

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

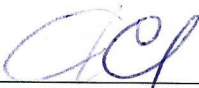
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ
СЕМЕНОРУШКИ

Студент магистратуры

 Мифтахов А.Т.

Научный руководитель, к.т.н., доцент

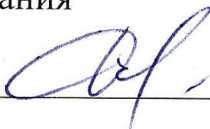
 Халиуллин Д.Т.

Работа обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите

(Протокол № 7 от 01.02.2021г.)

Заведующий кафедрой машин и оборудования

в агробизнесе к.т.н., доцент

 Халиуллин Д.Т.

Казань 2021

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Мифтахова Азата Тагировича, выполненной на тему: «Разработка и исследование аэродинамической семенорушки», представленной на соискание степени магистра по специальности 35.04.06 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства.

Магистерская диссертация пояснительной записки на 82 страницах машинописного текста. Записка состоит из введения, 4 разделов, выводов и включает 28 рисунков, 29 таблиц и 62 формулы. Список использованной литературы 26 наименований.

В первой главе «АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ» проведен литературно-патентный обзор способов получения подсолнечного масла и конструкций машин для снятия плодовой оболочки с семян. Определены цель и задачи исследований.

Во второй главе выполнен обзор теории обрушивания семян в семенорушках, разработаны конструктивно-технологическая и функциональная схемы аэродинамической семенорушки, приведены теоретические исследования по определению конструктивно-технологических параметров аэродинамической семенорушки.

В третьей главе разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

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

ABSTRACT

dissertation work by Miftakhov Azat Tagirovich, performed on the topic:
"Development and research of aerodynamic seed plows", presented for a master's
degree in the specialty 35.04.06 - Technologies and means of agricultural
mechanization.

Master's thesis explanatory note on 82 typewritten pages. The note consists of an introduction, 4 sections, conclusions and includes 28 figures, 29 tables and 62 formulas. List of used literature 26 items.

In the first chapter, "ANALYSIS OF THE STATE OF THE ISSUE AND THE OBJECTIVES OF THE RESEARCH", a literature-patent review of methods for obtaining sunflower oil and designs of machines for removing the fruit shell from seeds is carried out. The purpose and objectives of the research are determined.

In the second chapter, an overview of the theory of seed caving in seed crushers is carried out, constructive-technological and functional schemes of an aerodynamic seed crusher are developed, theoretical studies are given to determine the design and technological parameters of an aerodynamic seed crusher.

In the third chapter, a program and methodology for conducting experimental research has been developed.

The fourth chapter presents the results of experimental studies and their analysis.

The dissertation ends with general conclusions on the work and a list of used literary sources.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	6
1.1 Общие сведения. Технологии переработки	6
1.2 Основные направления формирования конструкций для отделения плодовой оболочки с семян.....	12
1.3 Краткие выводы. Цель и задачи исследования	36
Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	38
2.1 Обзор теории обрушивания семян в семенорушках.....	38
2.2 Разработка конструктивно-технологической схемы аэродинамической семенорушки	43
2.3 Разработка функциональной схемы аэродинамической семенорушки	46
2.4 Теоретическое определение конструктивно-технологических параметров аэродинамической семенорушки.....	48
Глава 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	54
3.1 Общий план экспериментальных исследований	54
3.2 Методика определения влажности семян.....	54
3.3 Методика лузжистости и аэродинамических свойств семян подсолнечника	58
3.4 Методика исследования влияния технологических параметров семенорушки на показатели технологической эффективности процесса	60
3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментальных исследований	64
Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	68
4.1 Результаты определения влажности семян подсолнечника	68
4.2 Результаты аэродинамических свойств семян подсолнечника	71
4.3 Результаты исследований влияния оборотов вентилятора на показатели технологической эффективности процесса	72
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	79
ПРИЛОЖЕНИЯ	83

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача АПК выражается в обеспечении населения страны необходимым количеством качественных продуктов питания. Продовольствия, получаемые при перерабатывании семян подсолнечника, широко используются как в пищевой промышленности, так и кормопроизводстве. Повышение эффективности и конкурентоспособности возделывания и переработки семян подсолнечника, на нынешний день остается актуальной задачей. Для переработки семян подсолнечника непосредственно в условиях сельского хозяйства необходимы современные технологии и оборудование обеспечивающее увеличение выхода масла и снижение энергоемкости процесса.

Одним из основных этапов при переработке семян масличных культур является – обрушивание (отделение плодовой оболочки с семян), которое оказывает существенное влияние на качество основного продукта – подсолнечного масла.

Практическим и теоретическим исследованиям процессов отделения плодовых оболочек посвящены работы В.А. Масликова, И.М. Василица, А.Т.Кузнецова, Е.П. Кошевого, В.Н. Коваленко, Э.Г. Нуруллина и других[1...4, 9].

При применении в семенорушках пневмомеханических способов воздействия на перерабатывающий материал дает возможности существенно повысить качественные показатели рушанки, что ведет за собой не только получение высококачественного подсолнечного масла на местах ее производства, т.е. непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях, но и расширение ассортимента получаемых продуктов (казинаки, халва и т.п.).

В этом направлении перспективными являются семенорушки и шелушители пневмомеханического типа, работающие по принципу комплексного воздействия на зерно, разработанные на кафедре машин и оборудования в агробизнесе Казанского ГАУ, которые позволяют увеличить производительность до 30 %, снизить энергоемкость более чем на 50 %. [4, 5, 9...13].

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие сведения. Технологии переработки

Подсолнечник (*Helianthus Annuus*) является экономически выгодной культурой для поддержания стабильного уровня функционирования фермерских хозяйств и сельхозпредприятий, выживания их в жёстких условиях современных рыночных отношений [].

Семена подсолнечника в основном используются для производства масла или в качестве кондитерского элемента. Побочные продукты переработки подсолнечника – жмых и шрот используются в животноводстве в качестве кормовых добавок [].

Подсолнечное масло – одно из важнейших растительных масел в России, имеющее большое народно-хозяйственное значение. Технология получения масла сложный многоступенчатый процесс, состоящий из следующих технологических операций: очистка сырья, обрушивание семян (отделение оболочки от ядра), сортирование рушанки (смесь из дробленых и целых ядер, раздробленных и целых оболочек, а также необрушенных семян), измельчение, отжим масла.

В семенах масличных культур запасы масла распределены неодинаково, основная часть запасов масла находятся в зародыше и эндосперме. А в оболочках семян, наоборот, сосредоточено малое количество масла, а также непригодный для пищи химический состав.

Рассмотрим различные способы получения подсолнечного масла. Известен способ получения подсолнечного масла, предусматривающий сепарацию семян подсолнечника от примесей, сушку семян до 6...7% при температуре нагрева семян 55...70°C, обрушивание семян, отделение ядровой фракции, ее измельчение, влаго-тепловую обработку мятки при температуре 100...120°C, последующее прессование мезги и очистку прессового масла []. (Технология производства растительных масел. / В.М.

Копейковский, С.И. Данильчук, Г.И. Гарбузова и др. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 416 с.).

Данный способ имеет следующие недостатки: во-первых, не проводится фракционирование семян подсолнечника по исходному качеству, что приводит к снижению потребительских свойств масла по физико-химическим показателям и показателям безопасности; во-вторых, сушка семян в один этап до влажности 6...7% при температуре нагрева семян 55...70°C не дает возможности улучшить показатели качества масла в семенах при их послеуборочном дозревании, в-третьих, измельчение ядровой фракции и температура влаготепловой обработки и прессования 100...120°C приводит к интенсификации гидролитических и окислительных процессов в масле, снижает стойкость масла при хранении.

Известен способ получения растительных масел из маслосодержащего сырья, предусматривающий предварительный подогрев сырья до 70°C и прессование в две стадии: на первой стадии - экструзия, совмещенная с отжимом масла, а на второй – окончательное прессование []. (пат. №2156790. Способ получения растительных масел из маслосодержащего сырья. МПК 7 C11B 1/10; опубл. 2000 г. Бюл. №27, II ч.).

Данный способ имеет следующие недостатки: во-первых, прессование проводится в две стадии, что приводит к снижению качества масла, получаемого на второй стадии прессования за счет длительности процесса прессования и протекания гидролитических и окислительных процессов в маслосодержащем материале; во-вторых, не предусмотрена подготовка маслосодержащего сырья к извлечению масла на стадии его приемки и послеуборочной обработки, что приводит к снижению качества масла на обеих стадиях прессования.

Также известен способ получения подсолнечного масла, предусматривающий сепарацию семян от примесей, обрушивание, отделение лузги из рушанки с получением ядровой фракции, влаготепловую обработку ядровой фракции при температуре 40...70°C и прессование полученной

мезги в двухшнековом прессе-экструдере с последующей первичной очисткой масла []. (пат. №2125086. МКИ6 C11B 1/00; опубл. 1999 г. Бюл. №2,1 ч.).

Данный способ имеет следующие недостатки: во-первых, не проводится фракционирование семян подсолнечника по исходному качеству, что приводит к снижению потребительских свойств масла по физико-химическим показателям и показателям безопасности; во-вторых, не повышаются потребительские свойства масел путем применения оптимальных режимов послеуборочной обработки семян подсолнечника; в-третьих, не учитывается влияние температуры ядровой фракции семян подсолнечника при прессовании на содержание токоферолов (витамина Е) и фосфолипидов в получаемом масле, что снижает его потребительские свойства.

Подсолнечное масло с улучшенными потребительскими свойствами должно иметь максимально возможное содержание физиологически ценных веществ, прежде всего жирорастворимых витаминов и провитаминов в их физиологически активной форме, отсутствие пестицидов и минимальное содержание продуктов гидролиза и окисления липидов. При этом показатели качества масла должны соответствовать высшему сорту согласно действующим нормативным документам.

Для решения данной задачи предлагается способ получения подсолнечного масла, включающий сепарацию семян подсолнечника от примесей, сушку, обрушивание семян с отделением лузги и получением ядровой фракции, влаго-тепловую обработку и прессование ядровой фракции с получением масла и его последующую очистку, используют семена, выращенные по экологически безопасной технологии, перед сепарацией семян от примесей отделяют фракцию семян высшего и первого класса с влажностью 8,0...15,0% и сушат их в два этапа – на первом этапе до влажности 7,5...8,0% при температуре 45...50°C, на втором этапе – до влажности 6,5...7,0% активным вентилированием воздухом, совмещая с

охлаждением и хранением, а прессование ядровой фракции проводят при температуре 70–75°C.

В результате – получение экологически чистого прессового масла, снижение его кислотного и перекисного чисел, количества продуктов окисления липидов, а также повышение содержания физиологически ценных токоферолов и фосфолипидов, поскольку предусмотрено применение оптимальных технологических режимов на всех стадиях получения подсолнечного масла - начиная от производства семян, их последующей послеуборочной обработки и хранения, далее переработки методом прессования до отправки готового масла потребителю [].

Согласно литературным источникам по результатам проведенных исследований прессовые подсолнечные масла, полученные из семян, выращенных по традиционным технологиям, содержат значительное количество пестицидов, максимальное содержание которых регламентируется соответствующими нормативными правовыми актами РФ. Наличие пестицидов снижает потребительские свойства масла по показателям безопасности. Данные, полученные в результате исследований, позволили установить, что отсутствие пестицидов в прессовых подсолнечных маслах может быть гарантировано в случае использования семян, выращенных с применением экологически безопасных технологий возделывания.

Экспериментально установлено, что исходное качество семян подсолнечника, характеризующееся их начальной влажностью и исходным кислотным числом масла, влияет на потребительские свойства полученного из них масла. В семенах подсолнечника с начальной влажностью более 15,0%, при послеуборочном дозревании и хранении в оптимальных для этих процессов условиях интенсивнее протекают процессы гидролиза и окисления липидов по сравнению с семенами, в которых указанные показатели были ниже.

Кроме того, для сушки семян с влажностью более 15,0% необходимо применять высокие температуры или увеличивать время сушки, что согласно полученным экспериментальным данным также ведет к интенсификации гидролитических и окислительных процессов в липидах семян и возрастанию в масле продуктов окисления и гидролиза. Экспериментально установлено, что оптимальные режимы сушки конвективным способом лежат в диапазоне температуры семян 45...50°C, так как при этих режимах сушки по завершении процессов дозревания содержание продуктов гидролиза и окисления липидов в семенах минимально.

Таким образом, на стадии послеуборочной обработки семян подсолнечника для повышения потребительских свойств получаемого из них масла по физико-химическим показателям, показателям безопасности (содержанию продуктов окисления липидов) необходимо семена фракционировать по исходному качеству и использовать фракцию с влажностью 8,0...15%, а первую стадию сушки проводить при температуре семян 45...50°C.

Проведенные исследования показали, что на стадии хранения влажность семян подсолнечника после сушки в пределах 7,5...8,0% является тем оптимальным диапазоном, при котором в свежееубранных семенах протекают процессы дозревания, сопровождающиеся снижением содержания свободных жирных кислот в масле семян при минимальном уровне окисления липидов. Снижение содержания жирных кислот в масле семян происходит за счет протекания завершающего этапа синтеза триацилглицеролов (ТАГ) из диацилглицеролов (ДАГ) и свободных жирных кислот (СЖК).

В результате дозревания в масле снижается кислотное число, улучшая его потребительские свойства. Применение активного вентилирования в процессе дозревания и хранения позволяет интенсифицировать указанный процесс, одновременно охладить семена и досушить до оптимальной для хранения и переработки влажности 6,5-7,0%. Поэтому на стадии хранения семян для улучшения потребительских свойств получаемого из них масла

необходимо после сушки семян до влажности 7,5...8,0% по указанным режимам проводить активное вентилирование, охлаждая и досушивая семена до влажности 6,5...7,0%.

Проведенные исследования показали, что максимальное содержание токоферолов в подсолнечном масле, одним из определяющих показателей пищевой ценности масла, наблюдается при температуре прессования ядровой фракции семян 70-75°C. Возрастание содержания токоферолов в масле при температуре прессования ядровой фракции 70...75°C объясняется увеличением их перехода в масло. Снижение содержания токоферолов в масле при температурах прессования выше 75°C происходит в результате их расходования на ингибирование процессов окисления. Содержание другого физиологически ценного компонента – фосфолипидов, возрастает при температуре прессования более 70°C, свидетельствуя об их переходе из клеточных мембран ядровой фракции семян в масло.

Начиная с температуры прессования 75°C, возрастает перекисное число масла и содержание в нем первичных и вторичных продуктов окисления, что объясняется интенсификацией процессов окисления, на ингибирование которых расходуются токоферолы.

Таким образом, при выращивании семян по экологически чистой технологии, отделении фракции семян подсолнечника высшего и первого класса с влажностью до 15%, их сушки сначала до влажности 7,5...8,0% и далее до 7% активным вентилированием воздухом, дальнейшем отделении оболочки и прессовании ядровой фракции семян при температуре 70...75°C достигается повышение содержания физиологически ценных веществ, отсутствие пестицидов, и снижение содержания продуктов гидролиза и окисления липидов в подсолнечном масле.

Следовательно, при таком способе получения подсолнечного масла заявляемые параметры имеют существенные отличия от других способов и позволяют улучшить потребительские свойства подсолнечного масла.

Технологический процесс переработки подсолнечника с получением очищенного масла более трудоёмок и чаще всего применяется в условиях специализированных цехов перерабатывающих предприятий. Для возможности переработки подсолнечника в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя в Казанском ГАУ проводится работа по созданию и совершенствованию пневмомеханических шелушителей (обрушивателей) зерна, позволяющими с небольшими производственными затратами качественно осуществлять одну из основных технологических операций, при переработке подсолнечника с получением качественного масла, – шелушение (обрушивание).

При разрушении оболочки семян не должно измельчаться ядро – это является важнейшим требованием к обрушиванию. Так же от содержания в рушанке нежелательных фракций зависит качество рушанки. В связи с этим обрушивание семян занимает важную роль в производстве масла [3, 7].

1.2 Основные направления формирования конструкций для отделения плодовой оболочки с семян

В зависимости от механико-технологических свойств семенных масс и отдельных морфологических частей семени выбирается способ обрушивания (шелушения). Известно много способов обрушивания масличных семян, основанные на следующих принципах или их сочетаниях: резание, скальвание, сжатие, сжатие и трение; разрушение оболочки ударом или трением. Проводятся исследования по разработке и использованию в промышленности методов «мгновенного» сброса избыточного давления воздуха или пара, создаваемого в замкнутом пространстве; циклических изменений давления газовой, паровой или жидкой среды на оболочку семян; разрушение оболочки в потоке газа, движущегося со сверхзвуковыми скоростями (аэрошелушение); использование электродинамического эффекта в водной среде.

Рассмотрим различные конструкции устройств, применяемые для отделения плодовых оболочек семян подсолнечника. Самое большое распространение получили бичевые рушки.

Шелушильная машина (рисунок 1.1) содержит цилиндрический корпус 1 с ребрами 2, в котором на подшипниках 3 и 4 установлен ротор 5, состоящий из вала 6 с крестовинами 7, на которых размещены лопасти 8 и 9. Лопасти 8 расположены противоположно друг другу и установлены параллельно. Лопасти 9 установлены наклонно к продольной оси вала 6 ротора 5, причем одна из лопастей наклонна в сторону входа зерна, а вторая в сторону выхода, при этом рабочие поверхности 10 выполнены рифлеными, кроме того каждая лопасть имеет продольные пазы 11 и дополнительные лопасти 12 и 13 [15].

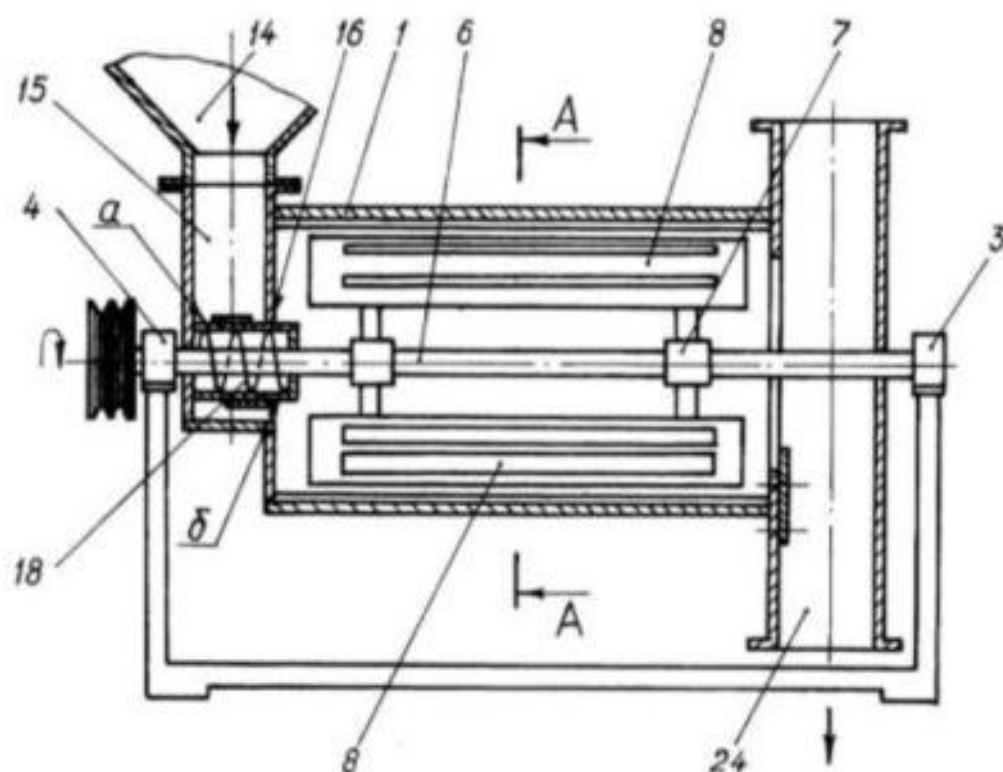


Рисунок 1.1 – Шелушильная машина с цилиндрическим корпусом по патенту РФ 2133150

На входном конце корпуса 1 установлено устройство загрузки 14 с горловиной 15 и шнековым дозатором 16, содержащим барабан 17, в котором

выполнено входное окно "а" и выходное "б", причем окно "а" больше окна "б", и шнек 18, жестко связанный с валом 6. На выходном конце корпуса 1 смонтирован отражатель 19, выполненный в виде пластины 20, установленной на оси 21 с возможностью поворота по пазу 22 и фиксацией положения прижимным винтом 23, устройство выгрузки 24, кроме того на боковой поверхности стакана 17 установлены регулирующие величины окон "а" и "б" заслонки 25, фиксируемые винтами 26.

Машина работает следующим образом: Зерно из бункера 14 через горловину 15 поступает в шнековый дозатор 16 через окно "а" и через окно "б" транспортируется шнеком 17 равными порциями в цилиндрический корпус 1 с ребрами 2. Благодаря отражателю 19, задерживающему свободный выход зерна из корпуса 1, при вращении ротора 5 с лопастями 8 и 9, образуется кольцевой слой зерна, в котором происходит движение зерен друг относительно друга в сжатом состоянии под действием центробежных сил и в результате трения зерна о зерно происходит шелушение зерна без повреждения эндосперма.

Наличие в каждой из лопастей 8 и 9 продольных пазов 11 создает в кольцевом слое зерна участки пульсирующего сжатия, потому как массы зерен, захватываемые лопастями, разные, а следовательно, и разные будут и скорости этих участков, что создаст дополнительное трение между участками зернового кольца, а выполнение дополнительных лопастей наклонно к рабочей поверхности 10 с рифлеными поверхностями создает также дополнительное трение зерна о наклонные и рабочие поверхности под действием центробежных сил, кроме того установление лопастей 9 наклонно к продольной оси вала 6 также создаст дополнительное трение зерен друг о друге. Размещение заслонок 25 на боковой поверхности стакана 17 шнекового дозатора 16 и установление отражателя 19 с возможностью реверсивного поворота сектора 20 относительно оси 21 позволяет установить оптимальный стабильный процесс шелушения зерна.

Такое конструктивное решение машины позволяет осуществить интенсивное перемещение, а следовательно, и трение слоев и участков в общем кольцевом слое зерна, что значительно повышает эффективность шелушения и снижает процент дефектности (сечка, бой) зерна при стабильном процессе шелушения.

Машина для шелушения зерна (рисунок 1.2) содержит многогранный корпус 1, ротор, состоящий из вала 2, лопастей 3, шнека 4 и шкива 5. С одной стороны корпуса установлена загрузочная горловина 6, а с другой установлено приспособление 7 для ограничения перемещения зерна в корпусе и выполнен аспирационный канал 8. Приспособление 7 для ограничения перемещения зерна в корпусе представляет собой секторный диафрагменный затвор, состоящий в данном примере из подвижных отражателей 9, закрепленных на осях 10 и перемещающихся синхронно при помощи системы рычагов (не показаны) [16].

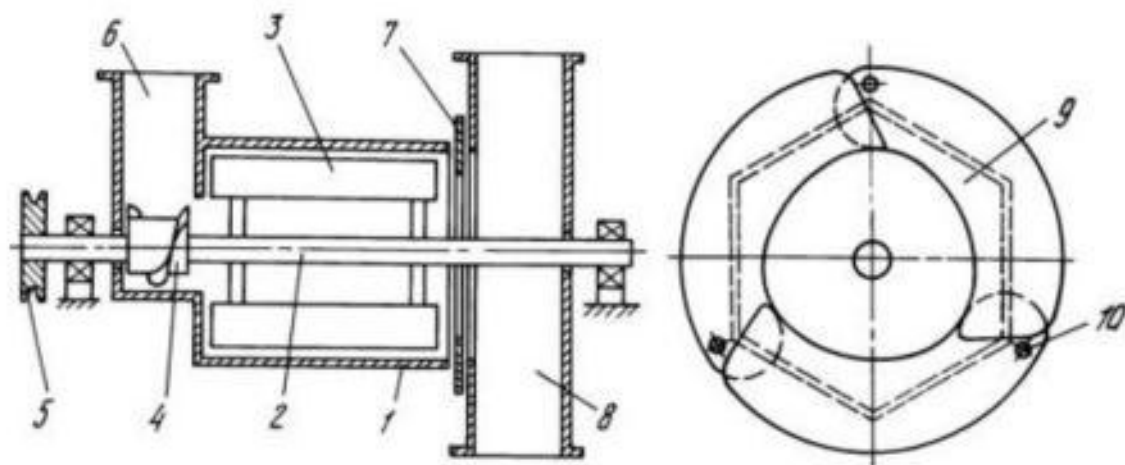


Рисунок 1.2 – Машина для шелушения зерна по патенту РФ 2060825

Принцип работы машины для шелушения зерна заключается в следующем. Зерновой материал поступает в приемную горловину 6, далее шнеком 4 подается в многогранный корпус 1 машины, где захватывается лопастями 3 и откидывается к внутренней поверхности корпуса 1. Подвижные отражатели 9, частично перекрывающие внутреннее сечение корпуса 1 на выходе, способствует образованию в корпусе подвижного

кольцевого слоя зерна, в котором происходит послойное движение зерен относительно друг друга при одновременном их сжатии центробежными силами. Шелушение зерна осуществляется за счет интенсивного трения зерна о зерно. Меняя положение подвижных отражателей 9, можно регулировать заполнение корпуса машины, изменяя тем самым центробежные силы и время обработки зерна, а следовательно, и интенсивность шелушения. Продукты шелушения, поступающие из корпуса в аспирационный канал 8, продуваются восходящим воздушным потоком, уносящим легкие частицы (оболочки, пыль), а зерновой материал выпадает вниз и выводится из машины.

Вращение подвижных отражателей 9 вокруг осей 10 осуществляется синхронно, обеспечивая при этом равномерное (симметричное) уменьшение выпускного сечения корпуса у выхода, и кроме плавного регулирования степени шелушения позволяет получить на входе в аспирационный канал равномерный кольцевой (в поперечном сечении) поток зерна и улучшить тем самым разделение продуктов шелушения воздухом.

В процессе работы машины налипание продуктов шелушения в месте соединения корпуса 1 и подвижных отражателей 9 предотвращается за счет полного раскрытия приспособления 7, при котором продукты шелушения, находившиеся в застойной зоне перед отражателями 9, вытесняются в аспирационный канал 8. Многогранность корпуса 1 позволяет добиться равномерного шелушения зерна, так как, копируя многогранную внутреннюю поверхность корпуса, кольцевой слой зерна, увлекаемый ротором, периодически изменяет свою толщину, как следствие этого, изменяются величина сил инерции, степень уплотнения слоя, силы трения между зернами и скорость движения зерен относительно друг друга. Непрерывное периодическое изменение всех этих параметров обуславливает удовлетворительное перемешивание кольцевого слоя зерна, что способствует равномерному шелушению зерна.

Бичевая семенорушка для разрушения плодовой оболочки масличных семян (рисунок 1.3) состоит из чугунного или сварного корпуса 1, питателя 2, деки с полукруглыми колосниками, плотно помещенными в дугообразную наводящую обойму 3, синхронного устройства 4 и барабана 5 бичевого типа [17].

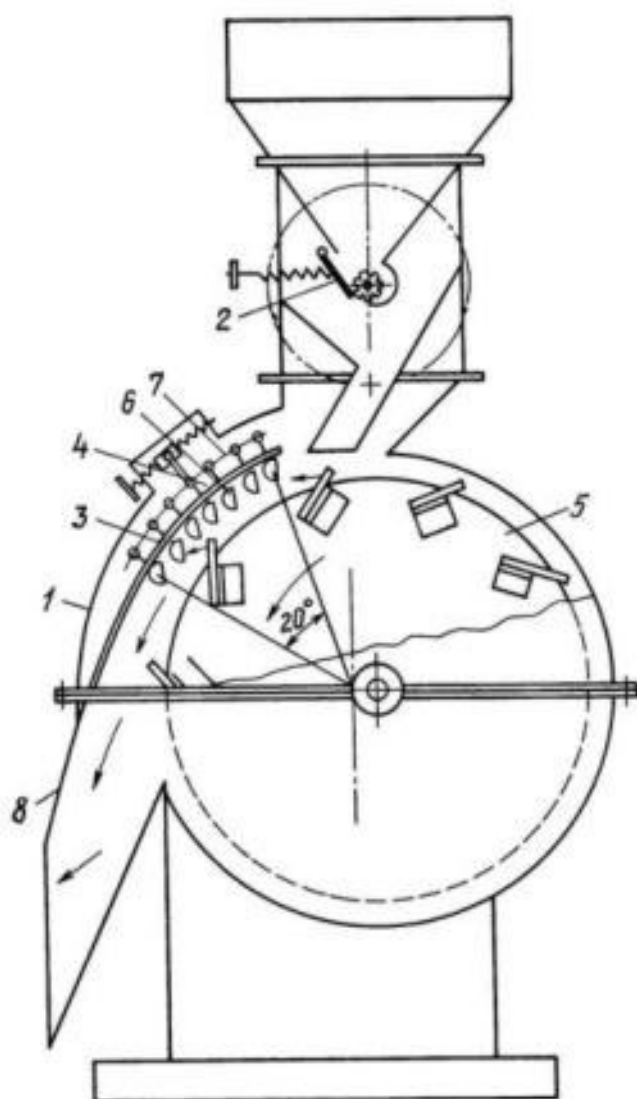


Рисунок 1.3 – Бичевая семенорушка для разрушения плодовой оболочки масличных семян по патенту РФ 2138331

Машина работает следующим образом. Масличные семена, содержащие плодовую оболочку, самотеком подаются в питающее устройство 2 и далее на край вращающегося барабана 5. Под действием ударной силы последнего семенная масса тангенциально совершает

однократный удар о плоскую поверхность колосников 6 деки 7 с немедленным выводом продуктов разрушения из зоны действия рабочих органов машины патрубком 8 для отвода рушанки.

Для повышения эффективности разрушения оболочки, увеличения производительности, снижения энергозатрат колосники в сечении имеют форму полукруга. Они уложены плотно в дугообразную направляющую обойму и поворачиваются синхронно на угол до 90° .

Недостатками таких машин являются то, что они сложны по конструкции, имеют значительные габаритные размеры, кроме того имеют низкую эффективность шелушения, причем со значительным боем зерна. Отсутствие возможности регулирования степени шелушения непосредственно в ходе работы. Кроме того, при обработке предварительно увлажненного зерна происходит налипание продуктов шелушения, где развиваются микроорганизмы, загрязняющие продукты шелушения и снижающие их качество. В них присутствует сложное, дорогостоящее, устройство загрузки, состоящее из секторного питателя, редуктора и двигателя, некоторые из них требуют применения сжатого воздуха для процесса загрузки и перемещения зерна в зону шелушения. Все это ограничивает их применение.

В связи с этим были разработаны устройства для обрушивания семян, применяющие принцип удара в центробежном поле.

Устройство для обрушивания подсолнечных семян (рисунок 1.4) состоит из двух вертикального расположенных секций, в которых происходит обрушивание семян и разделение рушанки на фракции [18].

Верхняя секция рушки состоит из цилиндрических корпусов 1 и 2, крышки 3 с патрубком 4 для засыпки семян и вертикального вала 5 с закрепленным на нем быстровращающимся диском 6 с лопатками 7. На внутренней стороне поверхности корпусов 2 и 8 на уровне лопаток 7 закреплены сегменты 9, которые одновременно являются соединительными звеньями между корпусами. К сегментам крепится амортизирующий

материал, например ткань, служащая декой 10. Нижний край материала не закреплен и свободно свисает для лучшего гашения скорости ударяющихся о него семян. Привод вала 5 осуществляется клиноременной передачей от электродвигателя, шарнирно закрепленного на корпусе 1.

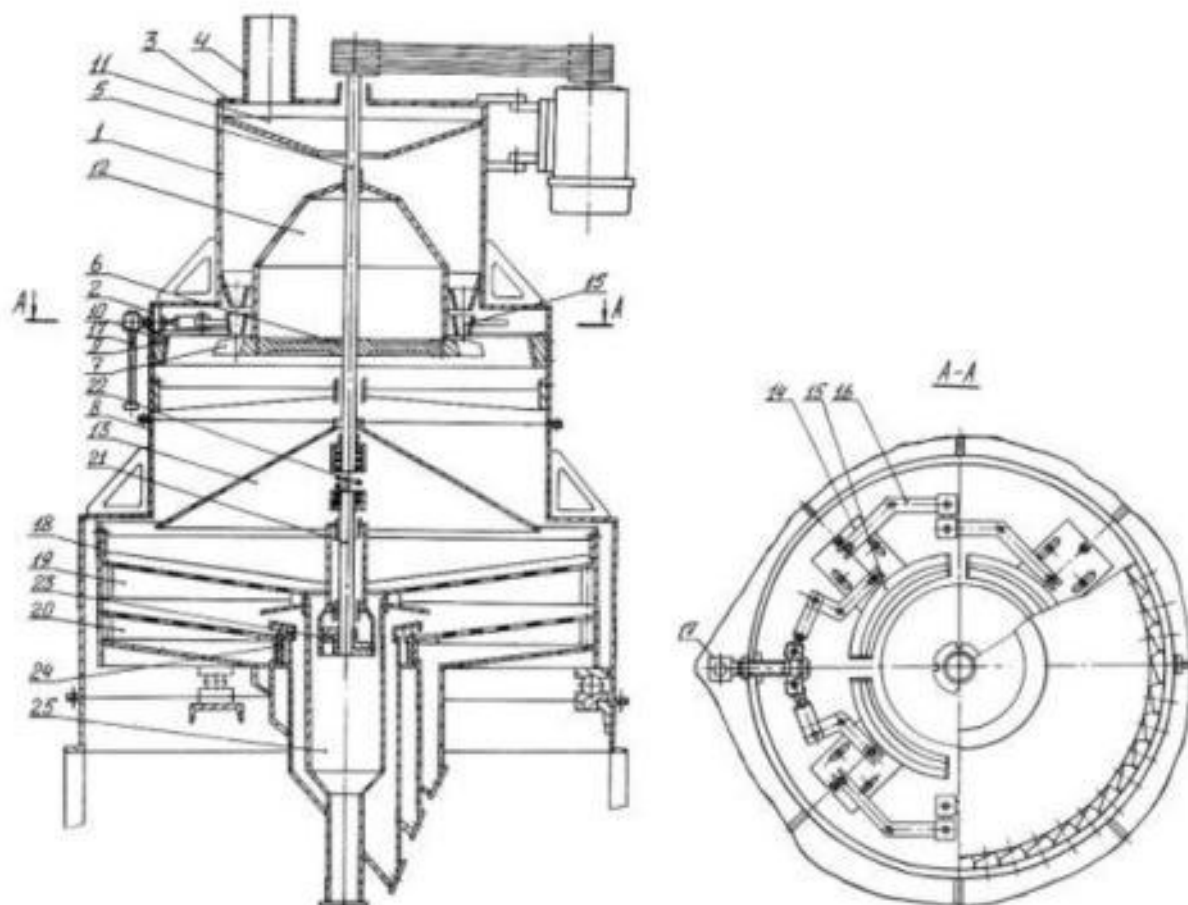


Рисунок 1.4 – Устройство для обрушивания подсолнечных семян по патенту РФ 2162880

Внутри цилиндрических корпусов 1, 2 и 8 находится питатель в виде установленных по оси на различной высоте конусов 11, 12 и 13, разделяющих поток семян равномерно по окружности, и механизма регулирования точки попадания семян на лопатки диска, состоящего из четырех подвижных секторов 14 с сужающимися конусными пазами 15, которыми через рычажную систему 16 осуществляется изменение точки попадания семян на лопатки диска. Регулирование механизмом осуществляется вращением рукоятки 17.

Нижняя секция рушки состоит из корпуса 8, внутри которого на трех шаровых опорах установлен подвижный ситовой корпус 18 сит 19 и 20, и вала 21, который получает вращение от вала 5 через гибкий элемент - пружину 22. На нижнем конце вала 21 на шлицах закреплены эксцентриковые диски 23, перестановкой которых устанавливается нужная амплитуда колебаний сит. На сите 20 установлено дополнительное устройство для отделения лузги от ядер семян, состоящее из ограничительного кольца и отсекающего 24. К нижней части корпуса 8 присоединен разделитель 25, отводящий разделенные фракции от рушки.

Устройство работает следующим образом. Семена, поступающие через патрубок 4, попадают сквозь конусные пазы 15 секторов 14 на лопатки 7. После удара о лопатки семена отскакивают на тканевую деку, где происходит гашение скорости обрушенных семян о ткань. Обрушенная и отраженная вниз от деки масса по конусу 13 поступает на верхнее сито 19. Недоруш, двигаясь по поверхности сита, попадает во внутренний отсек разделителя 25 и возвращается на повторную загрузку. Основная масса рушанки поступает на второе сито 20 и, двигаясь по нему, с помощью отсекающего 24 разделяется на лузу и ядра, которые через соответствующие отсеки разделителя 25 поступают в отход и аспиратор, а вся маслянистая пыль и мелко разрушенные ядра, попавшие сквозь сито на дно корпуса 8, подаются на дальнейшую переработку.

Устройство для обрушивания семян подсолнечника (рисунок 1.5), содержащее загрузочный бункер и электродвигатель с валом, на котором жестко закреплена ступица с возможностью ее вращения вместе с валом. Ступица имеет отверстия, в которые запрессованы радиальные каналы, выполненные в виде трубок, во внутренней полости которых установлены под углом к направлению движения семян направляющие, способствующие более строгой ориентации семян подсолнечника своей большой геометрической осью при движении их в радиальных каналах. Для равномерной подачи семян подсолнечника в радиальные каналы в бункере

установлена регулируемая заслонка, которая позволяет равномерно подавать семена в питающее устройство, выполненное в виде шнековой навивки, расположенной на оси, полой внутри, а в торце установлен регулировочный винт, позволяющий изменять воздушный поток в питающем устройстве и тем самым активно воздействовать на семена, находящиеся в нем. Под действием воздушного потока семена продвигаются по шнековой навивке и равномерно поступают в радиальные каналы посредством горизонтальной загрузки [19].

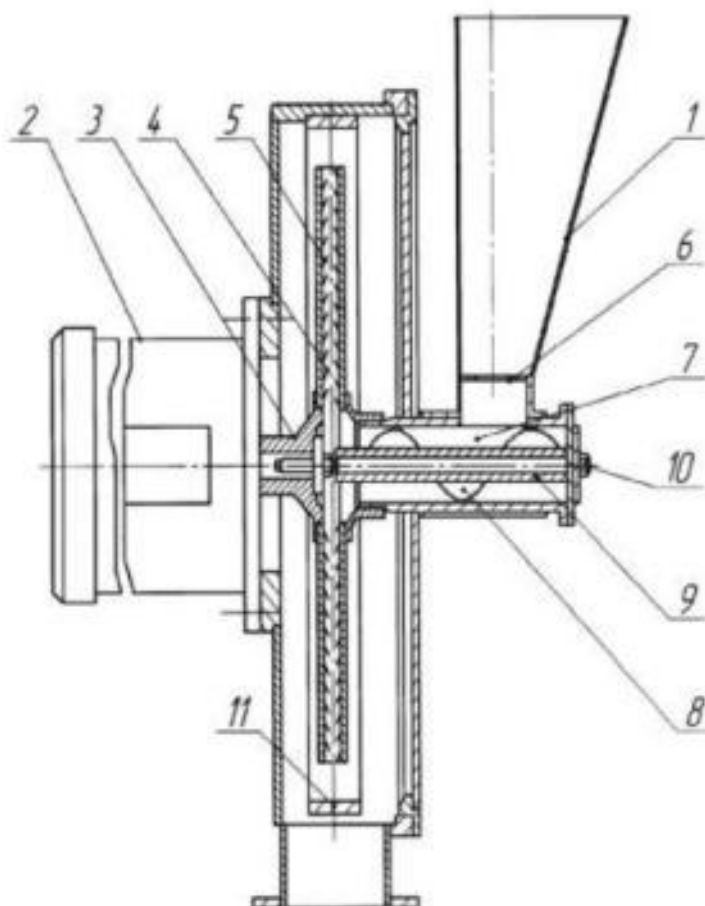


Рисунок 1.5 – Устройство для обрушивания семян подсолнечника по патенту РФ № 2378052

Данное устройство для обрушивания семян подсолнечника содержит загрузочный бункер 1, электродвигатель 2 с валом, на котором жестко закреплена ступица 3 с возможностью ее вращения вместе с валом. Ступица имеет отверстия, расположенные по радиусу, в которые запрессованы

радиальные каналы 4, выполненные в виде трубок, в последних установлены направляющие 5, способствующие более строгой ориентации семян подсолнечника своей большой геометрической осью при движении их в этих каналах. В бункере 1 установлена регулируемая заслонка 6, которая изменяет подачу семян в питающее устройство 7, выполненное в виде шнековой навивки 8, расположенной на полой оси 9, в торце которой установлен регулировочный винт 10. Соосно ступице 3 установлена кольцеобразная дека 11.

Устройство для обрушивания семян подсолнечника работает следующим образом. Семена из бункера 1 через регулируемую заслонку 6 поступают в питающее устройство 7. При вращении ступицы 3 в радиальных каналах 4, вращающихся относительно горизонтальной оси, создается разрежение, и семена равномерно по шнековой навивке 8 поступают в радиальные каналы 4. В результате вращения ротора возникает центробежная сила, которая ориентирует семена большой геометрической осью при продвижении их от центра загрузки на периферию к деке. В результате движения семян в радиальных каналах они дополнительно соприкасаются с направляющими 5, что способствует более четкой ориентации исходного продукта своей большой геометрической осью. На выходе из радиальных каналов продукт, подлежащий обрушиванию, приобретает максимальную линейную скорость, и при ударе о деку 11 происходит разрушение поверхностной оболочки.

Техническое преимущество заявляемого устройства для обрушивания семян подсолнечника в сравнении с известными обрушивающими устройствами заключается в том, что заявляемое устройство обеспечивает не только равномерное питание ротора исходным материалом, но и четкое ориентирование семян своей большой геометрической осью в процессе прохождения их в радиальных каналах. При таком направленном ударе вся центробежная сила воспринимается лузгой в процессе взаимодействия семян с декой.

Основным недостатками таких устройств является повышенный процент недоруша, в который входит мелкая фракция семян, так как в процессе прохождения ее вдоль канала она не имеет четкой ориентации своей большой геометрической осью, а это приводит к повышенному содержанию дробленого ядра, сечки и маслянистой пыли, что существенно влияет на выход масла из сырья.

А также заключаются в том, что семя подвергается двукратному удару (о лопатку и о деку), что приводит к образованию сечки. В турбосепараторе нельзя регулировать число оборотов ротора и при увеличении влажности семян может образоваться недоруш. Кроме того, из-за отсутствия быстрого разделения рушанки на лузгу и ядро происходит замасливание лузги, ведущее к потерям масла.

Известно устройство для обрушивания подсолнечных семян [20]. Питатель устройства выполнен в виде конусов и механизма регулирования точки попадания семян на лопатки диска, дека выполнена из амортизирующего материала, дополнительно установлен ситовой корпус на шаровых опорах с устройством для отделения лузги от ядер семян. Механизмом регулирования точки попадания на лопатки ротора настраивается необходимая сила удара лопаток-бичей по семенам.

Недостатком указанной конструкции является то, что некоторое количество семян сталкивается с ребрами лопаток ротора и отскакивает в сторону нижних поверхностей питателя, в результате возникает многократный удар, что ухудшает качество получаемой рушки.

Известно устройство для обрушивания семян [21]. При вращении ступицы устройства в радиальных каналах создается разрежение. В результате вращения ротора возникает центробежная сила, которая ориентирует семена большой геометрической осью при продвижении их от центра загрузки на периферию к деке. В результате движения семян в радиальных каналах они дополнительно соприкасаются с направляющими, что способствует более четкой ориентации исходного продукта своей

большой геометрической осью. На выходе из радиальных каналов продукт, подлежащий обрушиванию, приобретает максимальную линейную скорость, и при ударе о деку происходит разрушение поверхностной оболочки. Недостатком является то, что в результате отскока частиц в сторону ротора происходит повторное разрушение частиц о боковую поверхность ротора.

Устройство для однократного разрушения (рисунок 1.6) содержит привод-мультипликатор с регулируемой частотой вращения, цилиндрический корпус и осесимметричный приемный патрубок, деку с отражательными ребрами, установленными под углом 45° к образующей корпуса, тангенциальную разгрузочную трубу.

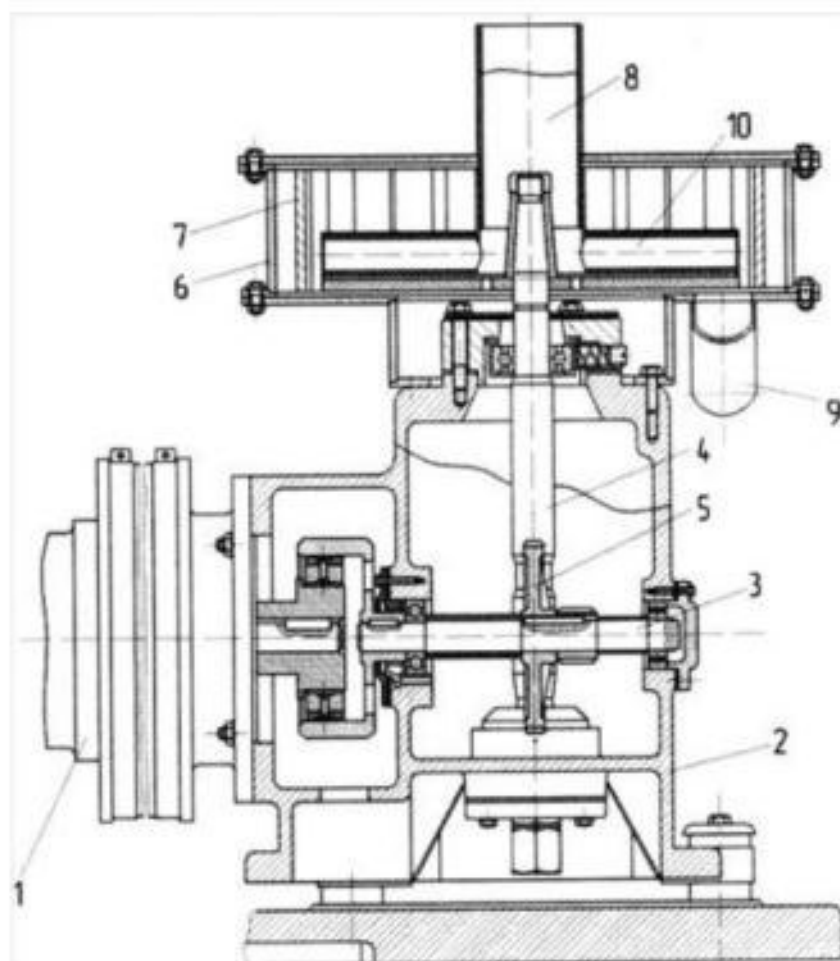


Рисунок 1.6 – Устройство однократного разрушения по патенту № 2527286

Причем разгонный диск может содержать радиальные трубки, жестко установленные между двумя пластинами, боковая поверхность разгонного диска может быть снабжена обечайкой с отверстиями, совпадающими с

торцами радиальных трубок, а на нижней поверхности диска могут закрепляться радиальные пластины из эластичного материала [22].

Устройство однократного разрушения содержит электродвигатель 1 с регулируемой частотой вращения ротора, привод-мультипликатор 2, включающий горизонтальный вал 3 и вертикальный вал 4, сопряженные винтовой передачей 5. Рабочая часть 6 включает деку-отбойник 7, приемный патрубок 8, разгрузочную трубу 9. Внутри деки-отбойника соосно расположен разгонный диск 10.

На рисунке 1.7 представлен разгонный диск, содержащий центральную посадочную втулку 11, радиальные трубки 12, жестко закрепленные между верхней пластиной 13 и основанием диска 14. На боковой поверхности закреплена обечайка с отверстиями 15, а на нижней поверхности установлены радиальные пластины из эластичного материала 16.

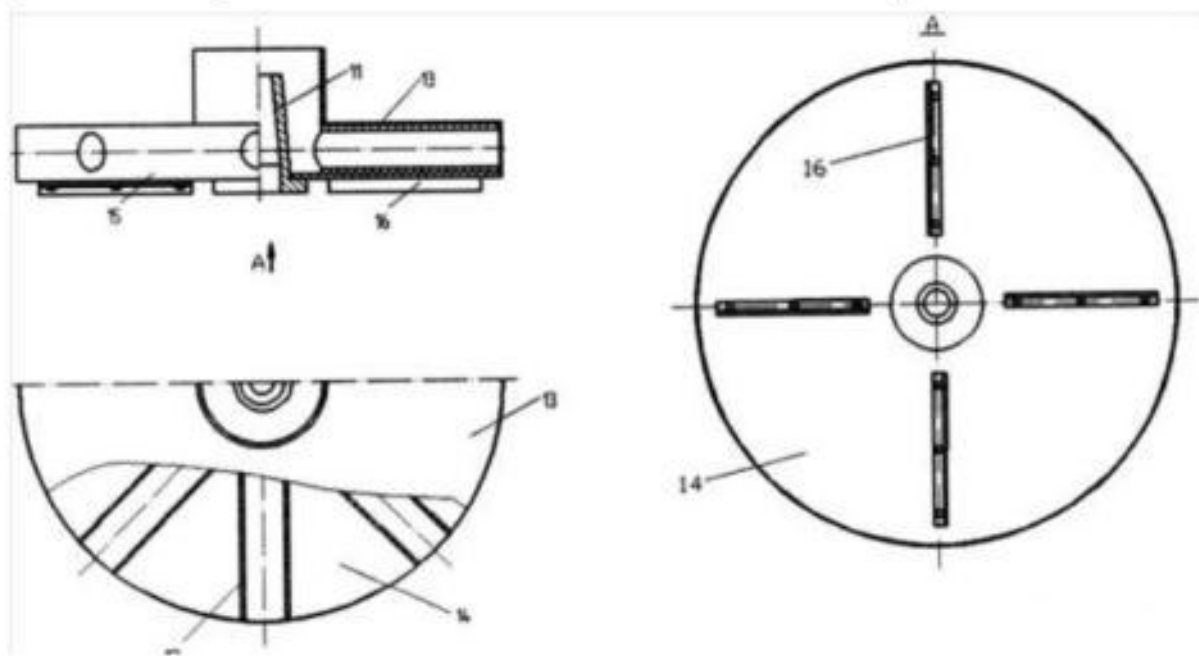


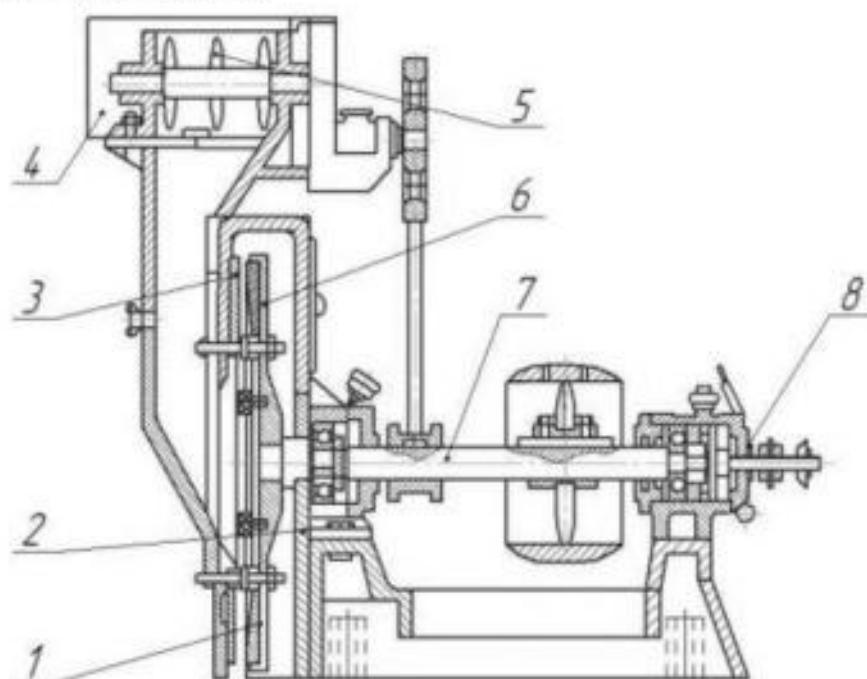
Рисунок 1.7 – Разгонный диск по патенту № 2527286

Электродвигатель 1 через горизонтальный вал 3 и винтовую передачу 5 приводит во вращение разгонный диск 10, жестко установленный на вертикальном валу 4.

Разрушаемый материал через приемный патрубок 8 поступает в разгонный диск на его основание 14, разгоняется центробежными силами в радиальных трубках 12, сталкивается с отражательными ребрами деки-отбойника 7, установленными под углом 45° к образующей корпуса, разрушается и воздушным потоком выводится из рабочего пространства через разгрузочную трубу 9. От повторного удара частицы защищает верхняя пластина 13 и обечайка с отверстиями 15, а столкновение с кромками отверстий предотвращается воздушным потоком, идущим по радиальным трубкам 12 и усиленным радиальными пластинами из эластичного материала 16.

Разрушение оболочки хлопковых семян для извлечения их масляного ядра методом удара исключается вследствие высокой эластичности оболочки семян. Для этой цели в промышленности применяют способ разрезания в дисковых или в ножевых шелушителях [3, 6].

Дисковый обрушиватель МШВ, представленный на рисунке 1.8, работает следующим образом.



1- нож подвижный, 2- кожух, 3- нож неподвижный, 4- регулировочная заслонка, 5- воршитель, 6- диск, 7- вал, 8- регулировочный болт.

Рисунок 1.8 – Дисковый обрушиватель МШВ

Семена, поступившие в приемный бункер, подаются в точку, по которой они подводятся в рабочее пространство между дисками. Благодаря вращению диска семена отбрасываются к периферии. Попадая между рифлями подвижных и неподвижных ножей, семена разрезаются и выбрасываются по периферии диска в кожух. Из кожуха рушанка отводится вниз для дальнейшей переработки.

По мере работы обрушивателя режущие вершины радиальных рифлей срабатываются, и работа машины ухудшается. Момент затупления рифлей ножей узнается по повышенной температуре кожуха, окружающего диски.

Дисковый обрушиватель АС-900 (рисунок 1.9), изготавливаемый в Германии, по технологической схеме и принципу работы почти не отличается от вышеописанного обрушивателя. Однако конструктивно он значительно отличается от него.

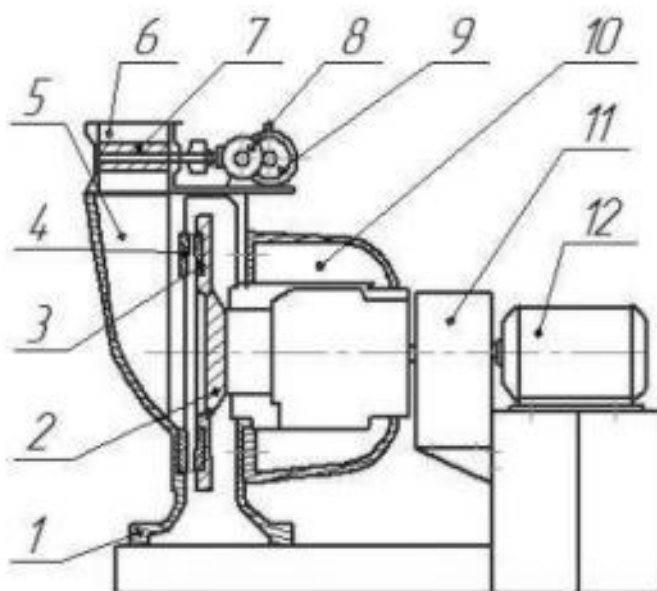


Рисунок 1.9 – Дисковый обрушиватель АС-900

Ножевой обрушиватель (рисунок 1.10) также рекомендуется применять для переработки тонковолокнистых сортов хлопчатника.

Ножевой обрушиватель состоит из питающего устройства, ножевого барабана и деки.

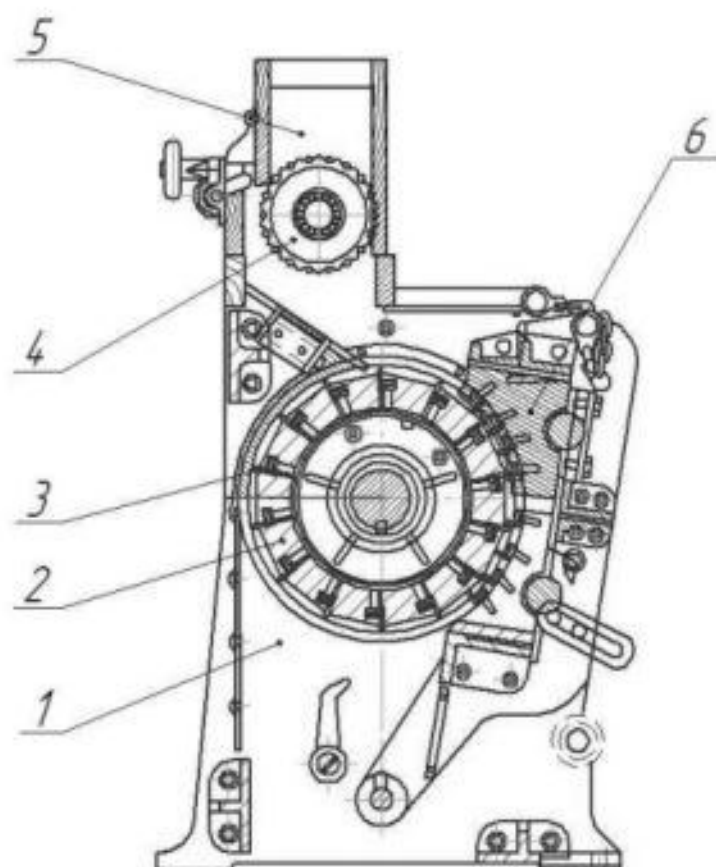


Рисунок 1.10 – Ножевой обрубиватель

Ножевой барабан имеет диаметр 596 мм и работает с окружной скоростью 29,6 м/с, поэтому для эффективной работы барабана необходима его тщательная балансировка. Балансировка ножевого барабана может осуществляться так же, как и барабана бичерушки.

Ножевой обрубиватель работает следующим образом. Поступающие в питающий бункер семена питающим устройством распределяются по длине ножевого барабана и попадают в щель между ножевым барабаном и декой. В этой щели семя подвергается воздействию ножей барабана и деки и разрезается. Разрезанные семена, пройдя щель между ножевым барабаном и декой, выбрасываются в выводное отверстие машины в виде рушанки.

Ножевой обрубиватель дает лучшие результаты по обрубиванию хлопковых семян, чем дисковый. Однако при попадании с семенами

различных твердых предметов (камней, гаек, болтов) ножевой обрушиватель может выйти из строя, что является его существенным недостатком.

Дальнейшие исследования по обрушиванию семян подсолнечника в наибольшей степени получили аэрошелушные установки.

Известно устройство для обрушивания семян, а именно устройство для непрерывной обработки зерна и органических материалов, содержащее загрузочный бункер с размещенным в его нижнем отверстии клапаном, связанным с одним из пневмоцилиндров, рабочую камеру с разгрузочным конусом, расположенным в ее нижнем отверстии и связанным с другим пневмоцилиндром, уровнемер, систему для подачи рабочего агента [7].

Недостатком описанного устройства является сложность конструкции, как следствие, большие габариты по высоте, обусловленные использованием промежуточной емкости, а в рабочей камере - коллекторов для трубчатых теплообменников.

Так же известно устройство для непрерывного обрушивания семян масличных культур путем создания перепада давлений, содержащее загрузочный бункер с размещенным в его нижнем отверстии перепускным клапаном, связанным с одним из пневмоцилиндров, рабочую камеру с перепускным клапаном, расположенном в ее нижнем отверстии и связанным с другим пневмоцилиндром, сборник обрушенных семян, уровнемер и систему для подачи рабочего агента. Между загрузочным бункером и рабочей камерой установлена промежуточная емкость, в нижнем отверстии которой находится перепускной клапан, связанный с пневмоцилиндром, размещенным внутри промежуточной емкости. Между рабочей камерой и сборником обрушенных семян расположено выпускное приспособление, выполненное в виде кольца с укрепленной эластичной диафрагмой, имеющей крестообразную щель. Промежуточная емкость и рабочая камера соединены с системой для подачи и отвода рабочего агента [9].

Недостатками описанного устройства является низкое качество обрушивания семян и сложность конструкции. Низкое качество, вызванное

недостаточной полнотой обрушивания семян, обусловлено несогласованностью объемов рабочей камеры с объемами загрузочного бункера и промежуточной емкости, а следовательно, с объемом предназначенной для обрушивания порции семян, а также тем, что выход обрушиваемых семян из рабочей камеры затруднен наличием выпускного приспособления, соединяющего рабочую камеру и сборник обрушенных семян.

Сложность конструкции обусловлена наличием промежуточной емкости, установленной между загрузочным бункером и рабочей камерой, и выпускного приспособления, расположенного между рабочей камерой и сборником обрушенных семян, что также увеличивает габариты описанного устройства по высоте.

В устройстве для обрушивания семян (рисунок 1.11), содержащем загрузочный бункер с размещенным в его нижнем отверстии перепускным клапаном, связанным с одним из пневмоцилиндров, рабочую камеру с перепускным клапаном, расположенным в ее нижнем отверстии и связанным с другим пневмоцилиндром, сборник обрушенных семян, уровнемер и систему для подачи рабочего агента, загрузочный бункер с установленным в нем уровнемером соединен с рабочей камерой, объем которой превышает объем загрузочного бункера не менее чем в 2,5 раза, при этом перепускной клапан рабочей камеры расположен в зоне соединения рабочей камеры со сборником обрушенных семян [23].

Пневмоцилиндр, связанный с перепускным клапаном рабочей камеры, может быть размещен вне рабочей камеры. Стенки сборника обрушенных семян могут быть выполнены из эластичного воздухопроницаемого материала.

Повышение качества обрушивания путем увеличения полноты обрушивания семян достигается возможностью осуществления четкой порционности обрушиваемых семян в количестве, позволяющем обеспечить быстрый выход семян из рабочей камеры в сборник обрушенных семян и тем

самым сократить время сброса давления рабочего агента от избыточного до атмосферного.

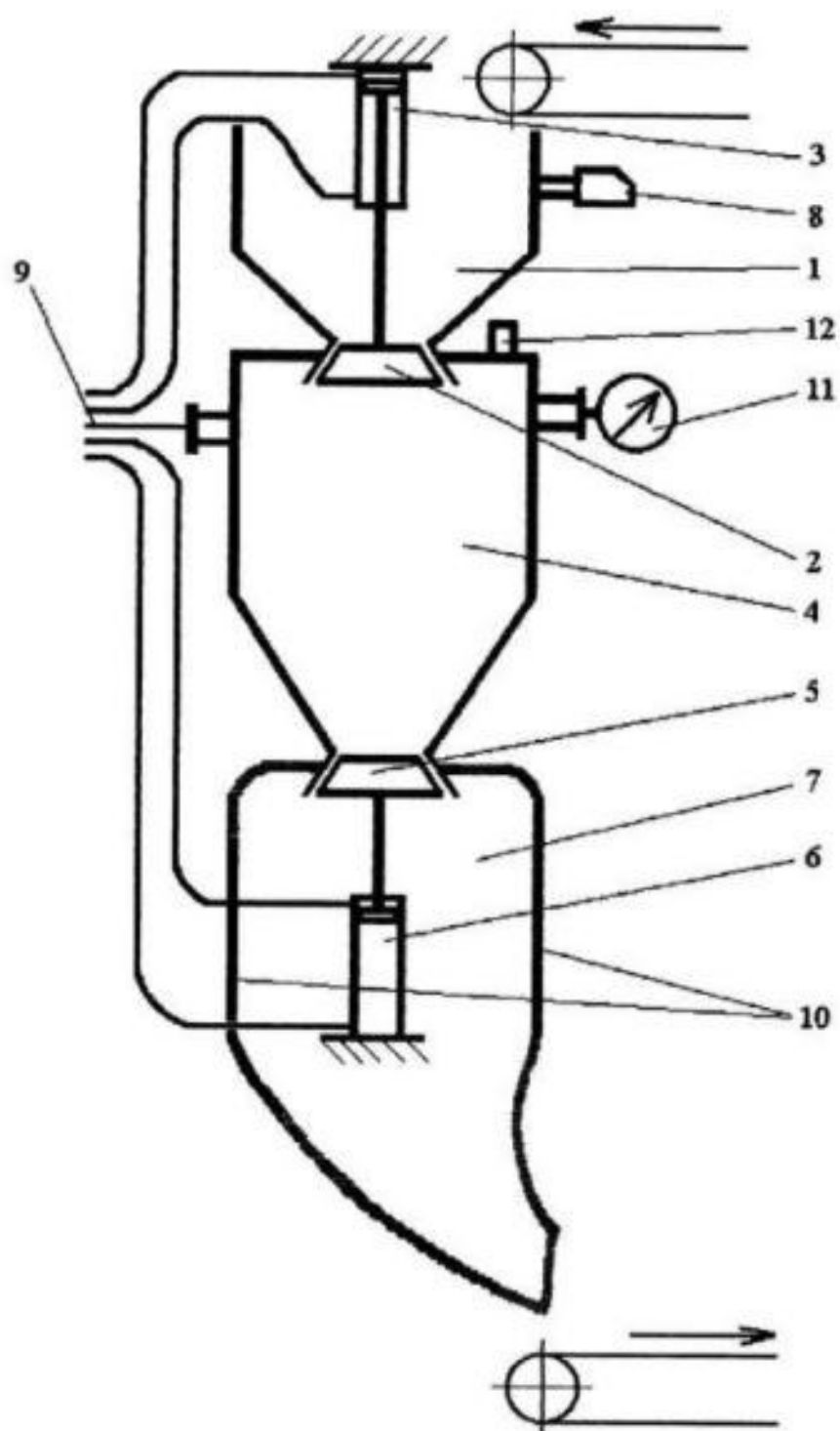


Рисунок 1.11 – Устройство для обрушивания семян по патенту РФ 2195367

Это обусловлено тем, что загрузочный бункер с установленным на нем уровнемером соединен с рабочей камерой, объем которой превышает объем загрузочного бункера не менее чем в 2,5 раза, при этом перепускной клапан рабочей камеры расположен в зоне соединения рабочей камеры со сборником обрубленных семян.

Увеличение полноты обрушивания семян за счет быстрого выхода семян из рабочей камеры в сборник обрубленных семян, и, как следствие, сокращения при этом времени сброса давления рабочего агента от избыточного до атмосферного достигается тем, что пневмоцилиндр, связанный с перепускным клапаном рабочей камеры, может быть размещен вне рабочей камеры. Это позволяет увеличить площадь сечения нижнего отверстия рабочей камеры в зоне соединения ее со сборником обрубленных семян и уменьшить возможность создания помех со стороны пневмоцилиндра во время выхода семян из рабочей камеры.

Повышение качества обрушивания за счет уменьшения дробления ядер семян вследствие смягчения ударов обрубленных семян о стенки сборника, а также за счет увеличения полноты обрушивания семян вследствие уменьшения времени сброса давления рабочего агента от избыточного до атмосферного обеспечивается тем, что стенки сборника обрубленных семян могут быть выполнены из эластичного воздухопроницаемого материала.

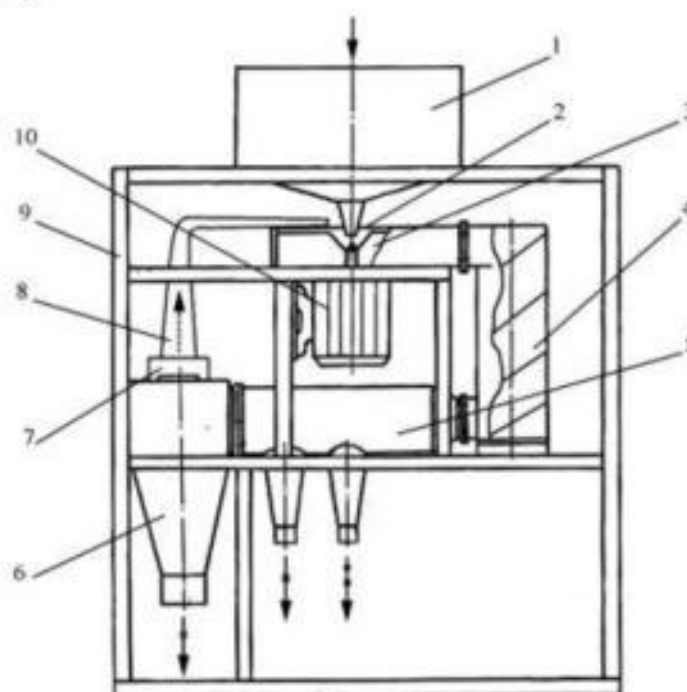
Основным недостатком данных конструкций – это завышенный расход энергии, превосходящий традиционные установки в 20...30 раз, т.е. на обработку одной тонны зернового материала необходимо затратить до 75 кВт/ч энергии. А также у этих машин быстро изнашивается материал трубок смешивания.

Следующее направление развития устройств для снятия плодовых оболочек основано на комплексных воздействиях различных методов и способов. В эту группу относятся, в основном, конструкции комбинированного типа, которая очень немного изучена. Вероятно, что эти машины более эффективно используют примененную мощность, а также

позволяют осуществить передовые технологические схемы получения целых ядерц семян, дающие возможность получить экологически чистое продовольствие. Кроме этого, эти машины более производительны и имеют большую эффективность, универсальны и компактны.

К этой группе также относятся последние разработки кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе» Казанского ГАУ – шелушильные и обрушивающие машины пневмомеханического типа (рисунок 1.12), которые можно применять и для отделения плодовых оболочек семян масличных культур [4, 9, 11].

Зерновой материал из бункера, попадая на ротор вентилятора, разгоняется и ударяется о поверхность рабочей пластины, далее по поверхности в виде спирали шелушильной камеры передвигаются в сепаратор, где происходит разделение по фракциям. Наличие пневмосепаратора дает потенциал для удаления из технологической схемы семеновейки [4, 9, 11].

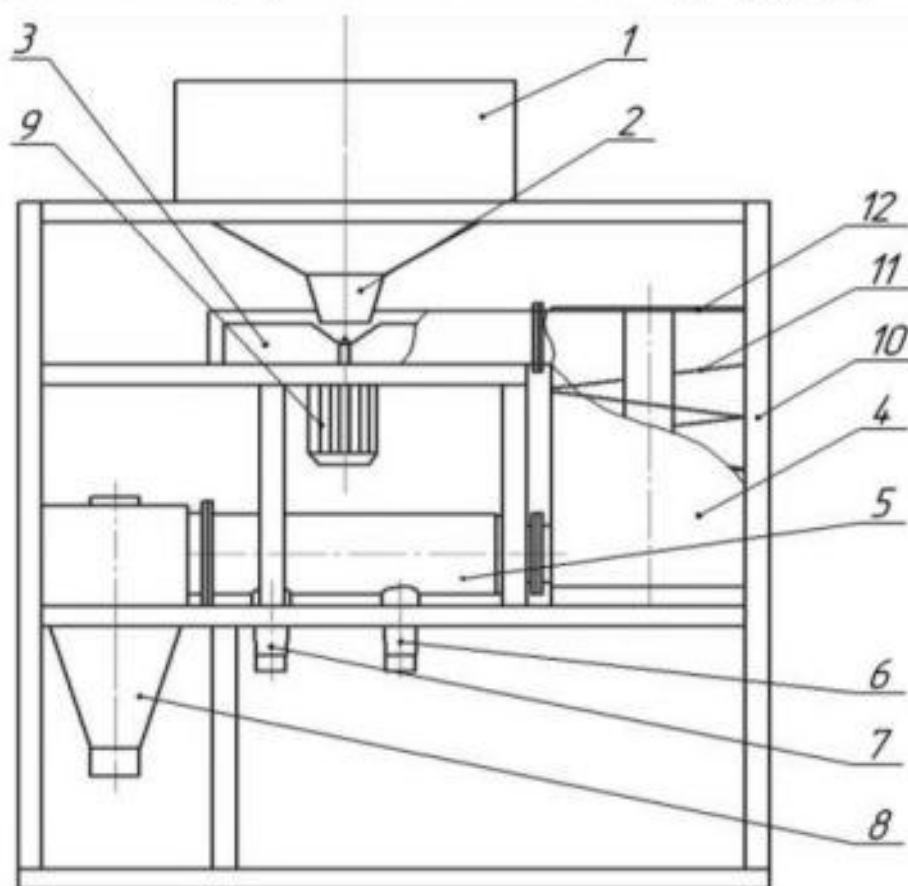


1 – бункер для зернового материала; 2 – центробежный вентилятор; 3 – ротор вентилятора; 4 – шелушильная камера; 5 – пневмосепаратор; 6 – осадитель; 7 – фильтрующий элемент; 8 – отвод; 9 – рама; 10 – электродвигатель вентилятора

Рисунок 1.12 – Шелушильное устройство пневмомеханического типа

Недостатком данной конструкции является то, что здесь направления движения семян при выходе из нагнетательного патрубка вентилятора является не постоянным, в результате чего часть семян не ударяются о рабочую поверхность пластины, а другая их часть – взаимодействующая, получает удар большой силы и травмируется, что приводит к снижению качества обрушивания.

В устройстве для шелушения зерна (рисунок 1.13) в выходном патрубке вентилятора установлен сетчатый конфузор [9, 13].



1 – бункер питающий, 2 – патрубок загрузочный, 3 – центробежный вентилятор, 4 – камера шелушильная, 5 – пневмосепаратор, 6, 7 – отводы готового продукта, 8 – центробежный осадитель, 9 – электродвигатель, 10 – рама, 11 – винтообразные рабочие поверхности, 12 – крышка пневмосепаратора.

Рисунок 1.13 – Устройство для шелушения зерна (RU № 91892)

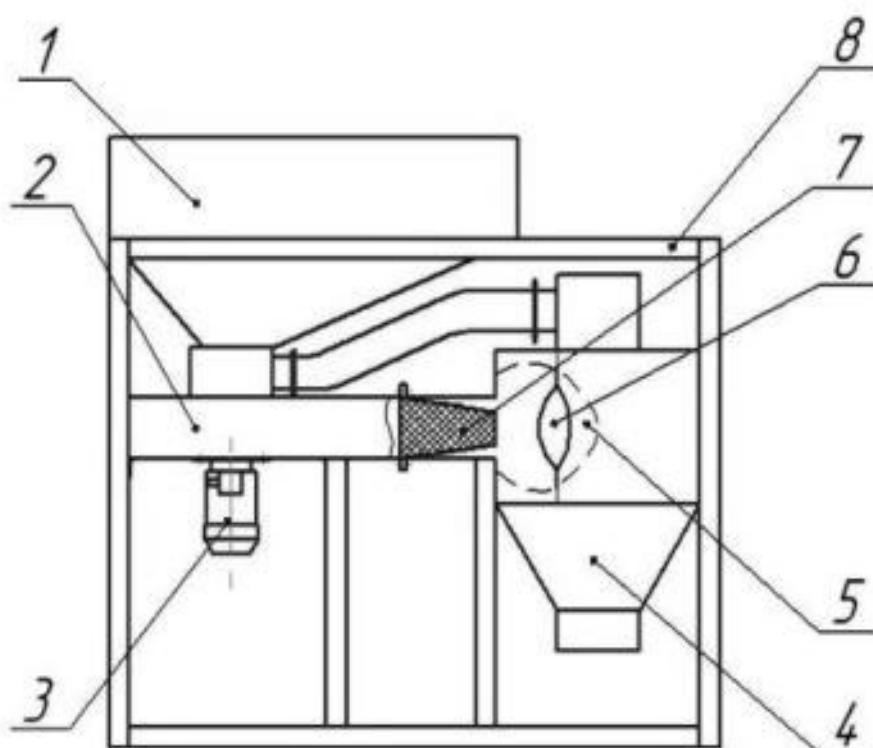
В этой машине повышается эффективность обрушивания за счет усиления процесса отделения оболочки от ядрицы вследствие

первоначального взаимодействия с гранями конфузора и обеспечения удара всей порции перерабатываемого зерна с рабочей пластиной.

Недостатком вышеописанных конструкций пневмомеханического типа является то, что в них зерновой материал взаимодействует с рабочей поверхностью деки под углом $40 \dots 50^\circ$. Из-за чего только часть энергии удара затрачивается на разрушение плодовой оболочки семян.

В устройстве для снятия плодовых оболочек с зерна (рисунок 1.14) рабочая пластина выполнена в виде полусферы, что позволяет семенам, при выходе с конфузора, ударяться о рабочую поверхность под прямым углом [9, 12].

При пневмомеханическом обрушивании, семена получают определенные разрушающие усилия, которые могут привести к повреждению ядра, а, следовательно, к уменьшению эффективности обрушивания.



1 – бункер с дозатором, 2 – вентилятор с лопастями, 3 – электродвигатель, 4 – камера осаждающая, 5 – труба вытяжная, 6 – рабочая пластина (полусфера), 7 – сетчатый конфузор, 8 – рама.

Рисунок 1.14 – Общий вид устройства для снятия плодовой оболочки пневмомеханического типа (RU № 88990)

Из анализа важнейших направлений развития машин для снятия плодовых оболочек семян видно, что они характеризуются значительным разнообразием, существенно отличающихся как по способу шелушения, так и по конструктивному исполнению.

В результате вышесказанного может прийти к заключению, что увеличение эффективности обрушивания масличных культур, а в частности – подсолнечника, может быть за счет разработок устройств функционирующих на перспективных способах комплексного действия поверхностей рабочих органов на перерабатываемый материал. Вследствие этого более полное исследование таких рабочих органов представляет большой интерес, как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Следовательно, исследования процессов обрушивания, результаты экспериментальных и теоретических исследований которых, могут быть использованы научно-исследовательскими учреждениями и конструкторскими организациями, является важнейшей задачей для создания новых конструкций семенорушек.

1.3 Краткие выводы. Цели и задачи исследований

Подводя итог проведенному анализу существующих способов получения подсолнечного масла и машин для шелушения (обрушивания) можно сделать вывод, что увеличение эффективности переработки подсолнечника, может быть за счет разработок устройств с рабочими органами, комплексно воздействующих на перерабатываемый материал. Следовательно, исследование конструктивно-технологических параметров данных рабочих органов представляет большой интерес, как с теоретической, так и с практической точки зрения.

При обрушивании, семена получают определенные разрушающие усилия, которые могут привести к повреждению ядра, а, следовательно, к

уменьшению эффективности обрушивания. Знания физико-механических свойств семян, а также технологических параметров семенорушки необходимы при обосновании его конструктивных параметров и режимов работы.

Цель: Исследование основ теории процесса обрушивания семян, разработка схемы и конструкции лабораторной семенорушки, проведение экспериментальных исследований.

Задачи исследований:

1. Анализ теоретических исследований процесса обрушивания
2. Разработка схемы аэродинамической семенорушки
3. Определение влияния физико-механических свойств семян на процесс обрушивания.
4. Определение концентрации смеси и скорости воздушного потока в аэродинамической семенорушке
5. Определение рациональных оборотов вентилятора

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Обзор теории обрушивания семян в семенорушках

Эффективность отделения плодовой оболочки оценивается количественным и качественным показателями. Первый – количественный – коэффициент обрушивания ($K_{обр}$), а второй – качественный – коэффициент цельности ядра ($K_{ц.я.}$).

Показатель коэффициента обрушивания (количественный показатель) определяется как отношение разности необрушенных семян до и после обрушивания к количеству необрушенных до поступления в семенорушку по следующей формуле [9]:

$$K_{обр} = \frac{(H_1 - H_2)}{H_1}, \quad (2.1)$$

где $K_{обр}$ – коэффициент обрушивания;

H_1 – количество необрушенных семян до поступления в семенорушку, %;

H_2 – количество необрушенных семян в рушанке, %.

Качественный показатель процесса обрушивания (коэффициент цельности) определяется отношением разности целых ядриц к сумме разностей целых, дробленых, мучки до и после обрушивания, и определяется по выражению [9]:

$$K_{ц.я.} = \frac{K_2 - K_1}{(K_2 - K_1) + (D_2 - D_1) + (M_2 - M_1)}, \quad (2.2)$$

где $K_{ц.я.}$ – коэффициент цельности ядра,

$K_2 - K_1$ – разность в содержании целого ядра в продукте после и до обрушивания, %;

$D_2 - D_1$ – разность в содержании дробленых ядер в продукте после и до обрушивания, %;

$M_2 - M_1$ – разность в содержании муки в продукте после и до обрушивания, %.

Кроме этих двух показателей имеется ещё один показатель для оценки процесса обрушивания в суммарно количественно-качественном виде. Определяется как произведение первых двух показателей:

$$E = K_{ц.я} \cdot K_{ш}, \quad (2.3)$$

где E – обобщенный показатель технологической эффективности.

На все вышеописанные показатели влияют различные факторы: технологические и физико-механические свойства семян (влажность, толщина лузги, прочность связи ядра и лузги), направление и величина внешних усилий, конструктивно-технологическая схема семенорушки.

Основными физико-механическими свойствами лузги подсолнечника, имеющими коренное значение при выборе метода обрушивания, являются упругость, пластичность и прочность. Упругость определяется отношением упругой деформации к пластической:

$$y = \frac{f_{упр}}{f_{пл}}, \quad (2.4)$$

где y – упругость;

$f_{упр}$ – упругая деформация;

$f_{пл}$ – пластическая деформация.

Пластичность – величина обратно пропорциональная упругости:

$$\Pi = \frac{f_{пл}}{f_{упр}}, \quad (2.5)$$

где Π – пластичность.

Общая деформация определяется как сумма упругой и пластической деформаций [9]:

$$f_{общ} = f_{упр} + f_{пл}, \quad (2.6)$$

где $f_{общ}$ – общая деформация.

Прочность семян характеризуется величиной усилия, при которой совершается надкол или полное разрушение лузги.

Для отделения плодовой оболочки применяются различные способы и методы:

- многократного удара (выполняется на бичерушках);
- однократного удара (реализовывается на центробежных рушках);
- разрезанием или скалыванием (осуществляется на ножевых или дисковых обрушивателях);
- аэродинамическим методом (на аэрошелушительных машинах);
- методом «мгновенного» сброса избыточного давления пара или воздуха;
- методом циклических трансформаций давления;
- использованием электродинамических эффектов в водной среде;
- способом комплексного воздействия на семянку.

Проведенный нами анализ показал, что предельное распространение получили способы, основанные на ударных воздействиях: многократных и однократного удара.

Практическим и теоретическим исследованиям процессов обрушивания в центробежных рушках посвящены работы многих ученых, таких как Масликов В.А., Выродов И.П., Деревенко В.В., Кошевой Е.П., Коваленко В.Н. и другие.

В устройствах ударно-инерционного типа семена обрушиваются за счет разгона ротором и удара о поверхность деки.

На основании решения уравнения движения семянки в роторе с радиальными каналами выведены следующие конечные решения [1, 9]:

$$Z \approx \sqrt{f^2 + 1} - f, \quad (2.7)$$

$$U = U_0 \left(\sqrt{f^2 + 1} - f \right) = \omega R_n \left(\sqrt{f^2 + 1} - f \right), \quad (2.8)$$

$$Z = \frac{U}{U_0}, \quad (2.9)$$

где R_n – наружный радиус диска, м;

f – коэффициент внешнего трения семян о рабочую поверхность;

U – относительная (радиальная) скорость, м/с;

U_0 – окружная скорость, м/с;

ω – угловая скорость, рад/с.

Анализируя полученные уравнения, можем сделать вывод, что масса зерновки не влияет на скорость движения по ротору.

Дальнейшие исследования по обрушиванию подсолнечника в наибольшей степени получило аэрошелушение. Жислин Я.М. в своих работах по исследованиям процессов аэродинамического обрушивания описывает характеристику влияния конструктивно-технологических параметров аэрошелушильной установки на эффективность процесса обрушивания. Жислин Я.М. вывел зависимости для вычисления удельной энергоемкости процесса, а также производительности аэрошелушильных установок [4, 7, 9]:

$$\varepsilon = \varphi \frac{0,396 P_0 F_{кр}}{367,2 \mu^3_{ср} \sqrt{T_0} + F_{тр.см} K_{тр.см}}, \quad (2.10)$$

$$Q = 3,6 \mu V_{ср} F_{тр.см} K_Q, \quad (2.11)$$

где ε – удельная энергоемкость процесса шелушения, кВт×ч/т;

φ – коэффициент потери энергии воздушной струи при истечении из сопла;

$F_{кр}$ – площадь критического сечения сопла, мм²;

μ – скорость воздуха, м/с;

$F_{тр.см}$ – площадь поперечного сечения трубки смешивания, мм²;

$K_{тр.см}$ – коэффициент использования трубки смешивания;

Q – производительность аэрошелушильной установки, т/ч;

$V_{ср}$ – средняя скорость зерновки в трубке смешивания, м/с;

n – число трубок смешивания в устройстве;

K_Q – коэффициент, учитывающий степень использования трубки смешивания и воздушного потока.

Свежее направление развития семенорушек сформировано на комплексном (комбинированном) воздействии различных методов. Исследованием комбинированных способов шелушения (обрушивания) занимались Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В. и Халиуллин Д.Т. [4, 5, 9-14].

Нуруллин Э.Г. изучал проблемы процесса взаимодействия зерновки с рабочими поверхностями шелушителя и получил зависимость для определения траектории передвижения зерновки по лопаткам броскового вентилятора [4]:

$$X = ae^{k_1 t} + be^{k_2 t} - c \sin \alpha t - d \cos \alpha t - L, \quad (2.12)$$

где $a = C_1$;

$b = C_2$;

$$c = \frac{A - fB}{2\omega^2(1 + f^2)};$$

$$d = \frac{fA + B}{2\omega^2(1 + f^2)};$$

$$L = r_0 D.$$

По выведенному выражению, вставляя соответствующие числовые значения, можно получить кинематические элементы движения зерна, связанные с конструктивными параметрами шелушителя.

Дмитриевым А.В. были выведены зависимости, описывающие движение зерна в шелушильной камере, а также выражения для определения энергии, необходимой для разрушения плодовой оболочки [9]:

$$E_1 = \frac{m}{2} \omega^2 r_1^2 (1 + 2K + 4K^2) \quad (2.13)$$

где E_1 – энергия необходимая для качественного шелушения.

$$E_2 = \frac{m}{2} (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha) V_1^2 \quad (2.14)$$

где E_2 – кинетическая энергия зерна после первого удара.

$$E_3 = k^2 \frac{mV^2}{2}, \quad (2.15)$$

где E_3 – количество энергии зерна после второго удара (падения).

$$E_4 = 4\pi f_1 \cdot \frac{mV_0^2}{2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{2\pi R}\right)^2} + 2\pi R g m f_2, \quad (2.16)$$

где E_4 – дополнительная энергия шелушения, $E_4 = E_1 - (\Delta E + \Delta E_1)$:

Зная значение энергии E_4 , можем вычислить диаметр камеры шелушительной, величину шага винтового рабочего органа, а также определить шероховатость поверхностей рабочих органов.

Халиуллин Д.Т. в своих работах выведены зависимости взаимодействия рабочих органов с воздушно-зерновой смесью, а также разработана математическая модель технологического процесса обрушивателя [9]:

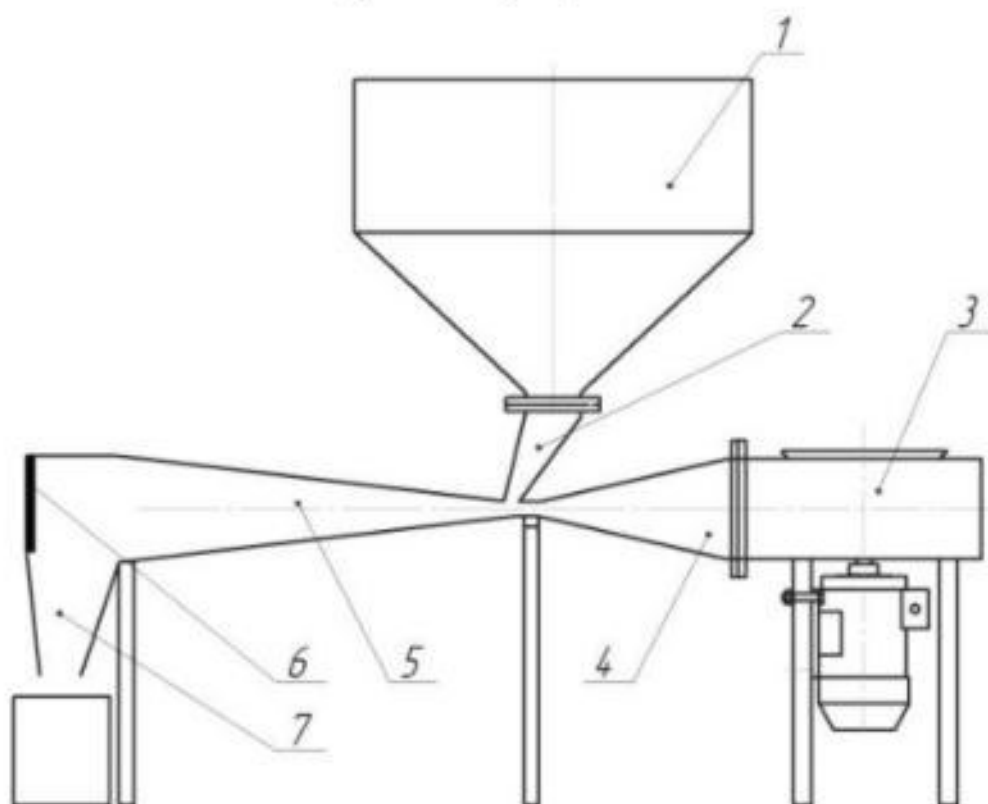
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \vartheta_x - \frac{\vartheta_x - A}{k_n t (\vartheta_x - A) + 1}, \\ \frac{dy}{dt} = \vartheta_y - \frac{\vartheta_y - B}{k_n t (\vartheta_y - B) + 1}. \end{cases} \quad (2.17)$$

Данная система уравнений позволяет обосновывать конструктивно-технологические параметры шелушительной камеры с учетом фильтрации воздуха через стенки конфузора и его параметров.

2.2 Разработка конструктивно-технологической схемы аэродинамической семенорушки

На основании анализа существующих конструкций и патентного поиска нами выявлен весомый недостаток – это повышенные энергозатраты на процесс аэрошелушения (более чем в два с половиной раза превышающие затраты энергии по сравнению со стандартными технологиями). К тому же машины аэрошелушительного типа имеют сравнительно низкую производительность.

В связи с этим, предлагается конструктивно-технологическая схема устройства для снятия плодовых оболочек с зерна (рисунок 2.1), позволяющая повысить эффективность процесса обрушивания, снижение энергозатрат при уменьшении выхода битого продукта и материалоемкости установки за счет применения в конструкции нескольких методов отделения ядра от плодовой оболочки (лузги, шелухи).



1 – бункер, 2 – патрубок, 3 – вентилятор, 4 – диффузор, 5 – конфузор, 6 – рабочая пластина, 7 – патрубок выгрузной

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема аэродинамической семенорушки

В аэродинамической семенорушке, содержащей питающий бункер с загрузочным патрубком, высоконапорный центробежный вентилятор, предлагается в качестве рабочих органов нагнетательного пневмотранспортной установки с эжекционной воронкой, выполненной из сужающего канала (конфузора), горловины и расширяющего канала

(диффузора), а также рабочей пластины, расположенной в широком сечении диффузора.

Повышается эффективность обрушивания (шелушения), снижается травмирование ядер за счет замены механических устройств воздушным потоком для разгона зерна, а также автоматическая регулировка направления точки приложения силы удара зерновки о рабочую пластину за счет аэродинамических свойств.

На рисунке 2.2 представлен вид сверху.

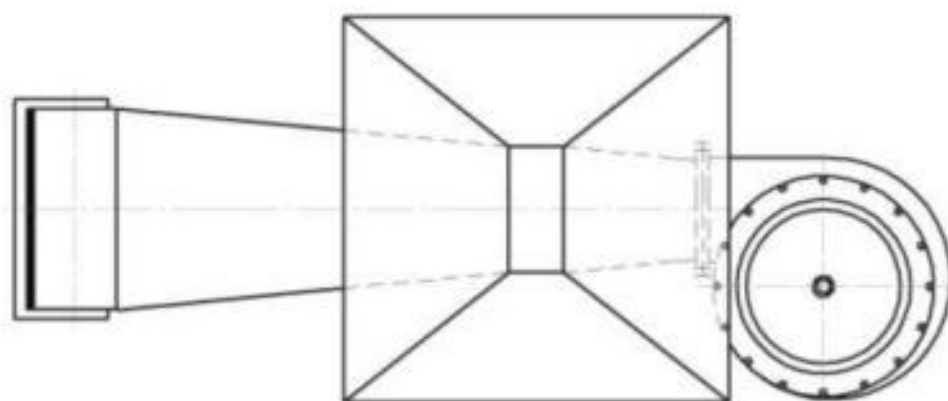


Рисунок 2.2 – Вид сверху аэродинамической семенорушки

Принцип работы устройства аэродинамической семенорушки заключается в следующем. Семена из бункера 1 патрубком 3 подаются через всасывающее отверстие в горловину (между диффузором 4 и конфузуром 5), где разгоняются воздушным потоком, создаваемым высоконапорным центробежным вентилятором 2, и далее ударяются о рабочую поверхность пластины 8. Конфузор позволяет увеличить среднюю скорость и давление воздушного потока с наименьшим коэффициентом местного сопротивления вследствие плавного сужения канала. Таким образом, создаются необходимое давление и скорость воздушного потока для транспортировки семян в диффузоре с увеличением их скорости, достаточной в момент удара для разрушения плодовой оболочки и отделения от ядер.

Конфузор и диффузор имеют прямоугольные сечения, причем высота узкого сечения в точке соединения равна 1,5...2,5 высоты перерабатываемого продукта. Угол раскрытия конфузора не более 20°, а диффузора не более 8°.

Обрушивание происходит за счет эжекции и в результате удара зерна о рабочую поверхность пластины. Применение данной конструкции позволяет улучшить показатели технологической эффективности обрушивания и повысить рентабельность применения данного вида оборудования.

Разработка конструкции аэродинамической семенорушки позволит получать высокую степень обрушивания, цельность ядра и чистоту продукта при хорошей (достаточной) производительности.

2.2 Разработка функциональной схемы аэродинамической семенорушки

При изучении принципов работы семенорушек, необходимо рассматривать определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных элементах машины. В процессе разработки технологического процесса нередко выявляется необходимость изменения технологических схем с целью приспособления их к требованиям автоматизации, установленным на основании технико-экономического анализа.

Для разъяснения процессов, протекающих в отдельных узлах семенорушки необходимо разработать функциональную схему машины. Функциональная схема (рисунок 2.3) является одним из основных технических документов, определяющих функционально-блочную структуру отдельных узлов семенорушки, управления и регулирования процесса обрушивания и при необходимости оснащения органов управления приборами и средствами автоматизации.

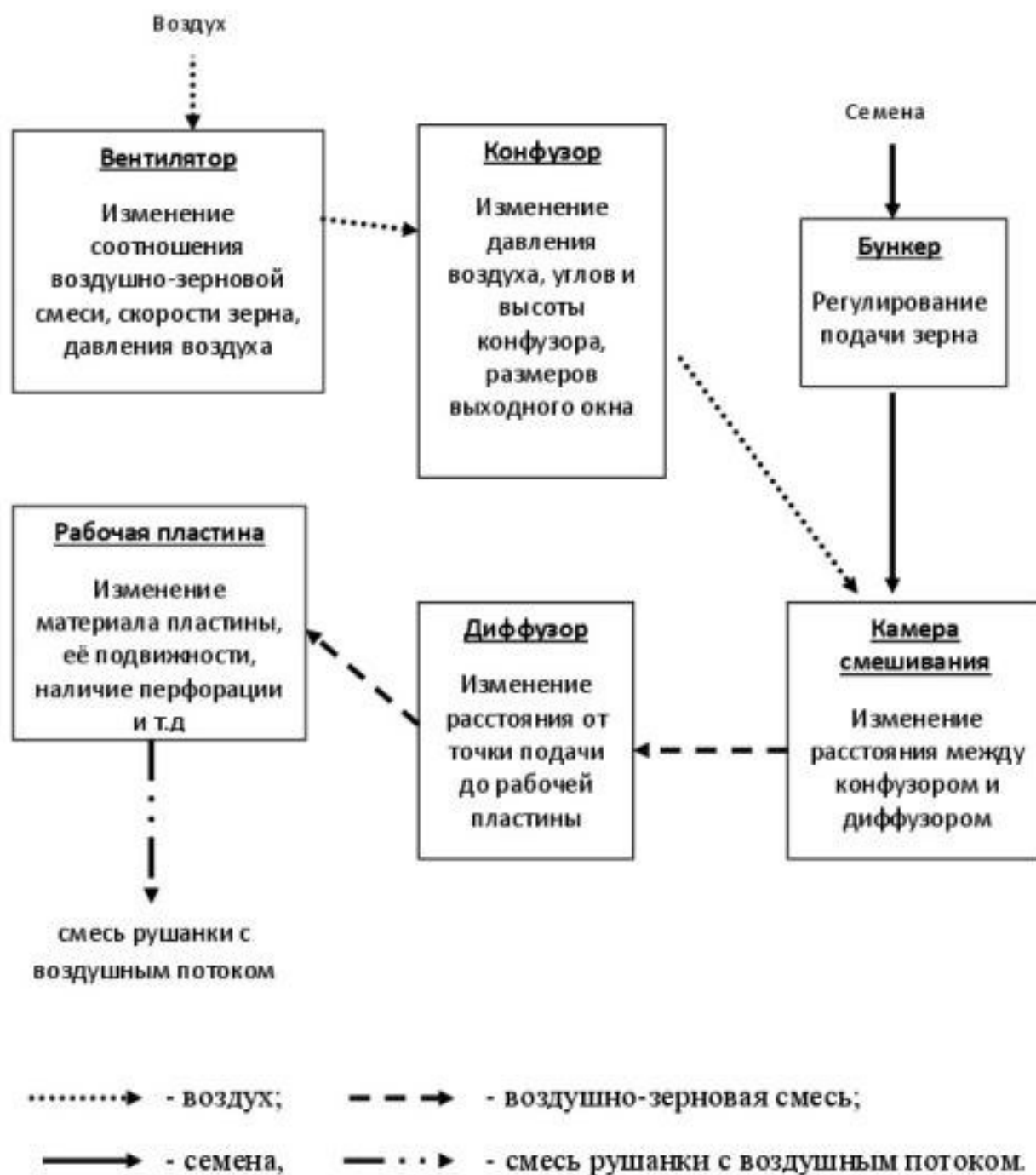


Рисунок 2.3 – Функциональная схема семенорушки аэродинамического типа

При разработке функциональной схемы решались следующие задачи:

- получена первичная информация о состоянии технологического процесса и оборудования;

- непосредственное воздействие на технологический процесс обрушивания для управления им;
- стабилизация технологических параметров обрушивания;
- контроль и регистрация технологических параметров обрушивания и состояния рабочих органов семенорушки.

Технологический процесс протекает следующим образом: высоконапорный центробежный вентилятор нагнетает воздух в конфузор, который позволяет увеличить среднюю скорость и давление воздушного потока с наименьшим коэффициентом местного сопротивления вследствие плавного сужения канала. Зерно из бункера патрубком подаётся через всасывающее отверстие в аэродинамическую трубу (между диффузором и конфузором), где разгоняются воздушным потоком и ударяются о рабочую поверхность пластины. В процессе воздействия на семена вначале пониженного давления, в патрубке бункера, затем повышенного давления, в диффузоре и удара о рабочую поверхность, оболочка семян разрушается и отделяется от ядра [9...15].

Разработанная нами функциональная схема по сравнению со структурной более подробно раскрывает функции отдельных элементов и устройств. Этой схемой можно пользоваться как при изучении принципов работы машины, а также при наладке, контроле и ремонте.

2.3 Теоретическое определение конструктивно-технологических параметров аэродинамической семенорушки

Основным отличием аэродинамической семенорушки, разработанной на кафедре машин и оборудования в агробизнесе Казанского государственного аграрного университета, является применение в качестве

рабочих органов нагнетательного пневмотранспортной установки с эжекционной воронкой, выполненной из сужающего канала (конфузора), горловины и расширяющего канала (диффузора), а также рабочей пластины, расположенной в широком сечении диффузора.

Для каждой конкретной системы пневмотранспорта производится индивидуальный расчет эжекционной воронки. Исходными данными для расчета являются суммарные потери давления в системе $\Sigma \Delta p$ от воронки до конечной точки разгрузки и расход воздуха в сечении Б-Б равный Q_B .

Расчет воронки сводится к определению размеров в сечении А – А и Б – Б по схеме рисунок 2.4.

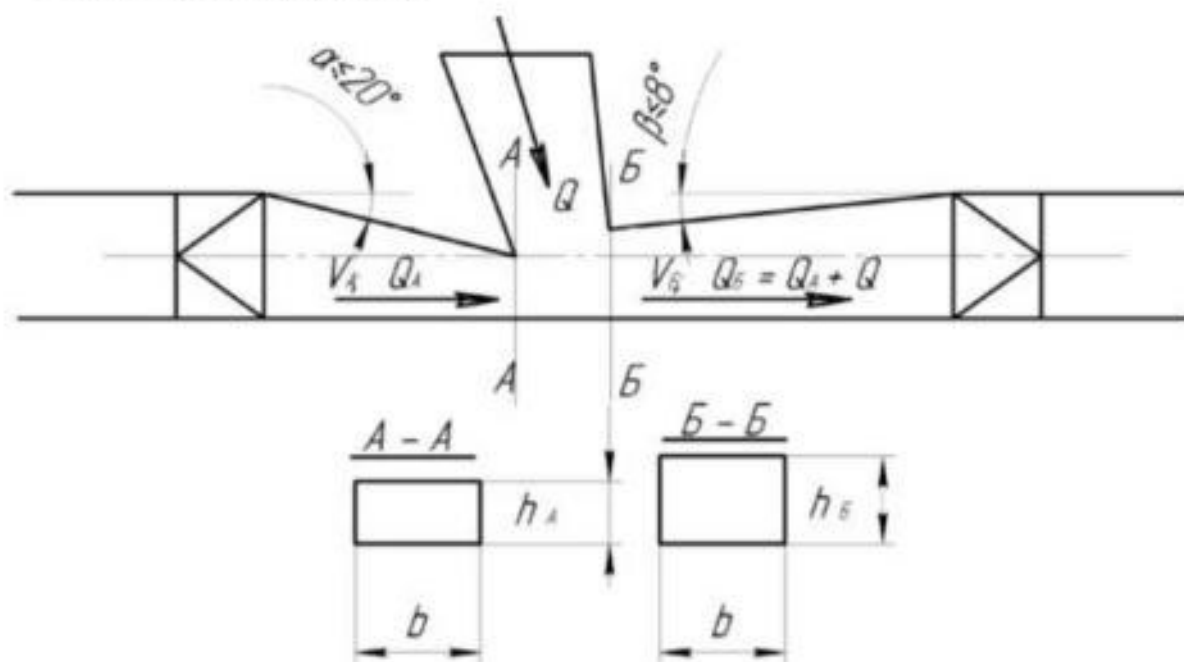


Рисунок 2.4 – Схема к расчету эжекционной воронки

1. Задаются коэффициентом подсоса воздуха через воронку K равным 1,05 – 1,15. Коэффициент полезного действия воронки η изменяется в пределах от 0,8 до 0,7 обратно пропорционально величине подсоса.

2. Определяют полное давление в сечении А-А по формуле

$$H_A = \frac{H_B}{\eta} K, \quad (2.18)$$

где H_B – полное давление в сечении Б-Б, равное $\Sigma \Delta p$.

3. Определяют значение скорости в сечениях А-А и Б-Б, м/с:

$$V_A = \sqrt{\frac{2H_A}{\rho}}; \quad (2.19)$$

$$V_B = \sqrt{\frac{2H_B}{\rho}}; \quad (2.20)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м³.

4. Задаются шириной воронки b , общим для сечений А-А и Б-Б, и определяют значения высоты воронки в соответствующих сечениях h_A и h_B , м, по формулам:

$$h_A = \frac{Q_A}{V_A \cdot b}, \quad (2.21)$$

$$h_B = \frac{Q_B}{V_B \cdot b}, \quad (2.22)$$

Ширину воронки b рекомендуется принимать в пределах $0,65d - 0,85d$, а расстояние между сечениями А-А и Б-Б принимается равным от $0,8$ до $1,2b$. На практике в конструкции воронок устанавливают шибера, с помощью которых в процессе эксплуатации возможно изменение размеров h_A или h_B . Это позволяет изменять режимы работы эжекционной воронки.

Основным технологическим параметром пневмотранспорта, является концентрация смеси – отношение массы транспортируемого материала за единицу времени к массе транспортирующего этот материал воздуха.

Расходная концентрация смеси определяется из соотношения:

$$\mu = \frac{q_c}{q_B}, \quad (2.23)$$

где μ – расходная концентрация смеси, кг семян/кг воздуха;

q_c – массовый расход семян, кг/с;

q_B – массовый расход воздушного потока, кг/с.

Массовый расход семян q_c выразим через производительность (пропускную способность) бункера семенорушки:

$$q_n = 1000 \cdot v_{ист} \cdot \gamma \cdot s_0, \quad (2.24)$$

где q_n – пропускная способность семенорушки, кг/с;

$v_{ист}$ – скорость истечения семян из выпускного отверстия бункера, м/с;

γ – объемная плотность семян, т/м³;

s_0 – расчетная площадь выпускного отверстия бункера, м^2 .

Массовый расход воздушного потока определяем по формуле:

$$q_B = S_{Б-Б} \cdot v_B \cdot \rho_B, \quad (2.25)$$

где $S_{Б-Б}$ – площадь поперечного сечения Б-Б, м^2 ;

v_B – скорость воздушного потока, м/с ;

ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3 .

Скорость воздушного потока в трубе зависит от геометрических параметров конфузора и диффузора и характеристик нагнетаемого вентилятора [9].

Таким образом, с учетом зависимости (2.24) соотношение (2.25) для определения концентрации воздушно-зерновой смеси в пневмотранспортной трубе аэродинамической семенорушки запишется в следующем виде:

$$\mu = \frac{1000 \cdot v_{\text{ст}} \cdot \gamma \cdot s_0}{S_{Б-Б} \cdot v_B \cdot \rho_B}, \quad (2.26)$$

Анализ данного выражения показывает, что концентрация воздушно-зерновой смеси в трубе семенорушки зависит как от соотношения объемной массы семян и воздуха, так и от параметров аэродинамической установки.

Получены теоретические зависимости, позволяющие определить концентрацию смеси и скорость воздуха в пневмотранспортной трубе.

Полученные теоретические зависимости могут быть использованы при обосновании конструктивно-технологических параметров аэродинамической семенорушки, а также в теоретических исследованиях и вычислительных экспериментах, моделирующих процессы движения воздушно-зерновой смеси.

Расчет установок пневмотранспорта

В системах пневмотранспорта массовая концентрация аэросмеси в зависимости от характеристики транспортируемого груза и конфигурации трубопровода достигает $\mu=8...25$, при транспортировании аэрированными потоками $\mu=60...150$.

Для предупреждения завалов должна учитываться крупность частиц груза и выполняться условие

$$D \geq 3a, \quad (2.27)$$

где a – размер типичных частиц груза.

Внутренний диаметр трубопровода определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4Q\gamma_e}{\pi v \gamma_n}}. \quad (2.28)$$

где Q – секундный расход воздуха, м³/сек;

γ_e – удельный вес атмосферного воздуха;

v – средняя скорость течения воздушного потока, м/сек;

γ_n – удельный вес воздуха в начале нагнетательного трубопровода, кг/м³.

Тогда секундный расход воздуха

$$Q = \frac{D^2 \pi v \gamma_n}{4\gamma_e}. \quad (2.29)$$

Зная секундный расход воздуха, можно определить секундный весовой расход транспортируемого материала по формуле

$$G_n = Q\gamma_e\mu. \quad (2.30)$$

где G_n – секундный весовой расход материала, кг/сек;

μ – насыпная плотность материала, кг/м³.

Определение потерь давления в пневмотранспортной установке.

Общее давление в пневмотранспортной установке складывается из суммарных потерь давления в нагнетательном участке трубопровода.

Потери давления воздуха на основном нагнетательном участке транспортной системы при движении по нему аэросмеси складываются из потерь давления на придание кинетической энергии аэросмеси, потерь давления в загрузочных устройствах, в транспортном трубопроводе и потерь давления на выходе из трубопровода:

$$P_{\text{нп}} = P_{\text{тр}} + P_{\text{кз}} + P_{\text{зг}} + P_{\text{в}}, \quad (2.31)$$

где $P_{\text{тр}}$ – потери давления на трение в транспортном трубопроводе;

$P_{кз}$ – потери давления на придание кинетической энергии аэросмеси;

$P_{зг}$ – потери давления воздуха в загрузочной трубке, вызванные изменением геометрических размеров трубопровода;

$P_в$ – потери давления на выходе из трубопровода.

По окончании расчета пневмотранспортной установки определяют требуемое давление и расход воздуха, развиваемые воздуходувной машиной.

Необходимое давление, кг/м^2 , определяют по формуле

$$P = C P_{ну}, \quad (2.32)$$

где C – коэффициент запаса, принимается равным 1,1.

Требуемый часовой расход воздуха с учетом потерь через питатель, $\text{м}^3/\text{с}$, находят по формуле

$$Q' = 3600 m Q, \quad (2.33)$$

где m – коэффициент, учитывающий потери сжатого воздуха через загрузочное устройство $m = 1,05$.

Необходимая потребляемая мощность для обеспечения требуемого давления и расхода при непосредственном соединении машины с электродвигателем через муфту определяется по формуле

$$N = \frac{z(Q'/3600)P}{102 \eta_m \eta_{пр}}, \quad (2.34)$$

где z – коэффициент запаса, 1,2;

η_m – кпд машины;

$\eta_{пр}$ – кпд механического привода.

Проведенные теоретические исследования и расчеты позволяют сделать вывод о работоспособности разрабатываемого устройства.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общий план экспериментальных исследований

Программа проведения лабораторных экспериментальных исследований предусматривала:

1. Определение влажности семян подсолнечника.
2. Определение аэродинамических свойств семян подсолнечника.
3. Исследование влияния технологических параметров аэродинамической семенорушки на показатели технологической эффективности процесса обрушивания.
4. Обработка результатов и их анализ

3.2 Методика определения влажности семян подсолнечника

Определение влажности зернового материала проводилось, применяя лабораторное оборудование по ГОСТ 10856-96.

Влажность зернового материала определялась путем высушивания навесок в электрическом сушильном шкафу. Для этого используем шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п, весы ВК-600.1, термометр ТПК-М (рисунки 3.1, 3.2, 3.3).

Программа проведения экспериментального исследования по определению влажности зернового материала заключалась в следующем:

Зерновой материал взвешиваем на весах бюксах, в каждую из которых закладываем 5 гр. Далее размалываем необходимое количество исследуемого материала, помещаем в отдельную емкость.



Рисунок 3.1 - Шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п.

При помощи совочка помещаем размолотые зерна буюсы. Предварительно нагреваем сушильный шкаф до необходимой температуры, и помещаем в него буюсы предварительно открытые буюсы. Буюсы с материалом держим в сушильном шкафу с выдержкой 40 минут. По истечении этого времени вынимаем буюсы из шкафа и охлаждаем. Во время охлаждения крышки буюсов должны быть закрыты.

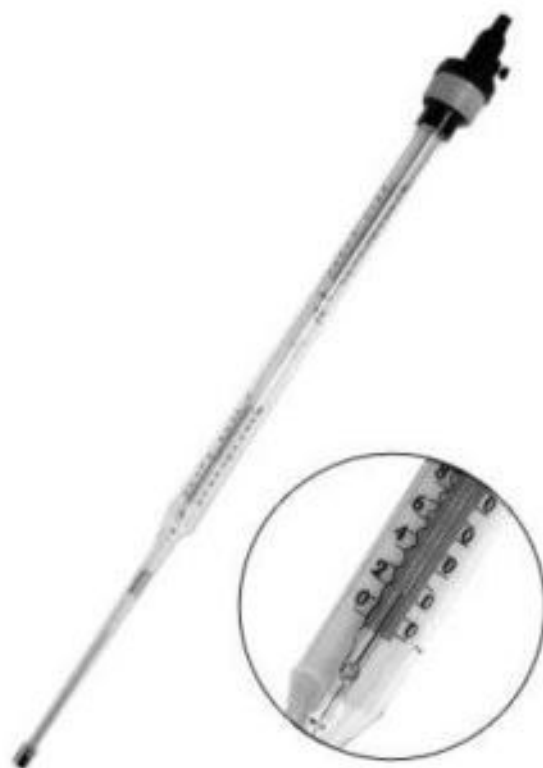


Рисунок 3.2 - Термометр ТПК-М



Рисунок 3.3 - Весы лабораторные Масса-К ВК-600.1

После остывания бюксы с зерновым материалом и крышками необходимо взвесить их при помощи весов. По разнице в весе до и после помещения в сушильный шкаф определяем массу испарившейся влаги, которая выражается в процентах к навеске массой 5 гр.

Влажность рассчитывается по следующей формуле:

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

где a - масса бюксы с крышкой, гр;

b - масса бюксы с крышкой и навеской размолотых семян до высушивания, гр;

c - масса бюксы с крышкой и навеской размолотых семян после высушивания, гр.

Определения влажности для всех проб проводят в трехкратной повторности. Влажность исследуемой пробы находят как среднее арифметическое значение из этих трех определений. Разница между двумя определениями допускается не более $\pm 0,5\%$.

3.3 Методика определения лужистости и аэродинамических свойств семян подсолнечника

Лабораторные исследования показателей качеств и аэродинамических свойств семян подсолнечника определялись согласно методик и соответствующих стандартов ГОСТ 22391-89 «Подсолнечник. Требования при заготовках и поставках».

Методика определения лужистости семян подсолнечника

Лузжистость семян определялось согласно ГОСТ 10855-64 (пп. 55 и 59). Программа проведения экспериментального исследования по определению лузжистотси заключалась в следующем:

Зерновой материал взвешиваем на весах, в каждую из которых закладываем 10 гр. Далее отделяем плодовую оболочку (лузгу) с семян подсолнечника вручную с помощью пинцета. Полученную лузгу взвешиваем на электронных весах. Лузжистость рассчитывается как отношение массы необрушенных семян к массе плодовых оболочек (лузги) по следующей формуле:

$$Л = \frac{M_c}{M_d} \times 100, \quad (3.2)$$

где $Л$ - лузжистость семян, %;

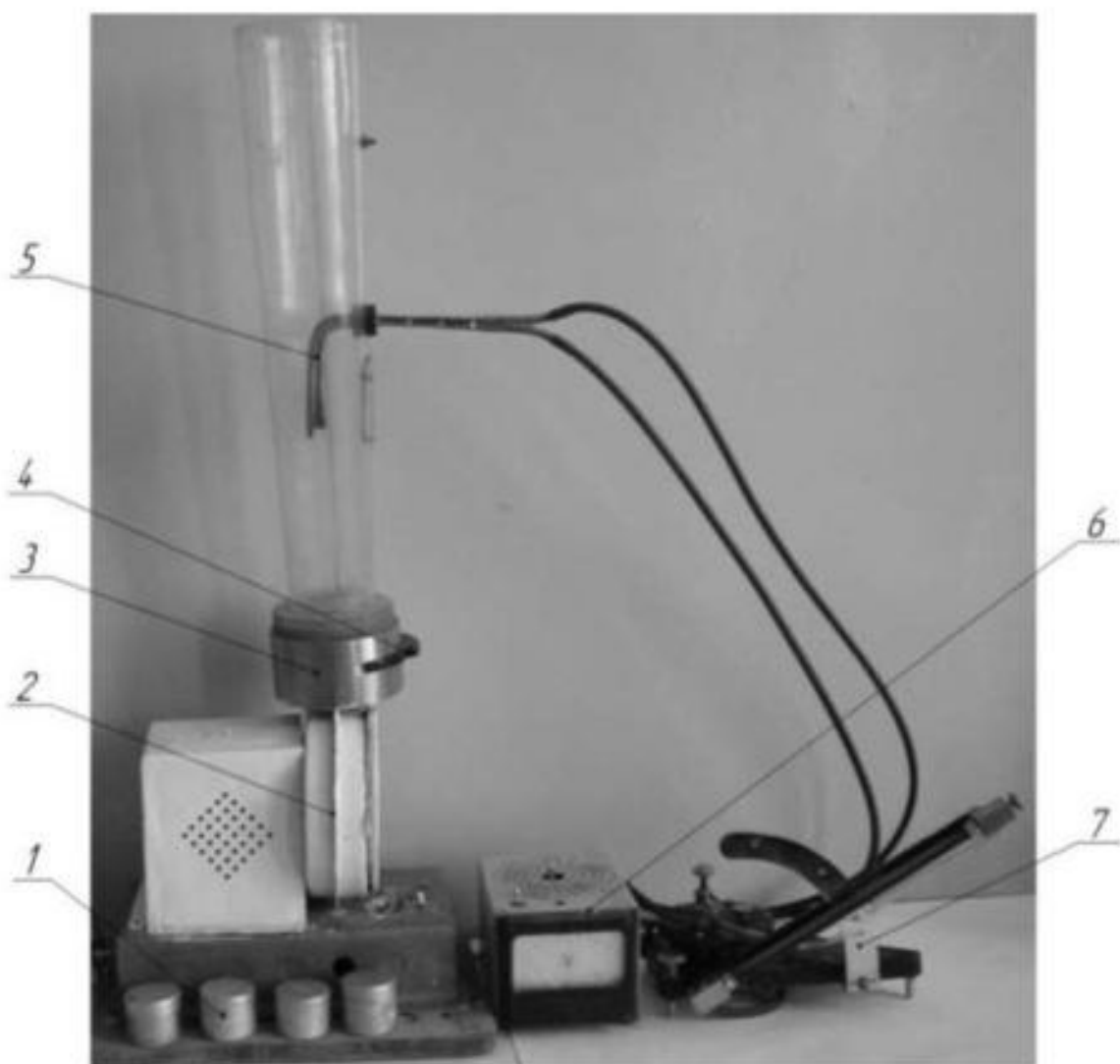
M_c - масса семян, г;

M_d - масса лузги, г.

Лузжистость семян выражаем в процентах, подсчитывая с точностью до сотых, а среднее арифметическое (конечный результат) округляем до десятой доли процента.

Методика определения аэродинамических свойств семян

Для определения критических скоростей ядриц, дробленки, лузги и необрушенных семян применялся лабораторный парусный классификатор (рисунок 3.4). Подготовка семян подсолнечника к эксперименту проводилось по методике, согласно ГОСТ 22391-89.



1 – бюксы с крышками, 2–центробежный вентилятор, 3 – основание, 4 – загрузочная кассета, 5 – трубка Пито, 6 – реостат, 7 – указатель динамического напора.

Рисунок 3.4 – Лабораторный парусный классификатор

Программа проведения эксперимента по определению аэродинамических свойств зернового материала заключалась в следующем:

Материал (семена, ядрица, дробленка, лузга) закладывали в загрузочную кассету парусного классификатора, далее включали вентилятор, реостатом устанавливали необходимую частоту вращения ротора вентилятора, при котором основная часть семян находилась во взвешенном состоянии, и снимали показатели динамического напора.

Определение основных аэродинамических свойств зернового материала, характеризующих их поведения в воздушном потоке, выполнялось при помощи следующих формул:

$$V_{кр} = 1,29 \cdot \sqrt{h_d}, \quad (3.3)$$

где $V_{кр}$ - скорость витания, м/с;

h_d - значение динамического напора, Па.

$$K_n = \frac{9,8}{V_{кр}^2}, \quad (3.4)$$

где K_n - коэффициент парусности.

$$K = \frac{K_n \cdot G}{9,8 \cdot \gamma \cdot F}, \quad (3.5)$$

где K - коэффициент аэродинамического сопротивления;

γ - плотность воздуха, кг/м³;

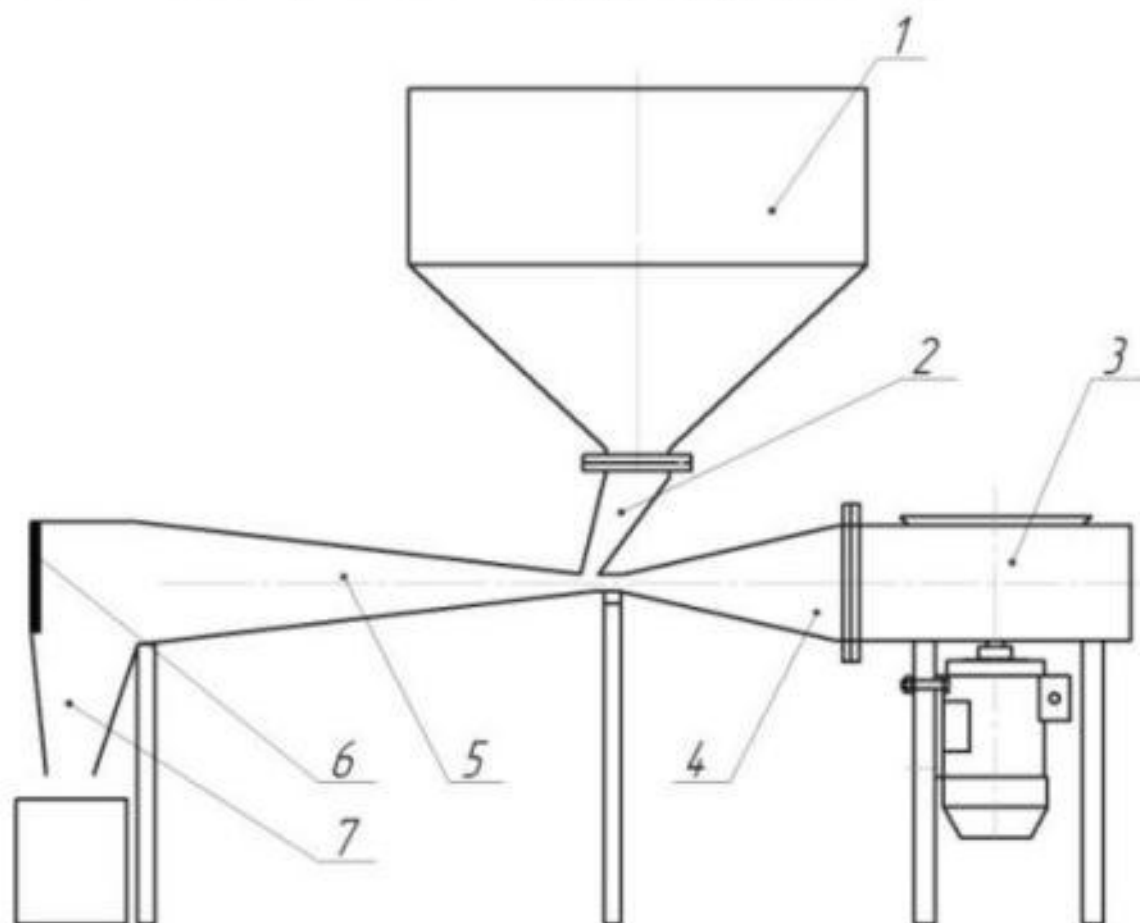
F - минимальное сечение, м²;

G - масса зерна, кг.

3.4 Методика исследования влияния технологических параметров семенорешетки на показатели технологической эффективности процесса

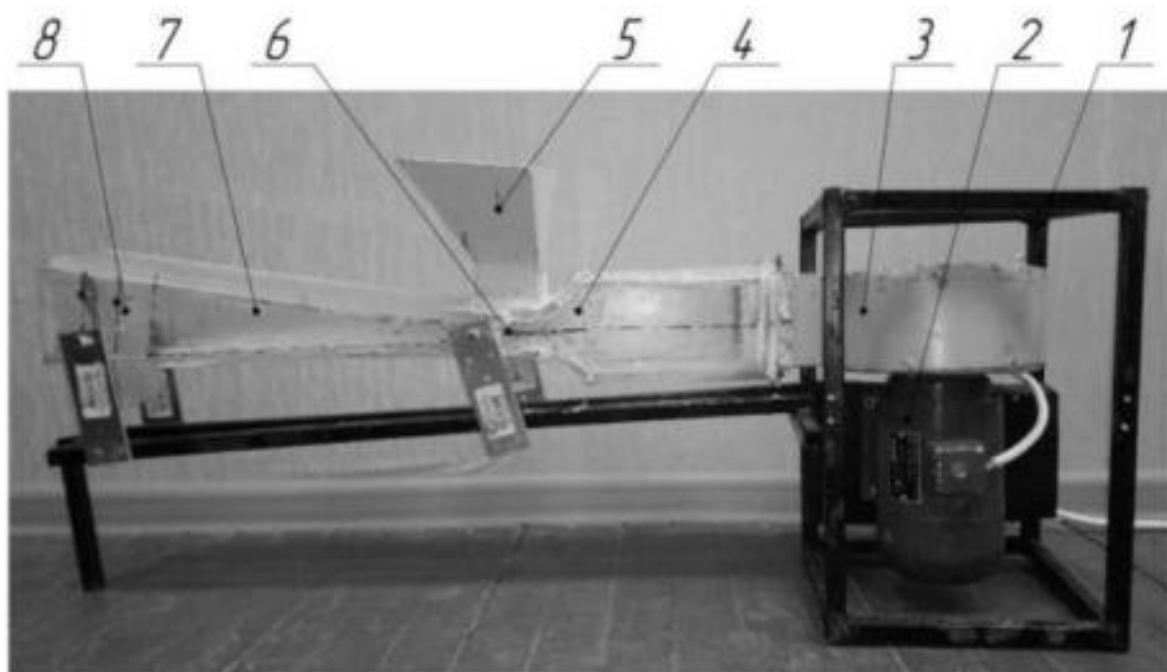
Значимым фактором, влияющим на качественные показатели аэродинамического обрушивания, является сила, действующая на семянку

при взаимодействии с рабочей поверхностью, а также материал её поверхности. Для проведения экспериментов по исследованию влияний вышеперечисленных факторов была собрана лабораторная установка, состоящая из питающего бункера с загрузочным патрубком, высоконапорного центробежного вентилятора, пневмотранспортной установки с эжекционной воронкой, выполненной из сужающего канала (конфузора), горловины и расширяющего канала (диффузора), а также рабочей пластины, расположенной в широком сечении диффузора (рисунок 3.5).



1 – бункер, 2 – патрубок, 3 – вентилятор, 4 – диффузор, 5 – конфузор, 6 – рабочая пластина, 7 – патрубок выгрузной

Рисунок 3.5 – Конструктивно-технологическая схема лабораторной установки



1 – станина, 2 – электродвигатель, 3 – вентилятор, 4 – конфузор, 5 – бункер для зернового материала, 6 – горловина, 7 – диффузор, 8 – рабочая пластина.

Рисунок 3.6 – Фото лабораторной установки

На данной установке имеется возможность изменения силы удара, действующая на семянку при взаимодействии с рабочей поверхностью (изменением частоты вращения ротора вентилятора), подачу семян (изменением пропускной способности бункера), расстояние между точкой подачи семян и рабочей пластиной (передвижением рабочей пластины), материала рабочей пластины (сменой пластины).

Целью экспериментов является определение рабочих скоростей взаимодействия, рационального расстояния между рабочими органами, а также материала рабочей пластины рабочей пластины, при которых будет наивысшая технологическая эффективность отделения плодовой оболочки семян подсолнечника при динамических усилиях.

Эксперименты были проведены на разработанной и собранной нами лабораторной установке при трех различных расстояниях между точкой подачи семян и рабочей пластиной.

Для проведения данных экспериментов нами были подготовлены партии семян определенной влажности – $W=5,0\%$. Масса каждой партии для одного опыта равнялась 140 грамм. Необходимую влажность семян достигали сушкой в сушильном шкафу. Механико-технологические свойства семян устанавливались по примеру, описанным в предыдущих разделах. Для различных опытов поддержание необходимой влажности выполнялось в эксикаторах, помещением в них семян с требуемой влажностью.

Порции зерна подавались в бункер установки, частота вращения вентилятора менялась с помощью частотного регулятора, а измерялась цифровым лазерным тахометром RPM. После прохода через машину продукт обрушивания собирался в мешочки, затем производилось разделение на цельное ядро, дробленку, лузгу, необрушенное зерно и пыль. Все порции взвешивались на лабораторных весах ВК-600.1. Показатели коэффициент обрушивания ($K_{обр}$) и коэффициент цельности ядра ($K_{ц.я}$) рассчитывались по формулам [9]:

$$K_{обр} = \frac{(H_1 - H_2)}{H_1}, \quad (3.6)$$

где $K_{обр}$ - коэффициент обрушивания,

H_1 – масса необрушенных семян, поступающих в машину, г;

H_2 – масса необрушенных семян, после однократного пропуска через семенорушку, г.

$$K_{ц.я} = \frac{Ц}{Ц + Д + П}, \quad (3.7)$$

где $K_{ц.я}$ – коэффициент цельности ядра;

Ц – масса целого ядра в рушанке после обрушивания, г;

Д – масса дробленых ядер в рушанке после обрушивания, г;

П – масса пыли в рушанке после обрушивания, г.

Для суммарной количественно-качественной оценки процесса обрушивания применяли формулу:

$$E = K_{ц.я} \cdot K_{ш}, \quad (3.8)$$

где E – эффективность процесса обрушивания.

3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментальных исследований

Экспериментальные данные лабораторных и лабораторно-производственных исследований обрабатывались известными методами математической статистики [8].

Определение погрешности измерений. Суммарная погрешность измерений вычисляется из выражения:

$$\frac{\Delta(P)}{P} = \pm \left[\frac{\Delta(m)}{m} + \frac{\Delta(H)}{H} + \frac{\Delta(F)}{F} \right], \quad (3.9)$$

где $(\Delta m)/m$ – суммарная погрешность, которая складывается из погрешностей тарировки и работы индикаторов (не более 2%);

$(\Delta H)/H$ – погрешность показаний тахометра (2,3...2,8 %);

$(\Delta F)/F$ – общая погрешность, которая складывается из погрешности тарировки упругих звеньев (0,3...0,7 %).

Суммарная погрешность измерений при определении усилий разрушения и деформации не превышает 5,0 %.

Определение повторности опытов. Повторность опытов, необходимая при проведении лабораторных и лабораторно-производственных опытов определялась по формуле [8]:

$$n = \left(\frac{V_1}{P_1} \right)^2, \quad (3.10)$$

где n – повторность опытов;

V_1 – коэффициент вариации аналогичных опытов, %;

P_1 – максимальное допустимое значение погрешности опыта, %.

На основании поисковых опытов, проведенных при определении разрушающих усилий ядрицы и оболочки семян подсолнечника, установлено, что коэффициенты вариации отдельных измерений составляют

4,3...6,7 %. Величину допустимой погрешности можно принять равным 5,0 % [8], тогда необходимое число повторности составит 3. Поэтому данные эксперименты проводились в трехкратной повторности. Лабораторные опыты по определению оптимальной скорости взаимодействия, а также лабораторно-производственные эксперименты проводились в трехкратной повторности, т.к. коэффициенты вариации предварительных опытов здесь составляют 3,7...4,6 % при общей погрешности не более 4 %. Тогда необходимое число повторности составит 1,6...3,4.

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 – v [8].

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

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}, \quad (3.11)$$

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.12)$$

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:

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%. \quad (3.13)$$

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:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.14)$$

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 - $\bar{x} = \pm S_{\bar{x}}$.

Пределы, в которых находится генеральная совокупность, определяются соотношением:

$$\bar{x} - tS_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{x} + tS_{\bar{x}}, \quad (3.15)$$

где μ - средняя генеральной совокупности;

t - критерий Стьюдента (выбирается по таблице).

Полученные значения экспериментальных данных отображаются в виде графиков построенных на ЭВМ в операционной среде «MS Windows XP» с помощью программы «Microsoft Excel 2007». Уравнения регрессии получены в этих же программах с помощью полиномиальной функции второй степени «добавить линию тренда (аппроксимация и сглаживание)».

В заключение отметим, что описанные общие и частные методики позволили всесторонне исследовать семенорушку пневмомеханического типа и решить вопрос о целесообразности дальнейших исследований и разработок данных машин.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты определения влажности семян подсолнечника

Одним из основных показателей, характеризующих физико-механические и технологические свойства семян, является влажность, оказывающая на любую технологическую операцию по его обработке или переработке. В том числе от влажности сильно зависят и результаты отделения плодовой оболочки с семян при взаимодействии с поверхностями рабочих органов пневмомеханической семенорушки.

Для дальнейшего определения коэффициентов эффективности обрушивания, нам необходимо удостовериться, что семена имеют влажность такую, при которой происходит обрушивание в семенорушках. Шелушение (обрушивание) проводят в случае, когда более 90 % зерна находится в стадии полного созревания (полной восковой спелости), и влажностью 5...6 %.

Для контрольного определения влажности выбираем семена подсолнечника. Подсушенное зерно предварительно размещаем в помещении с увлажненным воздухом для повышения его влажности.

Дальнейший порядок определения влажности зерна следующий.

Взвешиваем на весах 35 грамм зерна с точностью до 0,01 грамм. Далее исследуемый материал размалываем и помещаем в отдельную емкость с хорошо притертой крышкой. Из этой емкости отбираем порции весом ровно 5 грамм и помещаем в бюксы.

Предварительно нагреваем сушильный шкаф до температуры 140°C. После этого, помещаем бюксы в шкаф, причем крышки бюксов должны быть открыты. Зерно выдерживаем в сушильном шкафу в течение 40 минут при температуре $130 \pm 2^\circ\text{C}$. По истечении времени достаем бюксы из шкафа, закрываем крышками и охлаждаем в течение 15...20 минут.



Рисунок 4.1 – Определение влажности семян подсолнечника

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 5 грамм.

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 трижды. Влажность исследуемой пробы находят как среднее арифметическое значение из этих определений. Расхождение между двумя определениями допускается не более $\pm 0,5\%$.

Результаты определения влажности представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты исследований по определению влажности семян подсолнечника

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, %	Средняя влажность $w_{\text{ср}}, \%$
1	19,85	24,85	23,75	5,25	5,3
2	21,30	26,30	25,15	4,80	
3	19,90	24,90	23,65	5,40	
4	19,94	24,94	23,69	4,40	
5	19,98	24,98	23,69	5,20	
6	19,97	24,93	23,61	5,47	
7	20,18	25,10	24,02	5,36	

Из таблицы 4.1 видно, что средняя влажность исследуемых семян подсолнечника $w_{\text{ср}} = 5,3 \%$, что позволяет нам использовать материал для дальнейших исследований.

4.2 Результаты аэродинамических свойств семян подсолнечника

С целью подготовки семян подсолнечника для проведения следующих экспериментов и использование в полученных теоретических зависимостях по обоснованию технологических и конструктивных параметров пневмомеханической семенорушки, были определены качественные показатели семян и аэродинамические свойства.

Отбор образцов и выделение, навесок семян подсолнечника для экспериментов производились по ГОСТ 10852-86. Семена подсолнечника по базисным кондициям соответствовали существующим стандартам [9]. Для исследований, как было отмечено в третьей главе, применялись семена подсолнечника.

Определение аэродинамических свойств производили согласно изложенной методики. Результаты опытов и соответствующие требования стандартов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты определения показателей качества и аэродинамических свойств семян подсолнечника

№ п/п	качественные показатели	Требование по стандарту	стандарт	Данные опытов	Примечание
1	Сорная примесь, %	Не более 7	10854-88	6,7	соответствует
2	Масличная примесь, %	Не более 10	10854-88	8,9	соответствует
3	Влажность, %	6...17	10856-64	7,6	соответствует
4	Лузжистость, %	Не более 30	10855-64	25-27	соответствует
5	Зараженность вредителями	Не допускается	10853-88	Нет	соответствует
6	Скорость витания семян, м/с	-	-	7,5-8,3	-
7	Скорость витания ядрицы, м/с	-	-	7,9-8,6	-
8	Скорость витания лузги, м/с	-	-	0,9-2,4	-

Как видно из результатов опытов, данная партия семян подсолнечника по всем показателям качества соответствует требованиям базисных кондиций следовательно, она может быть применена для проведения последующих опытов.

Анализ полученных значений скоростей витания необрушенных семян подсолнечника и ядрицы показывает, что они мало отличаются друг от друга и находятся в пределах 7,5...8,6 м/с. Скорость витания лузги отличается от скорости витания целого семени и ядрицы более чем в 3,5...5 раз. Это свидетельствует о том, что существует возможность разделения обрушенного продукта воздушным потоком, создаваемым вентилятором-метателем.

4.3 Результаты исследований влияния расстояния от точки подачи до рабочей пластины и оборотов вентилятора на показатели технологической эффективности процесса

Целью исследований является определение рациональных значений расстояния между точкой подачи семян и рабочей пластиной, а также частоты вращения ротора вентилятора.

Опыты проводились на специально созданной лабораторной установке, по методике, описанной в пункте 3.3. Результаты опытов представлены в таблицах (приложение А).

Экспериментальные данные лабораторных исследований обрабатывались известными методами математической статистики на ЭВМ, используя программное обеспечение. Результаты обработки экспериментальных данных зависимости технологической эффективности от частоты вращения ротора при различных расстояниях до пластины приведены в таблицах 4.3...4.5.

Таблица 4.3 – Показатели технологической эффективности обрушивания семян подсолнечника при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 350 мм для различной частоты вращения ротора

	Частота вращения ротора вентилятора, мин ⁻¹							
Показатели	2250	2350	2450	2550	2650	2750	2850	2950
K _ш	0,51	0,68	0,73	0,74	0,74	0,82	0,82	0,85
K _{ц.я}	0,70	0,67	0,66	0,56	0,56	0,51	0,48	0,46
E _{обр}	0,36	0,33	0,48	0,41	0,41	0,42	0,39	0,39

Таблица 4.4 – Показатели технологической эффективности обрушивания семян подсолнечника при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 380 мм для различной частоты вращения ротора

	Частота вращения ротора вентилятора, мин ⁻¹							
Показатели	2250	2350	2450	2550	2650	2750	2850	2950
K _ш	0,57	0,62	0,62	0,75	0,80	0,80	0,84	0,87
K _{ц.я}	0,67	0,66	0,65	0,64	0,54	0,44	0,37	0,35
E _{обр}	0,38	0,41	0,40	0,48	0,43	0,35	0,31	0,30

Таблица 4.5 – Показатели технологической эффективности обрушивания семян подсолнечника при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 410 мм для различной частоты вращения ротора

	Частота вращения ротора вентилятора, мин ⁻¹							
Показатели	2250	2350	2450	2550	2650	2750	2850	2950
K _ш	0,51	0,60	0,65	0,71	0,79	0,79	0,85	0,86
K _{ц.я}	0,81	0,69	0,68	0,67	0,66	0,66	0,59	0,53
E _{обр}	0,41	0,41	0,45	0,48	0,52	0,52	0,50	0,46

Результаты проведенных экспериментов обрабатывались в программе Microsoft Office Excel 2007 с помощью которого полученные данные представлены в виде графиков, к которым были добавлены «линии тренда» и полиномиальные функции четвертой степени.

Результаты экспериментальных данных после обработки показаны в виде графиков на рисунках 4.8, 4.9, 4.10. Ниже приведены уравнения регрессии и величины достоверности аппроксимации для каждой функции графиков.

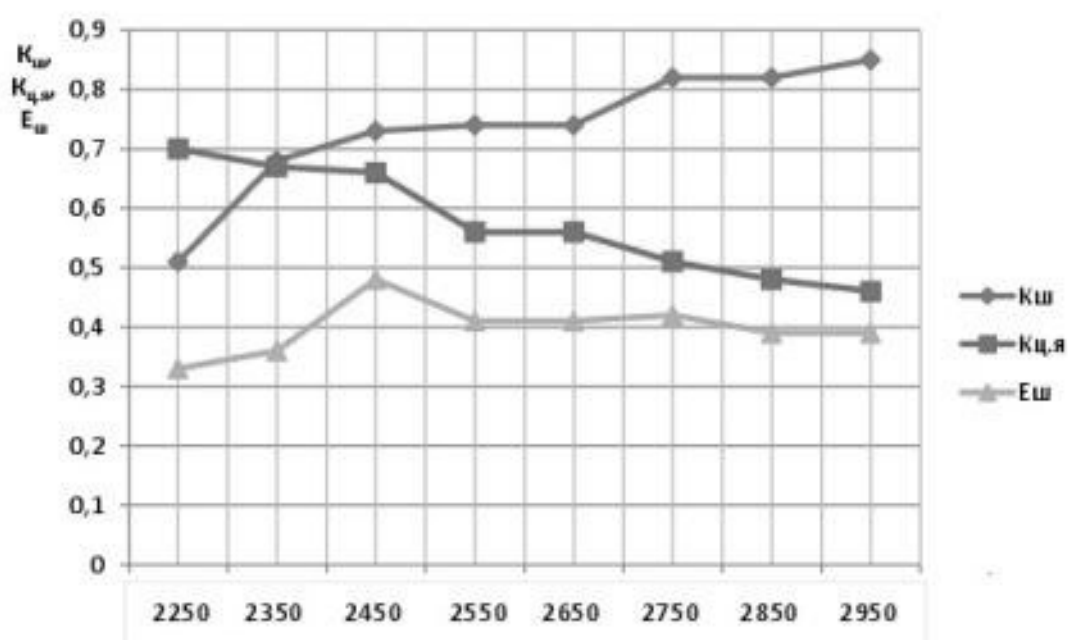


Рисунок 4.2 – Зависимости показателей технологической эффективности при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 350 мм от частоты вращения ротора

$$y(K_{ш}) = -0,0012x^4 + 0,025x^3 - 0,1768x^2 + 0,541x + 0,123, \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0,9839$$

$$y(K_{ц.я}) = -0,0002x^4 + 0,0052x^3 - 0,0367x^2 + 0,0578x + 0,6725, \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0,9714$$

$$y(E_{ш}) = -3E-05x^4 + 0,0023x^3 - 0,0326x^2 + 0,1556x + 0,1966, \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,9516$$

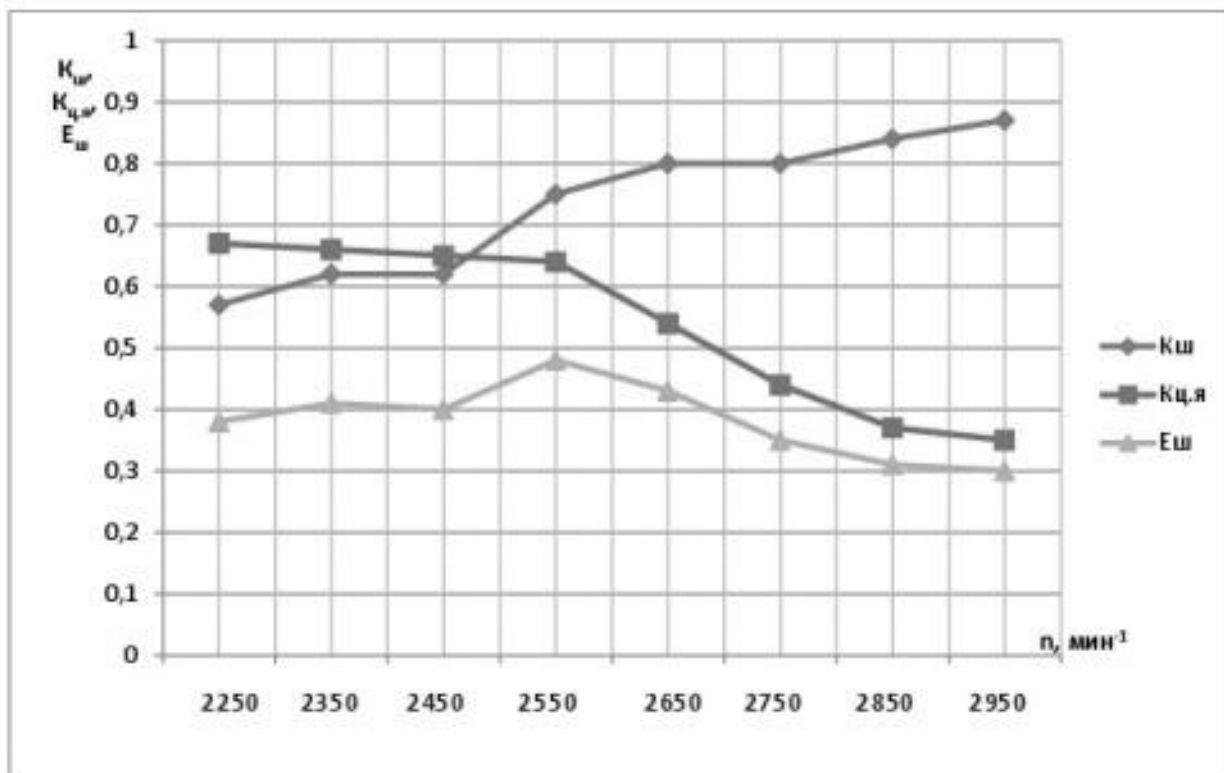


Рисунок 4.3 – Зависимости показателей технологической эффективности при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 380 мм от частоты вращения ротора

$$y = 0,0007x^4 - 0,0145x^3 + 0,0925x^2 - 0,1696x + 0,667, \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0,9659$$

$$y = 0,001x^4 - 0,0163x^3 + 0,0739x^2 - 0,1314x + 0,7418, \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0,9957$$

$$y = 0,0013x^4 - 0,0217x^3 + 0,1151x^2 - 0,2036x + 0,4925, \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,9544$$

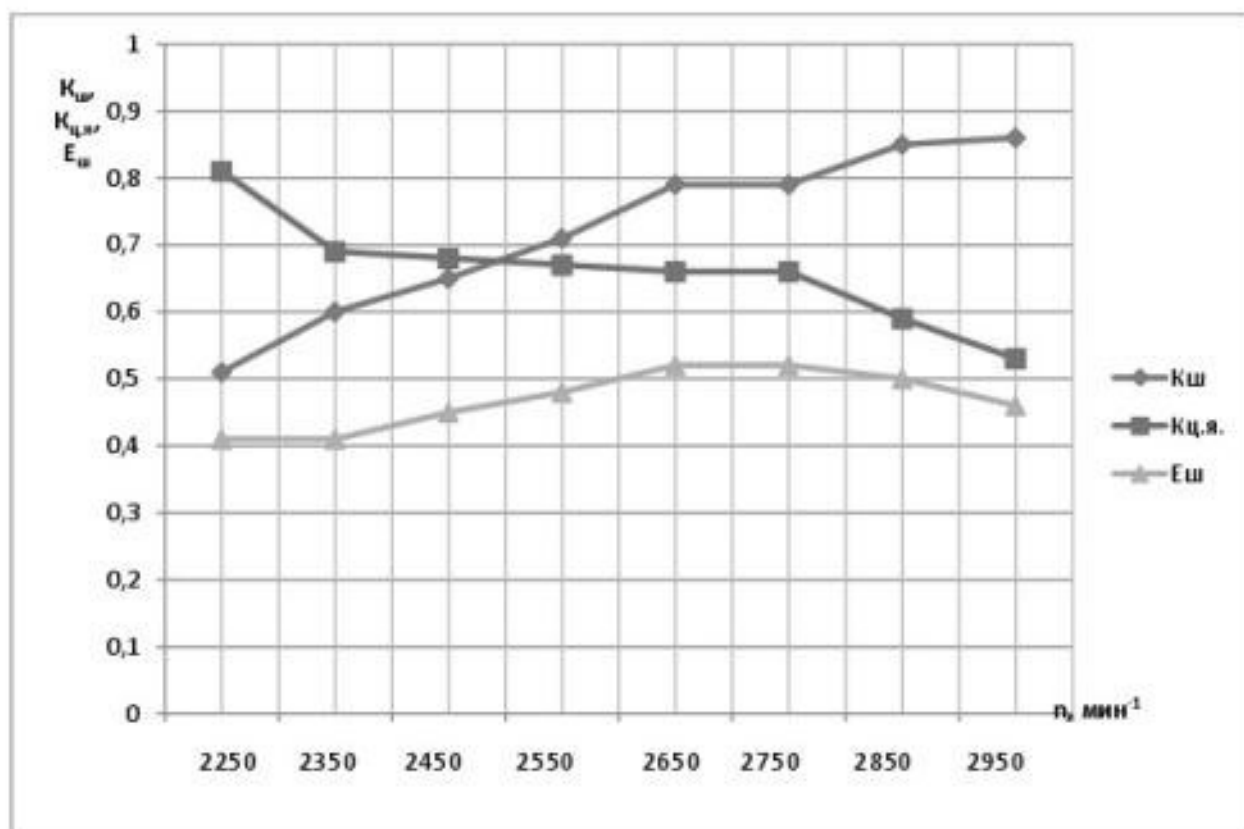


Рисунок 4.4 – Зависимости показателей технологической эффективности при расстоянии между точкой подачи и рабочей пластиной 410 мм от частоты вращения ротора

$$y(K_{\text{ш}}) = -8E-05x^4 + 0,0013x^3 - 0,0122x^2 + 0,1081x + 0,415; \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,9894$$

$$y(K_{\text{ц.я.}}) = 0,0007x^4 - 0,015x^3 + 0,115x^2 - 0,3603x + 1,068; \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,9888$$

$$y(E_{\text{ш}}) = 0,0003x^4 - 0,0078x^3 + 0,0548x^2 - 0,1138x + 0,4762; \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,9936$$

Анализируя построенные графики, видно, что коэффициент обрушивания увеличивается с повышением частоты вращения ротора по одинаковой закономерности при различных расстояниях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василюнец И.М., Кузнецов А.Т. Аналитическое определение некоторых параметров работы центробежных рушек. // Труды ВНИИЖ. 1970. Вып. 27. С.50-55.
2. Кошевой Е. П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств. — СПб: ГИОРД, 2007. - 232 с
3. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. – М.: Пищепромиздат, 1959. -190 с.
4. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханическое шелушители зерна крупяных культур (теория, конструкция, расчет). – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 308 с.
5. Халиуллин, Д.Т. Шелушение семян подсолнечника // Журн. Сельский механизатор. – 2009. №8 С. 10.
6. Байкин С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьев: Под ред. А.А. Курочкина. – М.: КолосС, 2007. – 445 с.
7. Жислин Я.М. Исследование процесса аэродинамического шелушения зерна и создание аэродинамической шелушильной машины. – Труды ВНИЭКИпродмаш, 1970. Вып. 21.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с
9. Халиуллин Д.Т. Разработка конструкции и обоснование параметров обрушивателя семян подсолнечника пневмомеханического типа: дис. ... канд. техн. наук, - Казань, 2011. – 194 с.
10. Халиуллина Л.Х., Халиуллин Д.Т. Функциональная схема семенорушки пневмомеханического типа. Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Труды международной научно-практической конференции. – Научное издание – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – 248 с. С. 136-139.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василинец И.М., Кузнецов А.Т. Аналитическое определение некоторых параметров работы центробежных рушек. // Труды ВНИИЖ. 1970. Вып. 27. С.50-55.
2. Кошевой Е. П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств. — СПб: ГИОРД, 2007. - 232 с
3. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. – М.: Пищепромиздат, 1959. -190 с.
4. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханическое шелушители зерна крупяных культур (теория, конструкция, расчет). – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 308 с.
5. Халиуллин, Д.Т. Шелушение семян подсолнечника // Журн. Сельский механизатор. – 2009. №8 С. 10.
6. Байкин С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьев: Под ред. А.А. Курочкина. – М.: КолосС, 2007. – 445 с.
7. Жислин Я.М. Исследование процесса аэродинамического шелушения зерна и создание аэродинамической шелушильной машины. – Труды ВНИЭКИпродмаш, 1970. Вып. 21.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с
9. Халиуллин Д.Т. Разработка конструкции и обоснование параметров обрушивателя семян подсолнечника пневмомеханического типа: дис. ... канд. техн. наук, - Казань, 2011. – 194 с.
10. Халиуллина Л.Х., Халиуллин Д.Т. Функциональная схема семенорушки пневмомеханического типа. Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Труды международной научно-практической конференции. – Научное издание – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – 248 с. С. 136-139.

11. Халиуллина Л.Х. Анализ конструкций машин для обрушивания. Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 января 2015 г.: в 16 частях. Часть 7. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. 164 с. С 150-153.
12. Пат. 2312706 РФ, МПК С2 В 02 В 3/00. Устройство для шелушения зерна крупяных культур. / Э.Г. Нуруллин, Д.Т. Халиуллин, А.В. Дмитриев. – №2005129858/13; Заявлено 26.09.2005; Оpubл. 20.12.2007, Бюл. №35. – 7 с.
13. Пат. 91892 РФ, МПК U1 В 02 В 3/00. Устройство для шелушения зерна. / И.В. Маланичев, Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин. – №2009101642/22; Заявлено 19.01.2009; Оpubл. 10.03.2010 Бюл. № 7. – 2с.
14. Пат. 88990 РФ, МПК U1 В 02 В 3/00. Устройство для снятия плодовой оболочки с зерна / Д.Т. Халиуллин, Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев. – №2009123888/22; Заявлено 22.06.2009; Оpubл. 27.11.2009, Бюл. №33 – 2с.
15. Патент на изобретение. 2133150 РФ, МПК С1 В 02 В 3/08. Шелушительная машина / Акимов М.З., Момотюк С.Н., Жикленков В.К. – Заявлено 19.05.1998; Оpubл. 20.07.1999, Бюл. №1 – 5с.
16. Патент на изобретение. 2060825 РФ, МПК С1 В 02 В 3/08. машина для шелушения зерна/ Савицкий А.К., Фомин О.В. – Заявлено 26.04.1994; Оpubл. 27.05.1996, Бюл. №33 – 7с.
17. Патент на изобретение. 2138331 РФ, МПК С1 В 02 В 3/08. Устройство для разрушения плодовой оболочки масличных семян / Фют А.К., Быкова С.Ф., Нестеренко С.В., Ключкин В.В. – Заявлено 25.06.1996; Оpubл. 27.09.1999, Бюл. №14 – 6с.
18. Патент на изобретение. 2162880 РФ, МПК С11 В 1/04. Устройство для обрушивания подсолнечных семян / Кошевой Е.П., Тарасов В.Е., Иванов А.В. – Заявлено 26.04.1999; Оpubл. 10.02.2001, Бюл. №18 – 5с.

19. Патент на изобретение. 2378052 РФ, МПК С1 В 02 В 3/06. Устройство для обрушивания семян / Корчагин В.И., Захаров Е.Б. – №2008118959/13; Заявлено 13.05.2008; Оpubл. 10.01.2010, Бюл.№1 – 5с.
20. Пат. 2162880, Российская Федерация, МПК7 С11В 1/04 / Устройство для обрушивания подсолнечных семян / Кошевой Е.П., Тарасов В.Е., Иванов А.В. Заявл. 26.04.1999, опубл. 10.02.2001.
21. Пат. 2378052, Российская Федерация, МПК7 В02В 3/06 С11 В1/0 / Устройство для обрушивания семян / Корчагин В.И., Захаров Е.Б. Заявитель: заявл.13.05.2008, опубл. 10.01.2010.
22. Патент на изобретение. 2527286 РФ, МПК С11 В 1/04. Устройство для однократного разрушения семян масличных культур / Руднев С.Д., Грачев А.В., Лушникова Н.В. – №2013128182/13; Заявлено 18.06.2013; Оpubл. 27.08.2014 Бюл. № 24 – 5с.
23. Патент на изобретение. 2195367 РФ, МПК С1 В 02 В 3/08. Устройство для обрушивания семян / Овчинников Я.Л., Колмаков С.В. – Заявлено 20.02.2001; Оpubл. 27.12.2002 Бюл. № 09 – 5с.
24. Патент на изобретение. 2511754 РФ, МПК С1 В 02 В 3/08. Машина для шелушения зерна / Самойлов В.А., Ярум А.И., Невзоров В.Н. – №2012146811/13; Заявлено 01.11.2012; Оpubл. 10.04.2014 Бюл. № 10 – 5с.
25. Патент на изобретение № 2625448 РФ, МПК В02В 3/00. 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: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ. -№2016112274, заявл.: 31.03.2016, опубл.: 14.07.2017, Бюл. №20. -7с.
26. Патент на полезную модель № 167516 РФ, МПК В02В 3/00. Устройство для снятия плодовых оболочек с зерна / Д.Т. Халиуллин, А.В. Дмитриев, Э.Г. Нуруллин, Л.Х. Халиуллина, Р.М. Нуреев;