,46	0,04
3	16	0,28	0,25	44,0	0,04

По таблице видно, что при влажности зерна гречихи 8,5% его коэффициент восстановления равен 0,43, при влажности зерна гречихи 11,5% его коэффициент восстановления равен 0,32, при влажности зерна гречихи 16% его коэффициент восстановления равен 0,28. Данные экспериментальных исследований приведены в приложении (см. Приложение А).

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что разрабатываемая нами лабораторная установка позволяет определять коэффициент восстановления зерна любой культуры. Знание этого технологического свойства позволит, при разработке новых сельскохозяйственных машин и их рабочих органов, взаимодействующих с зерном, рационально выбирать технологические режимы и конструктивное исполнение для повышения эффективности работы. Также знание коэффициента восстановления зерна позволит контролировать процесс обработки и переработки зерна техническими средствами и своевременно вносить в этот процесс корректировки.

Лабораторная установка внедрена в учебный процесс для проведения лабораторных работ по дисциплине “Технологические свойства зерна” студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 Агроинженерия.

4.3 Результаты определения эффективности шелушителя зерна гречихи

Целью лабораторно-производственных экспериментов является определение оптимальной области факторов, оказывающих наибольшее воздействие на технологическую эффективность шелушения при использовании установки пневмомеханического типа. Теоретические исследования и лабораторные эксперименты показали, что такими факторами являются влажность перерабатываемого зерна и частота вращения рабочих органов.

Целью дальнейшего анализа результатов экспериментальных данных является выявление зависимости параметров, характеризующих качество шелушения от рассматриваемых факторов.

На основе изложенной выше методики 3.4 были проведены соответствующие экспериментальные исследования по оценке эффективности работы пневмомеханического устройства для шелушения зерна гречихи (рисунки 4.8, 4.9, 4.10).



Рисунок 4.8 – Измерение частоты вращения вентилятора



Рисунок 4.9 – Взвешивание гречихи



Рисунок 4.10 – Загрузка гречихи в приемный патрубок

В результате проведенных ранее исследований были определены факторы, оказывающее наибольшее влияние на эффективность процесса шелушения:

1. Влажность зерна гречихи, (W , %);
2. Частота вращения рабочего органа машины (для рассматриваемого шелушителя – частота вращения вентилятора), (мин^{-1});
3. Коэффициент шелушения, ($K_{\text{ш}}$);
4. Коэффициент цельности ядра, ($K_{\text{ц.я.}}$).

Результаты проведения экспериментов по определению показателей эффективности работы при шелушении гречихи на прототипе шелушителя приведены в таблице 4.3 и на рисунках 4.6 и 4.7.

Таблица 4.3 – Результаты определения показателей эффективности шелушения зерна гречихи

№	Влажность, W	Частота вращения вентилятора, мин^{-1}	Коэффициент шелушения, $K_{\text{ш}}^{\text{ср}}$	Коэффициент целостности ядра, $K_{\text{ц.я.}}^{\text{ср}}$
1	9,7	1200	0,64	0,60
2		1350	0,70	0,58
3		1500	0,79	0,52
4		1650	0,83	0,50
5		1800	0,92	0,41
6	10,9	1200	0,52	0,63
7		1350	0,61	0,60
8		1500	0,73	0,57
9		1650	0,84	0,54
10		1800	0,91	0,49
11	12,3	1200	0,48	0,68
12		1350	0,56	0,63
13		1500	0,68	0,59

14		1650	0,76	0,55
15		1800	0,77	0,51
16	13,7	1200	0,43	0,71
17		1350	0,47	0,68
18		1500	0,50	0,63
19		1650	0,59	0,60
20		1800	0,6	0,56

По результатам экспериментов были построены графические зависимости, показывающие влияние влажности зерна гречихи и частоты вращения вентилятора, на коэффициент шелушения и коэффициент целостности ядра (рисунки 4.11 и 4.12).

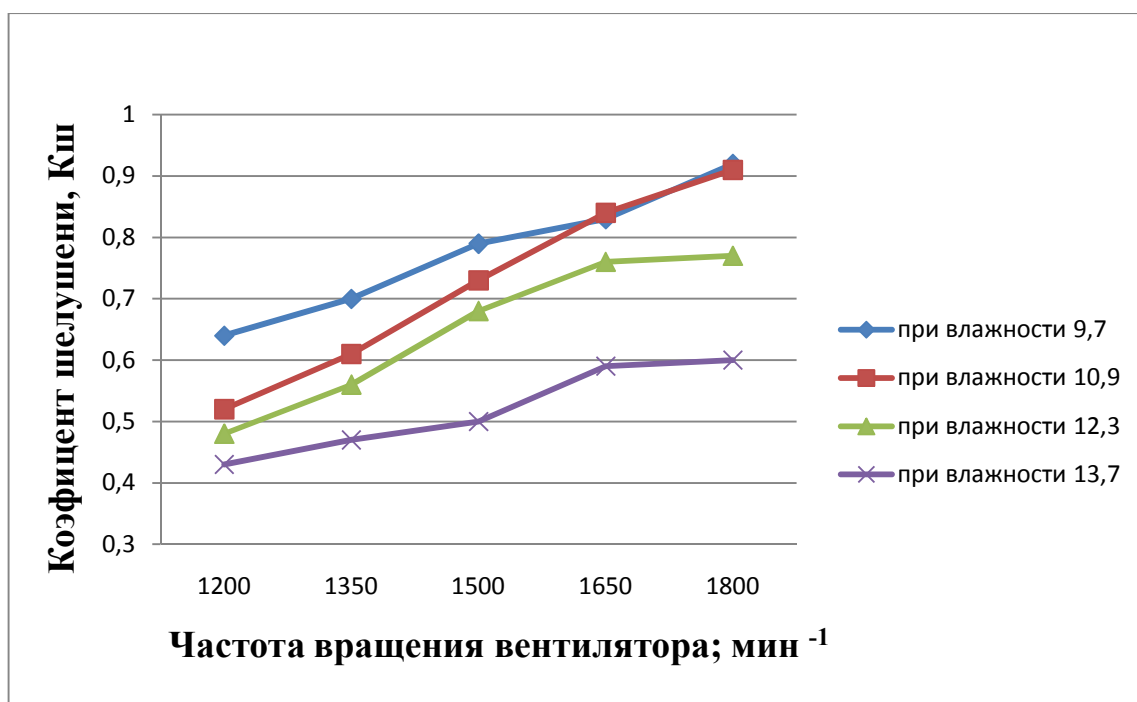


Рисунок 4.11 – График зависимости коэффициента шелушения зерна гречихи от частоты вращения вентилятора

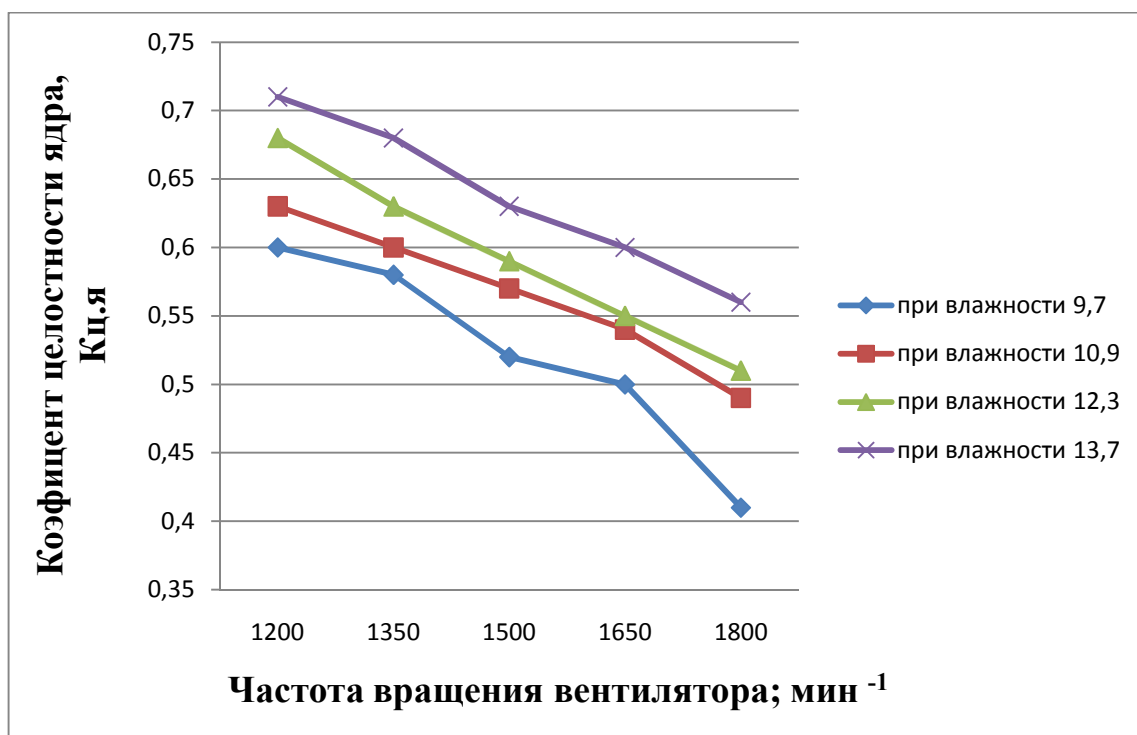


Рисунок 4.12 – График зависимости коэффициента целостности ядра от частоты вращения вентилятора

Анализируя полученные графические зависимости можно, отметить, что при различных влажностях с увеличением частоты вращения диска увеличивается коэффициент шелушения зерна. При влажности 9,7% коэффициент шелушения будет максимальным, а 13,7% минимальным. Коэффициент шелушения зерна увеличивается со снижением влажности перерабатываемого продукта. При влажности гречихи 13...14% во время ее переработки максимальная эффективность шелушения достигается при частоте вращения вентилятора не менее 1650 мин⁻¹.

Анализируя график зависимости коэффициента целостности ядра от частоты вращения вентилятора отметим, что увеличение частоты вращения диска приводит к снижению коэффициента целостности ядра, что объясняется увеличением силы удара зерна о рабочую поверхности машины. Вне зависимости от влажности коэффициент целостность ядра снижается при увеличении частоты вращения вентилятора, поэтому для достижения высокого

качества шелушения предлагается использовать частоту вращения вентилятора от 1650 мин^{-1} до 1800 мин^{-1} при влажности зерна 9,7%.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции

Масса конструкции определяется по формуле [18]:

$$G = (G_k + G_r) \cdot K, \quad (5.1)$$

где G_k – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

G_r – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

K – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов ($K=1,05 \dots 1,15$).

Масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Расчёт массы сконструированных деталей

№ пп	Наименование деталей.	Масса одной детали, кг.	Количество деталей.	Общая масса деталей, кг
1	2	3	4	5
1.	Загрузочный бункер	1	1	1
2.	Разбрасывающие диски - вентилятор	5	1	5
3.	Рама	15	1	15
4.	Рабочая камера	17	1	17
5.	Корпус	3	1	3
6.	Корпус вентилятора	5	1	5
Итого:				46

Масса покупных деталей и цены на них представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Масса покупных деталей и цены

№ пп	Наименование деталей	Количество	Масса, кг		Цены, руб	
			Одной	Всего	Одной	Всего
1	2	3	4	5	6	7
1.	Болты М8	12	0,02	0,24	10	120
2.	Болты М6	28	0,015	0,42	7	196
3.	Гайка М8	12	0,01	0,12	5	60
4.	Гайка М6	28	0,01	0,28	4	112
5.	Шайбы	40	0,005	0,2	1	40
6.	Гровер	20	0,01	0,2	2	40
7.	Электродвигатель	1	10	10	10500	10500
8.	Лист железный	1 50*50	1,5	1,5	520	520
Итого:			12,96		11588	

Определим массу конструкции по формуле 5.1, подставив значения из таблицы 5.1:

$$G = (46+12,96) \cdot 1,05 = 61,90 \text{ кг}$$

Определение балансовой стоимости новой конструкции производится на основе сопоставления ее отдельных параметров по расчетно-конструктивному способу с использованием среднеотраслевых нормативов затрат на 1 кг. массы:

$$C_6 = [G_k \cdot (C_3 \cdot E + C_m) + C_{пд}] \cdot K_{нац}, \quad (5.2)$$

где G_k – масса конструкции без покупных деталей и узлов, кг;

C_3 – издержки производства, приходящиеся на 1 кг, массы конструкции, руб. ($C_3=0,02...0,15$);

E – коэффициент измерения стоимости изготовления машин в зависимости от объема выпуска (принимаем $E=1,5$);

C_m – затраты на материалы, приходящиеся на 1 кг массы машин, руб./кг.
($C_m=0,68\dots0,95$);

$C_{пд}$ – дополнительные затраты на покупные детали и узлы, руб.;

$K_{нац}$ – коэффициент, учитывающий отклонение прейскурантной цены от балансовой стоимости ($K_{нац} = 1,15\dots1,4$).

$$C_6 = [46 \cdot (0,15 \cdot 1,5 + 0,8) + 11588] \cdot 1,25 = 14544 \text{ руб}$$

5.2 Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение

Прежде чем приступить к расчету технико-экономических показателей, приведём исходные данные.

Таблица 5.3 - Исходные данные сравниваемых конструкций

Наименование	Проектируемой	Базовой
1	2	3
Масса конструкции, кг	46	100
Балансовая стоимость, руб.	14544	20000
Потребная мощность, кВт	3	4
Часовая производительность, кг/ч	2,5	2,8
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Разряд работы	IV	IV
Тарифная ставка, руб./ч.	200	200
Норма амортизации, %	12,5	12,5
Норма затрат на ремонт ТО, %	10	10
Годовая загрузка конструкции, ч	700	700

С помощью этих данных рассчитываются технико-экономические показатели эффективности конструкции триера, и дается их сравнение.

При расчетах показатели базового (существующего) варианта обозначаются как X_0 , а проектируемого как X_1 .

Энергоемкость процесса определяют из выражения:

$$\mathfrak{E}_e = \frac{N_e}{W_z} \quad (5.3)$$

где N_e – потребляемая конструкцией мощность, кВт;

W_z – часовая производительность конструкции; кг/ч.

Подставив значения в формулу (5.3) получим:

$$\mathfrak{E}_e^0 = \frac{4}{2,5} = 1,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$$

$$\mathfrak{E}_e^1 = \frac{3}{2,8} = 1,07 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$$

Металлоемкость процесса определяют по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_z \cdot T_{год} \cdot T_{сл}} \quad (5.4)$$

где G – масса конструкции, кг;

$T_{год}$ – годовая загрузка конструкции, час;

$T_{сл}$ – срок службы конструкции, лет.

$$M_e^0 = \frac{46}{2,5 \cdot 700 \cdot 10} = 0,002 \text{ кг/т}$$

$$M_e^1 = \frac{100}{2,8 \cdot 700 \cdot 10} = 0,005 \text{ кг/т}$$

Фондоёмкость процесса определяют по формуле:

$$F_e = \frac{C_6}{W_z \cdot T_{год}} \quad (5.5)$$

где C_6 – балансовая стоимость конструкции, руб.

$$F_e^0 = \frac{20000}{2,5 \cdot 700} = 11,42 \text{ руб./кг}$$

$$F_e^1 = \frac{14544}{2,8 \cdot 700} = 7,42 \text{ руб./кг}$$

Трудоёмкость процесса определяют по формуле:

$$T_e = \frac{n_p}{W_z} \quad (5.6)$$

где n_p – количество рабочих, чел.

$$T_e^0 = \frac{1}{2,5} = 0,40 \text{ чел} \cdot \frac{\text{час}}{\text{ед}}$$

$$T_e^1 = \frac{1}{2,8} = 0,35 \text{ чел} \cdot \text{час/кг}$$

Себестоимость работы определяют по формуле:

$$S = C_{\text{зн}} + C_{\text{э}} + C_{\text{пто}} + A \quad (5.7)$$

где $C_{\text{зн}}$ – затраты на оплату труда, руб/кг;

$C_{\text{пто}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб/кг;

$C_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб/кг;

A – амортизационные отчисления, руб/кг.

Затраты на заработную плату определяют по формуле:

$$C_{\text{зн}} = Z \cdot T_e \quad (5.8)$$

где Z - часовая тарифная ставка, руб/ч:

$$C_{\text{зн}}^1 = 200 \cdot 0,35 = 70 \text{ руб/кг}$$

$$C_{\text{зн}}^0 = 200 \cdot 0,40 = 80 \text{ руб./кг}$$

Затраты на электроэнергию определяют по формуле:

$$C_{\text{э}} = \Pi_{\text{э}} \cdot \mathcal{E}_c \quad (5.9)$$

где $\Pi_{\text{э}}$ - комплексная цена за электроэнергию, руб/кВт.

$$C_{\text{э}}^1 = 2,8 \cdot 1,07 = 2,99 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{э}}^0 = 2,8 \cdot 1,6 = 4,48 \text{ руб./кг}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяют по формуле:

$$C_{пто} = \frac{C_{\delta} \cdot H_{пто}}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.10)$$

где $H_{пто}$ - суммарная норма затрат на ремонт и техобслуживание, %.

Полученные значения подставим в формулу 3.3.10:

$$C_{пто}^1 = \frac{14544 \cdot 10}{100 \cdot 2,8 \cdot 700} = 0,74 \text{ руб./кг}$$

$$C_{пто}^0 = \frac{20000 \cdot 10}{100 \cdot 2,5 \cdot 700} = 1,14 \text{ руб./кг}$$

Затраты на амортизационные отчисления определяют по формуле:

$$A = \frac{C_{\delta} \cdot a}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.11)$$

где a - норма амортизации, %.

$$A^1 = \frac{14544 \cdot 12,5}{100 \cdot 2,8 \cdot 700} = 2,92 \text{ руб./кг}$$

$$A^0 = \frac{20000 \cdot 12,5}{100 \cdot 2,5 \cdot 700} = 1,42 \text{ руб./кг}$$

Полученные значения подставим в формулу 5.7:

$$S_{\text{экс}}^1 = 70 + 2,99 + 0,74 + 0,92 = 74,65 \text{ руб./кг}$$

$$S_{\text{экс}}^0 = 80 + 4,48 + 1,14 + 1,42 = 87,04 \text{ руб./кг}$$

Приведённые затраты определяют по формуле:

$$C_{\text{прив}} = S + E_{\text{н}} \cdot F_{\text{н}} \cdot k \quad (5.12)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_{\text{н}} = 0,1$);

$F_{\text{н}}$ – фондоемкость процесса, руб./кг;

k – удельные капитальные вложения, руб./кг.

$$C_{\text{прив}}^1 = 74,65 + 0,1 \cdot 7,42 = 75,39 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{прив}}^0 = 87,04 + 0,1 \cdot 11,42 = 88,18 \text{ руб./кг}$$

Годовую экономию определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{год} = (S_0 - S_1) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{год} \quad (5.13)$$

$$\mathcal{E}_{год} = (87,04 - 74,65) \cdot 2,8 \cdot 700 = 24284 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$E_{год} = (C_{прив}^0 - C_{прив}^1) \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{год} \quad (5.14)$$

$$E_{год} = (88,18 - 75,39) \cdot 2,8 \cdot 700 = 25068 \text{ руб}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{ок} = \frac{C_{\delta 1}}{\mathcal{E}_{год}} \quad (5.15)$$

$$T_{ок} = \frac{14544}{24284} = 0,6 \text{ года}$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений определяют по формуле:

$$E_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{год}}{C_{\delta}} \quad (5.16)$$

$$E_{эф} = \frac{24284}{14544} = 1,66$$

Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

№ пп	Наименование показателей	Базовый	Проект	Проект в % к базовому
1	2	3	4	5
1	Часовая производительность, кг/с	2,5	2,8	112
2	Фондоёмкость процесса, руб./кг	11,42	7,42	64
3	Энергоёмкость процесса, кВт./кг	1,6	1,07	66
4	Металлоёмкость процесса, кг/т	0,002	0,005	250
5	Трудоёмкость процесса, чел*ч/кг.	0,40	0,35	87
6	Уровень эксплуатационных затрат, руб./кг	87,04	74,65	85
7	Уровень приведённых затрат, руб./кг.	88,18	75,39	85
8	Годовая экономия, руб.	24284		
9	Годовой экономический эффект, руб.	25068		
10	Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,6		
11	Коэффициент эффективности капитальных вложений	1,66		

Как видно из таблицы 5.4 спроектированная конструкция шелушителя является экономически эффективной, так как срок окупаемости пол года и коэффициент эффективности равен: 1,66.

Выводы

1. На основе анализа ресурсосберегающих технологий гречневой крупы и конструкции машин для шелушения зерна гречихи выявлены недостатки разработанных технологий и машин для переработки зерна в условиях сельскохозяйственного товара производителя (в условиях гречиха сеющих хозяйств).

2. На основе анализа теоретических исследований шелушения зерна гречихи с использованием технических средств определено, что, не смотря на большой объем проведенных исследований, в этой области недостаточно исследований влияния коэффициента восстановления зерна на эффективность процесса шелушения, кроме этого отсутствует многократное апробированная методика определения коэффициента восстановления зерна гречихи.

3. Теоретическими исследованиями определено что важнейшее значение для качественного шелушения имеет направление скорости удара зерна о поверхности деки и дальнейшего взаимодействия с ней, что в свою очередь на прямую зависит от коэффициента восстановления зерна. Выявлено, что для увеличения коэффициента полезного действия пневмомеханического устройства для шелушения зерна гречихи необходимо обеспечить прямой угол удара зерна о поверхности деки.

4. Разработанная конструкция пневмомеханического устройства для шелушения зерна гречихи позволяет осуществлять качественное шелушение зерна за счет ударов и трения его о стенки рабочей камеры и верхнюю сетчатую продольную перегородку. Кроме этого конструкцию машины предусматривает разделение получаемого продукта на три фракции. На данное техническое решение получены патенты на изобретение № 2660903 РФ и на полезную модель № 173613 РФ.

5. На основе экспериментальных исследований определения коэффициента восстановления зерна гречихи при различной влажности: $K_B =$

0.43 при влажности зерна гречихи 8,5%, $K_B = 0.32$ при влажности зерна гречихи 11.5%, $K_B = 0.28$ при влажности зерна гречихи 16%.

6. Определены рациональные параметры и режимы работы пневмомеханического устройства. Наилучшие показатели эффективности шелушения наблюдаются при обработке зерна гречихи влажностью 9,7%. при частоте вращения вентилятора не менее 1650 мин^{-1} .

7. Дана технико-экономическая оценка использования пневмомеханического устройства: разработана новая конструкция шелушителя с цилиндрической спиральной шелушильной камерой, использование которой позволяет интенсифицировать процесс шелушения, и обеспечить высокое качество готового продукта. При этом данный шелушитель будет показывать высокую эффективность работы в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя. Годовой экономический эффект от применения пневмомеханического шелушителя составит 24, 3 тыс. руб., срок окупаемости составляет пол года (в ценах 2019 г).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1806009 СССР, Способ выработки гречневой крупы /Г.С. Зелинский, Л.С. Зелинская, А.Н. Зенкова. Оpubл. 30.03.93, Бюл. №12.
2. Авдеев, Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. / Н.Е. Авдеев. – М.:Колос, 1975. – 152 с.
3. Авт. св. СССР N 543405, кл. В 02 В 1/00. Способ выработки гречневой крупы. Я. М.Жислин, Е.Н.Гринберг, Н.Г.Фролов, М.Ф.Фролова, В.Я.Кузнецова. N 2149265/13. Заявл. 27.06.75. Оpubл. 25.01.77. Бюл. N 3, 3 с.
4. Айзикович, Л.Е. Технология производства муки и круп / Л.Е. Айзикович.– М.: Агропромиздат, 2001 – 391 с.
5. Алексеев, Е.Л. Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности / Е.Л. Алексеев, В.Ф. Пахомов. – М.: ВО "Агропромиздат", 1987, 272 с.
6. Алферов, С. А. Механическая повреждаемость зерна при ударе / С.А. Алферов, А. А. Панов //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1981. – № 3. – С. 50-51.
7. Анисимова, Л.В. Гидротермическая обработка зерна гречихи без использования пропаривания / Л.В. Анисимова // Изв. Вузов. Пищевая технология. – 2000. – №5-6. – С.50-52.
8. Анисимова, Л.В. Распределение влаги в зерне крупяных культур при увлажнении и отволаживании / Л.В. Анисимова // Изв. Вузов. Пищевая технология. – 2005. – №1. – С.60-62.
9. Анискин В.И. Приоритеты концепции машинно-технологического обеспечения растениеводства / В.И. Анискин // Науч. Тр. ВИМ. 2002. - Т.138. – С. 118-131.
10. Анискин, В.И. Задачи исследований в области очистки зерна /В.И. Анискин, А.С. Матвеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 1. – С. 21-22.

11. Анискин, В.И. К созданию перспективного оборудования для производства зерна /В. И. Анискин // Техника в сельском хозяйстве. 1994. – № 5. – С. 13-15.
12. Анискин, В.И. Методологические изыскания инженерных решений машинных сельскохозяйственных процессов /В.И.Анискин, В.М. Дринча //НТБ ВИМ. – М., 1994. – Вып. 89. – С. 3-7.
13. Барилл, А.В. Центробежно-вибрационная зерноочистка / А.В. Барилл, Т.А. Корнилов // Труды ВНИИМЭСХ, изд-во Ростовского университета, 1960, вып. III, С. 87-101.
14. Батуев, Г.С. Инженерные методы исследования / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубко, А.К. Ефремов, А.А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1969. – 204 с.
15. Бессонов, В.Я. Исследование процесса сепарирования зерна на ситах, совершающих круговое поступательное движение в горизонтальной плоскости / В.Я. Бессонов, В.В. Гортинский //Труды ВНИИЗ. – М., – 120 – 1974, вып. 78, С. 165-169.
16. Бодртдинов А.З. Послеуборочная обработка зерна и семян. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2001. - 82с.
17. Бронштейн Н.Н., Семендаев К.А. Справочник по математике. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1967. -608 с.
18. Булгариев Г.Г. Методические указания по анализу хозяйственной деятельности предприятий в дипломных проектах (для студентов ИМ и ТС) / Г.Г. Булгариев, Абдрахманов Р.К., Калимуллин М.Н., Булатова Н.В. // Казанский государственный аграрный университет – Казань, 2011 – 35 с.
19. Бутковский, В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства// В.А. Бутковский, Е.М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.
20. Василенко, А.А. Центробежно-вибрационный метод сепарации зерна. Вестник сельскохозяйственной науки / А.А. Василенко, Е.С. Гончаров. – М., 1963, № 4, С. 95-100.

21. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – М.: Наука, 1960.
22. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
23. Гинзбург, М.Е. Технология крупяного производства /М.Е. Гинзбург.– М.: Колос, 1981. – 208 с.
24. Гринберг, Е.Н. Исследование новых способов шелушения зерна пленчатых культур для выработки крупы: дис. канд. техн. наук / Е.Н. Гринберг. –М.,1967. – 187 с.
25. Гринберг, Е.Н. Производство крупы /Е.Н Гринберг. – М.: Агропромиздат, 1986. – 174 с.
26. Далалеева М.И.. Устройство для подачи зернового материала в вентилятор броскового типа / М.И. Далалеева, Ф.Ф.Хасанов, А.В. Дмитриев // News of science and education, Volume 5, №3, Sheffield science and education ltd, 2018 – С. 26-30.
27. Далалеева, М.И. Классификация способов и анализ машин для шелушения зерна/ М.И. Далалеева, Г.И. Вагизова, А.В. Дмитриев // Студенческая наука - аграрному производству. Материалы 73-ей студенческой (региональной) научной конференции, посвященной 65-летию Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – 90с.
28. Далалеева, М.И. Лабораторная установка для определения коэффициента восстановления зерна / М.И. Далалеева, А.В. Дмитриев, Ф.Ф. Хасанов // XII MEZINÁRODNÍ VĚDECKO - PRAKTICKÁ KONFERENCE «NASTOLENÍ MODERNÍ VĚDY- 2016». – г. Прага. – 57-61 стр.
29. Далалеева, М.И. Методика определения коэффициента восстановления зерна гречихи / М.И. Далалеева, А.В. Дмитриев // Materials of the XI international scientific and practical conference scientific horizons 2015 -

office 1, velocitytower, 10 st. Mary's gate, sheffield, s yorkshire, england, s1 4lr. –г. Шеффилд.- 71-73стр.

30. 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.

31. Дмитриев А.В., Нуруллин Э.Г. Определение энергии разрушения зерна гречихи. // Актуальные проблемы сельскохозяйственного производства: Материалы межрегиональной научно-практической конференции, посвященной к 70-летию ЧГСХА./ЧГСХА Чебоксары. 2001. с. 388-393.

32. Дмитриев А.В.; Федоров Д.Г.; Ибятков Р.И.; Лотфуллин Р.Ш. Устройство для шелушения зерна с реверсивной декой. // Патент № 140311 РФ. МПК В02В3/00. Заявлено 02.07.2013. Опубл. 10.05.2014.

33. Дринча, В.М. Влияние машинного воздействия на качество семян / В.М. Дринча, И.А. Пехальский, М.В. Пехальская // Техника в сельском хозяйстве. – 1998. – № 1. – С. 32-33.

34. Ермаков, С.М. Математическая теория оптимального эксперимента. /С.М. Ермаков, А.А. Жиглявский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1987. – 320 с.

35. Ибятков Р.И. К расчету траектории движения зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя с реверсивной декой/Р.И. Ибятков, А.В. Дмитриев, Р.И. Лотфуллин//Вестник Казанского ГАУ. -Казань, 2015. -№ 1(35). С. 62-67.

36. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г.Д.Кавецкий, А.В. Королев. – М.: ВО "Агропромиздат", 1991. – 432 с.

37. Каминский В., Повадюк О., Разумович П. Повышение эффективности переработки зерна гречихи в крупу. // Хлебопродукты. 1999. – №4. – С.19-20.

38. Клыков, А.Г. О возможностях комплексного использования гречихи / А.Г. Клыков, Л.М. Моисенко // Проблемы развития и научного обеспечения

АПК северных территорий Дальнего Востока / Камчат. науч.-исслед. инст. сел.хоз-ва. Новосибирск, 2005. – С. 215-218.

39. Лебедев, А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях /А.Н. Лебедев. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.

40. Лотфуллин Р.И. К вопросу шелушения зерна в пневмомеханическом шелушителе/Р.И. Лотфуллин, Р.И. Ибяттов, А.В. Дмитриев, Б.Г. Зиганшин//Вестник Казанского ГАУ. -Казань, 2016. - Т. 11. № 4. С. 84-88.

41. Маланичев И.В. Разработка и исследование пневмомеханического шелушителя: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Маланичев Игорь Вячеславович. - Казань, 2009. - 171 с.

42. Марьин, В.А. Изменение морфологии поверхности влажного зерна гречихи в процессе гидротермической обработки / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // Хранение и переработка зерна. – 2012. – № 3 (153). – С.42-44.

43. Марьин, В.А. Оптимизация гидротермической обработки зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – № 1. – С. 18-20.

44. Мельников Е.М. Технология крупяного производства. М.: Агропромиздат, 1991, с. 110 - 120.

45. Мельников, Е.М. Влияние гидротермической обработки зерна гречихи на его биологическую ценность /Е.М. Мельников, Т.В. Локтова, В.Я. Шаблий, З.С. Когон //Прикладная биология и микробиология. 1970. – Том 6. – Вып. 1.

46. Мельников, Е.М. Технология производства гречневых хлопьев / Е.М. Мельников, А. Ушакова, Е. Серегина // Хлебопродукты. 2000. – №9. – С. 10-11.

47. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов /С.В. Мельников, В.Р.Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

48. Методические указания по применению математических методов планирования эксперимента в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1973. – 40 с.
49. Налимов, В.В. Теория эксперимента /В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971.– 208 с.
50. Непомнящий, Е.А. К расчету технологической эффективности. Кравченко. – Изв. вузов СССР, серия: Пищевая технология, 1966, Р5. – С.119-122.
51. Никифорова, Т. Потенциальные возможности побочных продуктов крупяных производств / Т. Никифорова, Е. Мельников, С. Севериненко // Хлебопродукты. 2006. – №10. – С. 62.
52. Новая технология переработки зерна гречихи в крупу, Каминский В.Д., заслуженный изобретатель Украины, д.т.н., профессор ОГСХИ, Бабич М.Б., к.т.н., генеральный директор НПО «АГРО-СИМО-МАШБУД» «Хранение и переработка зерна» № 5, 1999 г.
53. Нуруллин Э.Г. Дмитриев А.В. Технологическое оборудование для переработки и хранения зерна. Часть 3. Метод. пособие для выполнения лабор. работ. 2006.
54. Нуруллин Э.Г. Машины для послеуборочной обработки зерна и семян. Методическое пособие для выполнения лабораторных работ. Часть 2. 2008.
55. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханические шелушители зерна (Теория, конструкция, расчет) / Э.Г. Нуруллин. – Казань, 2011. – 308 с.
56. Нуруллин Э.Г. Разработка основ теории и машин пневмомеханического шелушения зерна крупяных культур. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Казань, 2005.
57. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В., Закиров А.И., Определение оптимальной частоты вращения лопастного диска броскового вентилятора пневмомеханического шелушителя. // Проблемы механизации сельского хозяйства / Труды Казанской гос. СХА (Материалы юбилейной международной конференции). Том 71. Казань, 2002. – с. 257-261.

58. Нуруллин Э.Г.; Дмитриев А.В.; Халиуллин Д.Т.; Маланичев И.В.; Чернявский С.А.; Нуруллин Э.Э. Протравливатель семян пневмомеханического типа. // Патент № 2380876 РФ. МПК А01С1/00. Заявлено 27.06.2008. Оpubл. 10.02.2010.
59. Нуруллин, Э.Г. Определение механических характеристик зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин //Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. – №5. – С.24-25.
60. Нуруллин, Э.Г. Разработка и обоснование параметров пневмомеханической установки для шелушения зерна гречихи / Э.Г. Нуруллин. – Казань, 1995.
61. Нуруллин, Э.Г. Энергетика пневмомеханического шелушения / Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2004. №8. – С. 9-10.
62. Нуруллин, Э.Г. Энергетическое обоснование пневмомеханического шелушителя /Э.Г. Нуруллин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №4. – С. 38-40.
63. ОСТ 70.2.18-73. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. М.: Изд-во стандартов, 1974. – 66 с.
64. ОСТ 70.2.2-73. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки. М.: Изд-во стандартов, 1974. – 23 с.
65. Панфилов, В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств / В.А. Панфилов М.: Агропромиздат, – 1986, – 245 с. 2
66. Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств (Теория технологического потока) /В.А. Панфилов. – М., Пищевая промышленность 1993. – 186 с.
67. Пат. 2091162 В02В1/08. Способ гидротермической обработки зерна гречихи. А.Ф. Прокопенко, Е.М. Мельников, О.В. Князева Оpubл. 27.09.97. – Бюл. № 27.

68. Пат. 2164170 B02B1/00, 3/00, 5/02. Способ переработки зерна гречихив крупу. С.А. Баженов, Н.А. Трусов, Н.В. Ньюшков, Н.С. Клещева, В.Н. Власов Оpubл. 20.03.2001. – Бюл. № 8.

69. Пат. РФ 167516 Пневмомеханическое устройство для снятия плодовых оболочек с зерна / Д.Т. Халиуллин, А.В. Дмитриев, Э.Г. Нуруллин, Л.Х. Халиуллина, Р.М. Нуреев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ); заявл. 25.04.2016; опубл. 10.01.2017 Бюл. № 1.

70. Пат. РФ 181471 Устройство для шелушения зерна / Д.Г. Фёдоров, А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин, Р. И. Ибяттов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ); заявл. 21.04.2017; опубл. 16.07.2018. Бюл. №20.

71. Пат. РФ 186223 Устройство для шелушения зерна / А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин, Д.Г. Фёдоров, Ф.Ф. Хасанов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ); заявл. 11.07.2018; опубл. 11.01.2019 Бюл. №2.

72. Пат. РФ 2251454 Установка для шелушения зернопродуктов / В.Ф. Маркин, А.А. Овчинников, Н.А. Болдырева; заявитель и патентообладатель АНО УНПЦ "Волгоагротехника"; заявл. 03.06.2003; опубл. 10.05.2005.

73. Пат. РФ 2264260 Шелушитель-дезинтегратор для зерна / В.П. Каминский, Е.Н. Сокол, Л.В. Чиркова, О.В. Политух; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки (ГНУ ВНИИЗ); заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.2005.

74. Пат. РФ 2312706 Устройство для шелушения зерна крупяных культур / Нуруллин Э.Г., Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В., опубл. 26.09.2005

75. Пат. РФ 2446885 Устройство для шелушения зерна / В.Н. Невзоров, В.Н. Холопов, А.И. Ярм, В.С. Клименко, В.А. Самойлов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Красноярский государственный аграрный университет"; заявл. 15.09.2015; опубл. 10.04.2012.

76. Пат. РФ 2457904 Устройство для шелушения зерна / М.Ц. Диданов, А. М. Диданов, Г. А. Исакова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова" (КБГУ); заявл. 29.10.2010; опубл. 10.08.2012.

77. Пат. РФ 2621253 Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна / А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ); заявл. 25.04.2016; опубл. 01.06.2017. Бюл. №16.

78. Пат. РФ №2332863 Способ получения гречневой крупы / Е.М. Мельников, В.П. Изосимов, А.А. Чевокин // 10.09.2008. – Бюл. №25.

79. Пат. РФ №2445167 Устройство для шелушения зерна / А.А. Петров, С.Г. Карташов, И.П. Деркачев; заявитель и патентообладатель Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии); заявл. 07.04.2010; опубл. 20.03.2012.

80. Патент РФ № 173613, 04.09.2017 Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна // Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т., Далалеева М.И.

81. Патент РФ № 2660903, 11.07.2018 Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна // Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т., Далалеева М.И.

82. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. Издание 7-е.—М.: Наука, 1966.—551 с.
83. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин, 168 с. ил., 1 л. ил. 20 см., 2-е изд., перераб. и доп. Л. Колос Ленингр. отд-ние 1980.
84. Сепарирование зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1983. —143 с.
85. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. Изд. 4-е доп. и перераб. М.: Колос, 1975. — 496 с.
86. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна /А.Я Соколов. — М.: Колос, 1984. — 445 с.
87. Федеральная служба государственной политики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии)
http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516 *(размещено 17.12.2018)*
88. Федоров Д.Г. Определение средней силы удара для разрушения структурных элементов зерна гречихи/Д.Г. Федоров, А.В. Дмитриев, Е.С. Денисов// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (148). С. 151-155.
89. 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.
90. 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.
91. Фёдоров Д.Г., Дмитриев А.В. Определение средней силы удара для разрушения структурных элементов зерна гречихи//Journal of Advanced Research in Technical Science. -North Charleston, USA: SRC MS, GreateSpace. - 2016. № 2. С. 94-97.

92. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. – Киев: Наукова думка, 1974.–743 с.
93. 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.
94. 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.
95. Халиуллин Д.Т.; Нуруллин Э.Г.; Дмитриев А.В. Устройство для снятия плодовой оболочки с зерна // Патент № 88990 РФ. МПК В02В3/00. Заявлено 22.06.2009. Оpubл. 27.11.2009.
96. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента/Х. Шенк. М.: Мир, 1972– 133 с.
97. Ширко, И.В. Статистическое исследование течений гранулированных сред. /И.В. Ширко. Люберцы.: Производственно-издательский комбинат ВИНТИ, – 1982. – 13 с.
98. Ямпиров, С.С. Технологии и технические средства для очистки зерна с использование сил гравитации / С.С. Ямпиров, Ж.Б. Цыбенов. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 167 с.
99. Ямпиров, С.С. Фракционная технология очистки зерна //Сб. научных трудов ВСГТУ. Серия «Технология, биотехнология и оборудование пищевых и кормовых производств» / С.С. Ямпиров, Ю.Ж. Дондоков. – Улан-Удэ, 1999. –Вып. 5. – С. 168-174.
100. Ярум А.И. Технологическое оборудование для модернизации процессов переработки гречихи / А.И. Ярум, В.Н. Невзоров, В.А. Самойлов // Проблемы современной аграрной науки. Краснояр.гос.аграр.ун-т. – Красноярск, 2013. – С. 152-155.

101. Ярум, А.И. Совершенствование технологических параметров шелушения зерна гречихи / А.И. Ярум – Красноярск, 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 - Получение коэффициента восстановления зерна гречихи, на лабораторной установке для определения коэффициента восстановления зерна

№	L, мм	β , град	Кв
1	3	68,3	0,23
2	3	68,3	0,23
3	3	68,3	0,23
4	3	68,3	0,23
5	3	68,3	0,23
6	3	68,3	0,23
7	3	68,3	0,23
8	3	68,3	0,23
9	3	68,3	0,23
10	3	68,3	0,23
11	3	68,3	0,23
12	3	68,3	0,23
13	3	68,3	0,23
14	3	68,3	0,23
15	3	68,3	0,23
16	3	68,3	0,23
17	3	68,3	0,23
18	3	68,3	0,23
19	3	68,3	0,23
20	4,5	55,5	0,39
21	4,5	55,5	0,39
22	4,5	55,5	0,39
23	4,5	55,5	0,39
24	4,5	55,5	0,39
25	4,5	55,5	0,39
26	4,5	55,5	0,39
27	4,5	55,5	0,39
28	4,5	55,5	0,39
29	4,5	55,5	0,39
30	4,5	55,5	0,39
31	4,5	55,5	0,39
32	4,5	55,5	0,39
33	4,5	55,5	0,39
34	6	43,9	0,59
35	6	43,9	0,59
36	6	43,9	0,59
37	6	43,9	0,59
38	6	43,9	0,59
39	6	43,9	0,59
40	6	43,9	0,59
41	6	43,9	0,59
42	6	43,9	0,59
43	6	43,9	0,59
44	6	43,9	0,59
45	6	43,9	0,59
46	7,5	33,2	0,88
47	7,5	33,2	0,88
48	7,5	33,2	0,88
49	7,5	33,2	0,88
50	7,5	33,2	0,88

№	L, мм	β , град	Кв
1	0,5	87,6	0,05
2	0,5	87,6	0,05
3	0,5	87,6	0,05
4	0,5	87,6	0,05
5	0,5	87,6	0,05
6	0,5	87,6	0,05
7	0,5	87,6	0,05
8	0,5	87,6	0,05
9	0,5	87,6	0,05
10	0,5	87,6	0,05
11	1,5	81,9	0,14
12	1,5	81,9	0,14
13	1,5	81,9	0,14
14	1,5	81,9	0,14
15	1,5	81,9	0,14
16	1,5	81,9	0,14
17	1,5	81,9	0,14
18	1,5	81,9	0,14
19	1,5	81,9	0,14
20	1,5	81,9	0,14
21	1,5	81,9	0,14
22	1,5	81,9	0,14
23	1,5	81,9	0,14
24	3	71,7	0,33
25	3	71,7	0,33
26	3	71,7	0,33
27	3	71,7	0,33
28	3	71,7	0,33
29	3	71,7	0,33
30	3	71,7	0,33
31	3	71,7	0,33
32	3	71,7	0,33
33	3	71,7	0,33
34	3	71,7	0,33
35	3	71,7	0,33
36	3	71,7	0,33
37	3	71,7	0,33
38	3	71,7	0,33
39	3	71,7	0,33
40	3	71,7	0,33
41	4,5	59,7	0,58
42	4,5	59,7	0,58
43	4,5	59,7	0,58
44	4,5	59,7	0,58
45	4,5	59,7	0,58
46	6	45,1	0,99
47	6	45,1	0,99
48	6	45,1	0,99
49	6	45,1	0,99
50	6	45,1	0,99

№	L, мм	β , град	Кв
1	0,5	87,6	0,05
2	0,5	87,6	0,05
3	0,5	87,6	0,05
4	0,5	87,6	0,05
5	0,5	87,6	0,05
6	0,5	87,6	0,05
7	0,5	87,6	0,05
8	0,5	87,6	0,05
9	0,5	87,6	0,05
10	0,5	87,6	0,05
11	1,5	81,9	0,14
12	1,5	81,9	0,14
13	1,5	81,9	0,14
14	1,5	81,9	0,14
15	1,5	81,9	0,14
16	1,5	81,9	0,14
17	1,5	81,9	0,14
18	1,5	81,9	0,14
19	1,5	81,9	0,14
20	1,5	81,9	0,14
21	1,5	81,9	0,14
22	1,5	81,9	0,14
23	1,5	81,9	0,14
24	3	71,7	0,33
25	3	71,7	0,33
26	3	71,7	0,33
27	3	71,7	0,33
28	3	71,7	0,33
29	3	71,7	0,33
30	3	71,7	0,33
31	3	71,7	0,33
32	3	71,7	0,33
33	3	71,7	0,33
34	3	71,7	0,33
35	3	71,7	0,33
36	3	71,7	0,33
37	3	71,7	0,33
38	3	71,7	0,33
39	3	71,7	0,33
40	3	71,7	0,33
41	4,5	59,7	0,58
42	4,5	59,7	0,58
43	4,5	59,7	0,58
44	4,5	59,7	0,58
45	4,5	59,7	0,58
46	6	45,1	0,99
47	6	45,1	0,99
48	6	45,1	0,99
49	6	45,1	0,99
50	6	45,1	0,99

Протокол №1
23 октября 2015г

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ

Культура гречиха

Сорт Кама

Методика Определение влажности стандартным методом высушивание навесок в электрическом сушильном шкафу

Оборудование, приборы, инструменты Шкаф сушильный стерилизованный ШСС- 80П, весы электронные ВК- 600.1 термометр ТПК-М.

Другая информация _____

Таблица 1- Результаты исследований по определению влажности зерна гречихи.

Номер бюкса, №	Масса бюкса с крышкой- а, г	Масса бюкса с крышкой и навеской размолотого зерна до высушивания- в, г	Масса бюкса с крышкой и навеской размолотого зерна после высушивания- с, г	Влажность $W = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}$ w, %	Сред- няя влаж- ность W _{ср} , %
100	19,85	24,85	24,26	11,8	11,9
041	21,30	26,30	25,70	12	
088	19,90	24,90	24,30	12	
017	19,94	24,94	24,30	12	
035	19,98	24,98	24,40	11,6	

Далалеева М.И.

(подпись)