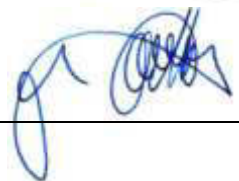


ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра машин и оборудования в агробизнесе
Направление подготовки – 35.04.06 Агроинженерия
Магистерская программа – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

ТЕМА: Исследование процесса разделения продуктов
шелушения гречихи в горизонтальном пневматическом
сепараторе и разработка его конструкции

Студент магистратуры  /Миннегалиев И.И./

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

Рецензент,
к.т.н., доцент  /Семушкин Н.И./

Работа обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
(протокол № 12 от 17 июня 2020 г.)

Зав. кафедрой к.т.н., доцент
ученое звание


подпись

Халиуллин Д.Т.
Ф.И.О.

Казань 2020

АННОТАЦИЯ

На магистерскую работу Миннегалиева И.И. по теме: «Исследование процесса разделения продуктов шелушения гречихи в пневматическом сепараторе и разработка его конструкции».

Данная работа состоит из пояснительной записки на листах печатанного текста, содержит 22 рисунка, 8 таблиц, список использованной литературы содержит 69 наименований.

Текстовые документы работы содержат введение, 4 раздела, выводы и список использованной литературы.

В первом разделе проводится анализ общей характеристики зерна гречихи, классификация способов разделения зерна и технологии переработки зерна в крупу, анализ конструкций горизонтальных пневматических сепараторов, анализ теоретических исследований разделения продуктов шелушения в горизонтальных пневматических сепараторах и поставлены задачи исследования.

Во втором разделе разработана конструкция горизонтального пневматического сепаратора. Приведены требования к воздушному сепаратору. Описан принцип работы горизонтального воздушного сепаратора, выполнены конструктивные и технологические расчеты.

В третьей главе разработана программа и методика экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

Пояснительная записка завершается выводами и списком использованной литературы.

ABSTRACT

For the master's work, Minnegaliyev I.I. on the topic: “Study of the process of separation of buckwheat peeling products in a pneumatic separator and the development of its design”.

This work consists of an explanatory note on the sheets of printed text, contains 22 figures, 8 tables, the list of used literature contains 69 titles.

Text documents of the work contain an introduction, 4 sections, conclusions and a list of used literature.

The first section analyzes the general characteristics of buckwheat grain, classifies the methods for separating grain and the technology of processing grain into groats, analyzes the designs of horizontal pneumatic separators, analyzes theoretical studies of the separation of peeling products in horizontal pneumatic separators and sets research objectives.

In the second section, the design of a horizontal pneumatic separator is developed. The requirements for the air separator are given. The principle of operation of a horizontal air separator is described, and structural and technological calculations are performed.

In the third chapter, a program and methodology for experimental research is developed.

The fourth chapter presents the results of experimental studies.

The explanatory note ends with conclusions and a list of used literature.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
1.1. Общая характеристика гречихи.....	7
1.2. Классификация способов разделения зерна и технологии переработки зерна в крупу.....	13
1.3. Анализ конструкций горизонтальных пневматических сепараторов...	23
1.4. Анализ теоретических исследований разделения продуктов шелушения в горизонтальных пневматических сепараторах.....	36
1.5. Задачи исследований.....	43
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА	45
2.1. Разработка схемы и конструкции.....	45
2.2. Технологические расчеты	48
2.3. Конструктивные расчет.....	55
2.3.1 Расчеты конструктивных параметров пневматического сепаратора.....	55
2.3.2 Расчет вентилятора.....	58
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	59
3.1. Общий план исследований.....	59
3.2. Методика определения коэффициентов целостности и шелушения зерна гречихи.....	61
3.3. Методика определения эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе	64
3.4. Методика обработки результатов экспериментов	65
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	68
4.1. Результаты определения коэффициента шелушения и коэффициента целостности	68
4.2. Определение эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном сепараторе.....	72
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	77
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Одна из важнейших технологических операций в процессах приёмки, хранения и переработки зерна – это сепарирование, т. е. разделение сыпучих материалов на фракции, отличающиеся свойствами частиц. Степень очистки основной культуры и точность, классификации посевного материала во многом влияют на урожай, а так же на стабильность качества зерна при хранении. Очистка зерна перед измельчением на мукомольных заводах и перед шелушением на крупяных заводах предопределяет качество готовой продукции. И, наконец, чёткость сепарирования на промежуточных стадиях измельчения и шелушения не только влияет на качество продукции и степень использования сырья, но и определяет нагрузку и эффективность работы остальных технологических машин, а следовательно производительность и технико-экономические показатели предприятий в целом. Достаточно отметить, что недосев мелких фракций в крупках, поступающих на ситовые машины не позволяет установить оптимальный воздушный режим; недосев муки в крупках, поступающих на размол, приводит к перегрузке вальцового станка и снижает качество муки; неполное извлечение ядра из продуктов шелушения крупяных культур вызывает увеличение количества дроблёнки и перегрузку шелушительных машин.

Одним из основных направлений технического прогресса во всех без исключения отраслях промышленности является совершенствование технологических процессов путем повышения их эффективности.

Гречиха одна из наиболее важных сельскохозяйственных культур, являющаяся незаменимым продуктом питания. Гречневая крупа имеет высокие вкусовые качества, питательна, хорошо усваивается. Гречневую крупу относят к числу лучших диетических продуктов. Кроме того, гречиха является хорошим медоносом, а высокая усвояющая способность ее корневой системы способствует повышению плодородия почвы.

По данным Росстата в России посевные площади гречихи составляют 1,2 млн. га. Валовый сбор гречихи в Российской Федерации 8 млн тонн. [5] Разделение полученных после шелушения продуктов основано на различии их физических свойств. Мучку и дробленое ядро, отличающееся от остальных продуктов меньшими размерами, выделяют просеиванием на ситах с отверстиями определенных размеров.

Мучку выделяют проходом штампованных или металлотканых сит. Размер отверстий или номер сита установлены в зависимости от культуры. Так, при переработке риса мучку получают проходом через сита с отверстиями 1,5 мм, гороха - 1 мм; для ячменя, пшеницы, гречихи контрольные сита - соответственно будут № 056, 063 и 080 и т. д. Дробленое ядро получают сходом с сит, на которых отбирают мучку, и проходом через сита, размер отверстий которых или номер установлены стандартом (для гречихи сито с отверстиями размером 1,6 x 20 мм; для проса - 1,4 мм). Лузга отличается от зерна и ядра иными аэродинамическими свойствами и может быть выделена в аспираторах.

Таким образом, применяя последовательно просеивающие машины и аспираторы, можно выделить мучку, дробленое ядро и лузгу. Разделение смеси шелушённых и нашелушённых зерен представляется более сложной и оригинальной операцией, так как по физическим свойствам эти компоненты существенных различий не имеют. Для разделения смеси шелушённых и нашелушённых зерен применяют различные способы и машины.

Процесс разделения смеси шелушённых и нашелушённых зерен, называемый также крупотделением, необходим при переработке тех крупяных культур, зерно которых имеет пленки, не сросшиеся с ядром. Только у зерна этих культур в результате шелушения могут быть получены два различающихся по свойствам продукта — шелушённое зерно (ядро) и нашелушённое зерно.

Если у зерна пленки плотно срослись с ядром, то в результате шелушения наряду с полностью шелушёнными и полностью нашелушёнными зернами будут находиться в смеси зерна частично шелушение. Степень шелушения таких зерен также различна. Поэтому невозможно разделить зерно на две фракции.

Имеющееся оборудование для сепарирования и продуктов переработки гречихи по своим эксплуатационным качествам - производительности, эффективности и надёжности - не отвечает возрастающим требованиям промышленности. Создание новой, более совершенной техники и усовершенствование технологических приёмов её эксплуатации при хранении и переработке зерна встречает ряд трудностей, обусловленных многими причинами, важнейшие из которых следующие: многообразие сепарируемых материалов и способов сепарирования; сложность и разнообразие механических явлений взаимодействия частиц сепарируемых материалов друг с другом и с рабочим органом машины; недостаточное развитие теоретических основ сепарирования и инженерных методов расчёта параметров процесса и машины.

Овладение научными представлениями о сущности различных процессов сепарирования необходимо не только для создания новых машин, но и для определения оптимальных условий эксплуатации имеющихся машин, сокращения сроков внедрения новой техники, усовершенствование технологических процессов хранения и переработки зерна в целом.

В последние годы для промышленности хранения и переработки зерна созданы новые сепарирующие машины: ворохоочистители, зерноочистительные сепараторы, пневматические сепараторы, мельничные и крупяные рассевы, ситовечные машины, камнеотделительные машины и другие. Некоторые из них по принципу действия и устройству отличаются от машин, применяющихся до этого на предприятиях.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1.Общая характеристика гречихи

В России гречневая крупа и относится к национальным продуктам. На территории нашей страны ее выращивает более двух тысячелетий. В начале XX века в России гречка занимала 2% всей пашни (более 2 млн. га), при чем сбор составлял 73,2 млн. пудов (1,2 млн. тонн зерна). За последние годы посевная площадь под гречихой резко сократилась. Род гречихи (*Fagopyrum Gaertn.*) принадлежит к семейству гречишных (*Polygonaceae*). Гречиха имеет 4 вида. В практике сельского хозяйства наиболее известны два вида. Это гречиха культурная (*F. esculentum*) и гречиха татарская (*F.tataricum*). У гречихи плод - орешек трехгранной формы с острыми или тупыми гранями. Гречиха татарская расценивается как злостный засоритель культурной гречихи. Крупа в пищевом рационе человека составляет от 8 до 13% общего потребления зерновых. На крупяных заводах перерабатывают различные виды крупяных культур. Крупяными культурами называют гречиху, рис, просо, так как основная масса зерна этих культур используется для производства крупы. Крупы бывают целые или измельченные, относятся к числу важных продовольственных продуктов и обладают высокой пищевой ценностью. Химический состав крупы гречихи зависит от технологии производства. Крупы имеют более высокую пищевую ценность, по сравнению с зерном, так как при их производстве зерно освобождают от менее ценных частей. При производстве крупы удаляются его менее ценные части и придаются крупам определенные свойства, при этом зерно очищается от примесей, подвергается гидротермической обработке (гречиха, горох, овес, кукуруза), что облегчает шелушение зерна, увеличивает выход круп и сокращает срок их варки. При шелушении (обрушивании) удаляются цветочные пленки, частично плодовые и семенные оболочки.

Различные форма и размеры зерна разных культур, наличие специфических примесей в нем приводят к определенным особенностям

применения зерноочистительных устройств. В каждой крупяной культуре имеются какие-то трудноотделимые примеси, которые представляют собой чаще семена сорных и культурных растений. В гречихе трудноотделимыми примесями являются пшеница, овес, ячмень, дикая редька и татарская гречиха - карлык.

Питательные вещества в крупе представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Химический состав основных видов крупы

Крупа	Содержание, г на 100 г						
	вода	белок	жир	углеводы	витамины, мг		
					В1	В2	РР
Гречневая	14,0	12,6	2,6	68,0	0,53	0,20	4,19
Рисовая	14,0	7,0	0,6	77,3	0,08	0,04	1,60
Пшено	14,0	12,0	2,9	69,3	0,62	0,04	1,55
Овсяная	12,0	11,9	5,8	65,4	0,49	0,11	1,10
Перловая	14,0	9,3	1,1	73,7	0,12	0,06	2,00
Ячневая	14,0	10,4	1,3	71,7	0,27	0,08	2,74
Пшеничная «Полтавская»	14,0	12,7	1,1	70,6	0,30	0,10	1,40

Высокое содержание белка имеется в гречневой, пшеничной, овсяной и пшеничной крупе. Качество белка, которое определяется соотношением в нем незаменимых аминокислот, более высоко в гречневой и овсяной крупах. Поэтому их можно отнести к числу наиболее ценных в питательном отношении. Гречневая крупа подразделяется на ядрицу и продел, обычную и быстро разваривающуюся.

Качество крупы определяет доброкачественное ядро. Чем больше доброкачественного ядра, тем выше сорт. Содержание примесей ограничивается в крупе каждого сорта.

Таблица 1.2 - Показатели качества гречневой крупы

Показатели	Содержание, %		
	1-й сорт	2-й сорт	3-й сорт
Ядро:			
доброкачественное	99,2	98,4	97,5
битое	3,0	4,0	5,0
Сорная примесь:	0,4	0,5	0,6
в том числе минеральная	0,05	0,05	0,05
Испорченные ядра	0,2	0,4	1,2
Нешелушенные зерна	0,3	0,4	0,7
Металломагнитные примеси, мг/кг	3	3	3
Влажность	14	14	14

Зерна гречихи имеют плод - трехгранной формы орешек с острыми или тупыми гранями. Ядро гречихи, освобожденное от плодовой оболочки, представляет собой ядрицу. Во время шелушения гречихи получается дробленое ядро, представляющее собой продел. Пищевые продукты, полученные при переработке крупяных культур, отличаются повышенным содержанием белка и жира, высокими вкусовыми качествами, питательностью, хорошей перевариваемостью.

Гречиху перерабатывают в крупу ядрицу и продел. Ядрица – это ядро гречихи, освобожденное от плодовых оболочек, сохранившее семенные оболочки и зародыш. Следовательно, в технологическом процессе удаление наружных плодовых оболочек при шелушении является единственной

операцией по обработке поверхности зерна. Цвет непропаренной крупы - серый с зеленоватым оттенком, пропаренной - коричневый разных оттенков.

Крупа продел - это дробленые ядра гречихи. По крупности ядрица не проходит через сито второго типа 1,6 х 20, а продел получают проходом сита 1,6 х 20 и сходом сита 085. В технологии возможно деление продела на крупный - $\frac{1,6 \times 20}{1,4}$ и мелкий - $\frac{1,4}{0,85}$.

Зерно гречихи, как правило, имеет трехгранную форму и сверху покрыто грубой темно окрашенной оболочкой, три лепестка которой свободно охватывают ядро и соединены с ним в одной точке. Ядро гречихи - хрупкое и имеет специфическое расположение зародыша. Меньшая его часть расположена непосредственно под алейроновым слоем на поверхности ядра, а большая - в центре ядра в виде пластины S-образной формы.

Такое расположение зародыша предопределяет количество и последовательность технологических операций в рушальном отделении гречезавода. Дело в том, что любые попытки отделить зародыш от ядра приводят к интенсивному дроблению последнего. Таким образом, вместо недробленой крупы - ядрицы основным продуктом технологии может быть крупа дробленая. Поэтому в технологии крупы из гречихи единственной операцией по разделению анатомических частей является шелушение, в результате которого удаляют наружные оболочки гречихи - плодовые. При расчете выхода продукции базисной по качеству считается гречиха с содержанием чистого ядра 75 % к массе зерна и примесей, а лузги - 22 %. При переработке такого зерна, по качеству отвечающему требованиям ГОСТ 19093-73 «Гречиха для переработки в крупу», базисные нормы выхода должны соответствовать данным, приведённым в таблице 1.3.

Сортность гречневой крупы оценивают рядом показателей, основным из которых является содержание доброкачественного ядра. Так, для первого сорта оно должно быть не менее 99,2 %, для второго - 98,4 %, для третьего -

97,5 %, для продела - 98,3 %. В доброкачественном ядре также ограничивают содержание колотых (дробленых) ядер гречихи, которое для первого, второго и третьего сортов, соответственно, должно быть не более 3,0; 4,0; 5,0%.

Таблица 1.3. Базисные нормы выхода крупы, побочных продуктов и отходов при переработке гречихи

Наименование продуктов	Выход	
Крупа ядрица	56,0	62,0
Крупа продел	10,0	5,0
Мучка кормовая	6,0	3,5
Отходы 1 и II категорий	7,0	6,5
Лузга	19,3	20,8
Отходы III категории и механические потери	0,7	0,7
Усушка	1,0	1,5
Всего	100,0	100,0

В каждом сорте крупы ограничивается содержание нашелушённых зерен (не более 0,4; 0,5; 0,7 %), сорной примеси (не более 0,4; 0,5; 0,6 %), а также испорченных ядер (не более 0,2; 0,4; 1,2 %). Цифры в скобках приведены, соответственно, для ядрицы первого, второго и третьего сортов.

Зерно гречихи отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот. Под одной из важнейших аминокислот-лизину-зерно гречихи превосходит зерно проса, пшеницы, ржи, риса и приближается к соевым бобам. По содержанию треонина зерно гречихи превосходит зерно проса, пшеницы и ржи, а по содержанию валина уступает лишь рису.

Аминокислотный состав белков зерна гречихи представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Аминокислотный состав белков зерна гречихи

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Лизин	3,79-8,0	6,31	Аланин	3,3 7-6,50	5,26
Гистидин	1,74-3,50	2,58	Цистин	2,0-2,7	2,23
Аргинин	9,15-28,4	12,17	Валин	3,3 7-6,25	4,77
Асиарогиновая кислота	6,0-11,80	8,67	Метионин	0,63-2,60	1,49
			Изолейцин	3,54-6,70	4,67
Треонин	2,10-3,85	3,21	Лейцин	3,35-7,93	6,26
Серин	2,0-6,67	4,22	Тирозин	1,76-3,48	2,66
Глютаминовая кислота	7,0-20,97	14,42	Фенилаланин	3,4-4,96	4,13
Пролин	2,89-4,54	3,70	Триптофан	1,42-2,70	2,16
Глицин	4,65-8,76	6,74	Сумма незаменимых аминокислот	32,1-41,2	34,8

Белковые вещества гречихи не способны формировать клейковину и в смеси с белками злаков не принимают участия в ее образовании. Мука из гречихи поэтому резко отличается по своим технологическим свойствам от муки пшеницы и используется для производства изделий, не требующих высокой газодерживающей способности.

Общее количества жира в зерне гречихи составляет 1,8...3,9 %, при этом по частям гречихи жир распределяется следующим образом (%): плодо-

вая оболочка 0,5... 1,3; ядро 2,2...3,0; семенная оболочка 1,6...2,4; эндосперм 0,5...0,7; зародыш 10...22.

Существенные различия в относительном содержании свободных, связанных и прочносвязанных липидов объясняются их различной ролью в процессах жизнедеятельности. Свободные липиды - это в основном запасные липиды, связанные - структурные. Поэтому количественная характеристика липидов зерновых культур без учета связанных форм является совершенно недостаточной.

Свободные липиды представляют только часть общего количества липидов, хотя и значительную (73 %). Второй по значению группой являются связанные липиды (21,5 %). Относительное содержание прочносвязанных липидов (5,5 %) в гречихи значительно меньше, чем двух других групп. Следует отметить, что в гречихи, по сравнению с другими культурами, в наибольшем количестве содержатся связанные липиды.

1.2. Классификация способов и технологий разделения зерна и продуктов шелушения

Определение закономерностей движения зерна в пневмосепараторе возможно только на основании исследования процесса взаимодействия сепарирующих продуктов с воздушным потоком. Поведение зерна в воздушном потоке зависит от множества факторов, таких как скорость воздушного потока, конструкция сепаратора, форма, размеры разделяемого продукта и т.д.

Цели и способы сепарирования продуктов на зерноперерабатываемых предприятиях весьма разнообразны. Основные цели следующие:

- ✓ Очистка зерновых смесей от примесей, ухудшающих условия хранения, транспортирования и переработки зерна или снижающих качество готовой продукции;

- ✓ Сортирование зерна на фракции различного качества для переработки в продукты разного назначения; сортирование зерна на фракции для отдельной переработки в продукты одинакового назначения (калибрование гречихи и некоторых для отдельного шелушения);
- ✓ Извлечение готовых продуктов в процессе переработки
- ✓ Сепарирование промежуточных продуктов переработки для и отдельной обработки на последующих операциях.

Признаки, которыми должны отличаться частицы фракций, далеко не всегда совпадают с признаками, по которым можно механически разделить сыпучую смесь. Например по химическому составу или биологической природе частиц смесь можно разделить при помощи механических воздействий только в тех случаях, если этим признакам сопутствуют различные физико- механические свойства: размеры, форма, плотность, коэффициенты трения, магнитная восприимчивость и т.д.

Таким образом, успех сепарирования зависит прежде всего от степени соответствия желаемых признаков разделения, обусловленных потребностями производства, возможным признакам разделения, определяющим разное движение частицы в процессе сепарирования смеси.

Связь между этими группами признаков устанавливают после массовых опытов, в результате которых составляют корреляционные таблицы и графики, а надежность и силу связи выражают коэффициентами корреляции. Для механических способов сепарирования сыпучих материалов используют следующие признаки частиц:

- ✓ длину — максимальный размер частицы;
 - ✓ ширину — максимальный размер наибольшего по площади сечения, перпендикулярного линии длины;
 - ✓ толщину — минимальный размер того же сечения;
- форму, оцениваемую коэффициентом формы в виде отношения длины к

толщине;

- ✓ плотность — отношение массы частицы к ее объему;

упругость, оцениваемую коэффициентом восстановления нормальной скорости, т. е. отношением проекции скорости частицы после удара о неподвижную поверхность к такой же проекции скорости до удара;

- ✓ трение о поверхность, оцениваемое коэффициентом сухого трения, т. е. отношением тангенциальной реакции связи к нормальной реакции при относительном движении;

- ✓ магнитную восприимчивость, оцениваемую силой, с которой массу в 1 г действует магнитное поле с единичной магнитной индукцией и напряженностью.

Для использования различия по этим признакам частиц смеси при ее сепарировании на две и более фракций применяют разные способы механического воздействия:

Механические воздействия в процессе сепарирования выполняют три функции: во-первых, они заставляют частицы с различными свойствами перемещаться в разные места рабочего пространства; во-вторых, они обеспечивают непрерывное поступление смеси в рабочее пространство; в-третьих, отдельно удаляют из рабочего пространства полученные фракции. Характер механических воздействий на частицы при выполнении этих функций может быть одинаковым или различным. Например, при сепарировании в вертикальных пневматических каналах смесь в рабочее пространство поступает обычно гравитационным истечением из питателя или при помощи вибродотка; смесь разделяется на легкие и тяжелые частицы под совместным воздействием аэродинамических сил и сил тяжести, так же происходит и отдельное удаление легкой и тяжелой фракций из рабочего пространства.

При ситовечном процессе различное направление движения частиц компонентов смеси в рабочем пространстве машины обусловлено

совместным действием сил тяжести, аэродинамических сил и вибраций.

В рабочее пространство смесь поступает по вибрирующему лотку, из рабочего пространства частицы компонентов выводятся различно: легкие уносит восходящий воздушный поток, крупные частицы с большой плотностью сходят с сита под воздействием вибраций, а меньшие по размерам, но большей плотности просеиваются через сито.

Наиболее четкого сепарирования можно достигнуть, если способ механического воздействия в производственном процессе совпадает с лабораторным способом определения того признака, по которому производят сепарирование. Например, плотность частиц определяют обычно погружением их на тонкой нити в жидкость известной плотности и измеряют натяжение нити до и после погружения.

Частицы разной плотности можно разделить гидростатическим способом, погрузив их в жидкость, плотность которой больше плотности частицы одного компонента (легкого), но меньше плотности частицы другого компонента (тяжелого). Более плотные частицы утонут, а менее плотные останутся на поверхности.

Другим примером может служить разделение по размерам, например по ширине, которую измеряют обычно штангенциркулем, микрометром или инструментальным микроскопом.

Чтобы извлечь из смеси частицы с шириной, меньшей предельно допустимой по технологическим требованиям, применяют пробивные сита с круглыми отверстиями, каждое из которых представляет собой «предельный калибр». Для точного разделения смеси каждую частицу нужно подвергнуть испытанию — «примериванию» к отверстию в том положении, в котором измеряли ширину, т. е. ось измерения длины должна быть перпендикулярна поверхности сита.

Однако сепарирование частиц по плотности и по толщине в производственных условиях происходит не так, как определяют соот-

ветствующие свойства. Это обусловлено непрерывностью процесса и требованиями к габаритным размерам, массе, простоте конструкции, производительности и надежности сепарирующих машин.

Чтобы удовлетворить этим требованиям при сепарировании по плотности гидростатическим способом, для очистки машины, непрерывной подачи в нее исходной смеси и вывода фракций после разделения пришлось бы вызвать движение жидкости, т. е. сделать процесс гидродинамическим. При этом на движение частицы, определяющее ее попадание в легкую или тяжелую фракцию, оказали бы влияние не только плотность, но и размеры, форма и состояние поверхности. Отметим также, что при гидравлическом сепарировании увеличивается влажность продукта.

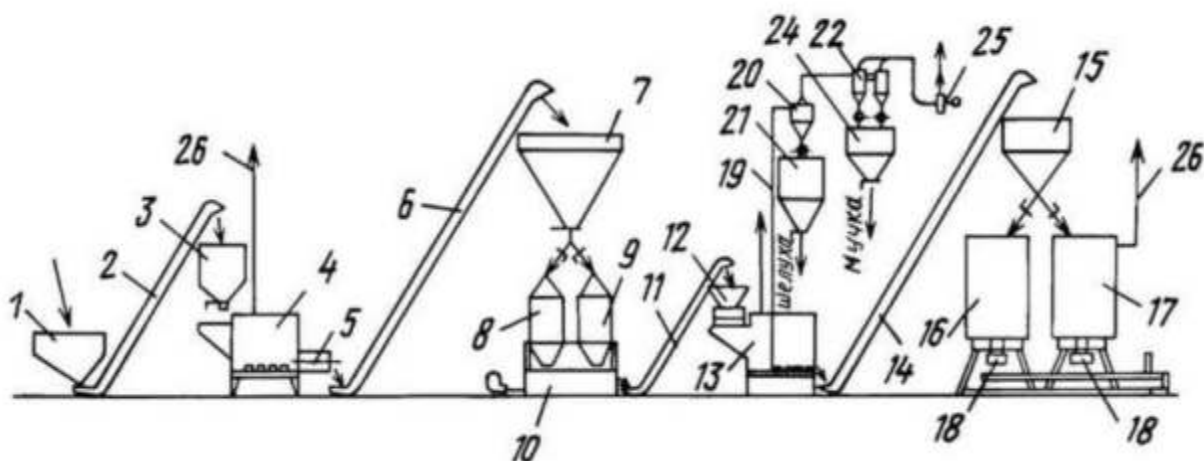
Ситовое сепарирование по ширине частиц осуществляют обычно при колебаниях наклонных плоских сит, по которым продукт перемещается слоем с толщиной, в несколько раз превышающей толщину частиц.

Чтобы частица с шириной, меньшей, чем диаметр отверстия, просеялась через него, ей необходимо занять положение в нижнем слое и осью измерения длины ориентироваться перпендикулярно поверхности сита. Выполнению первого условия благоприятствует увеличение плотности и уменьшение объема данной частицы по сравнению с плотностью и объемом окружающих частиц; выполнению второго условия благоприятствует увеличение общей толщины слоя и высоты его подбрасывания над ситом, а также уменьшение коэффициента формы данной частицы.

Таким образом, и в этом случае основной признак разделения не единственный, а результаты сепарирования зависят не только от этих признаков, но и от параметров процесса. Действие второстепенных признаков может совпадать по направлению с действием основного признака разделения, а может быть ему противоположным.

Переработка и разделение зерна гречки в крупу энергоемкий процесс. Недостаточно реализуются резервы увеличения выхода и улучшения

качества готовой продукции, что связано не только с построением технологического процесса, режимами обработки сырья, но и совершенством используемого технологического оборудования. Научные основы развития технологических линий пищевых производств разработал В.А. Панфилов [53]. По данным предложен способ переработки и разделения зерна гречихи в крупу, включающий очистку его от примесей, гидротермическую обработку, отволаживание и сушку зерна, шелушение, отделение крупы, отличающийся тем, что переработку зерна ведут без деления на фракции и после гидротермической обработки при отволаживании зерно подсушивают до влажности 15-18%, а шелушение ведут центробежным шелушителем при скорости соударения зерна о неподвижную преграду 55-58 м/с и после выделения из промпродукта крупы производят ее досушивание до влажности хранения 13% (рисунок 1.1) Этот способ позволяет получить качественную переработку гречихи в зерно.



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

Рисунок 1.1 - Процесс переработки зерна гречки в крупу

Другой способ выработки гречневой крупы включает очистку и шелушение несортированного по размерам на фракции зерна (рисунок 1.1). Шелушенные зерна от нешелушённых отделяются на ячеистых сортировочных столах после предварительного удаления оболочек, мучки и дробления.

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

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

крупноотделительных машин 6 и 8 идет для дополнительного контроля на сортировочную машину 9, откуда сход с сита с отверстиями размером 1,7×20 мм поступает на контрольные крупноотделительные машины 7. 11, 5, 13, 19 - соответственно 1-, 2-, 3-, 4-я системы шелушения; 2, 10, 16, 21 - отсеивы; 3, 11, 17 - аспираторы с замкнутым циклом воздуха; 4, 12, 18 - сортировочные машины; 6, 7, 8, 14, 15, 20, 22 - крупноотделительные машины. Продукты направляются на рассев 10 после 2-й системы шелушения 5. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм отсеива 10 после провеивания на аспираторе 11 и просеивания на сортировочной машине 12 поступает на 3-ю систему шелушения 13. Продукт, идущий сходом с сит с отверстиями размером 1,7×20 мм отсеива 10, направляется на крупноотделительные машины 14. После крупноотделения продукт верхнего схода (ядрица) поступает на контрольные системы крупноотделительных машин 7, а нижние схода - на крупноотделительные машины 15. Продукты поступают на рассев 16 после 3-й системы шелушения 13. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм отсеива 16 после провеивания на аспираторе с замкнутым циклом воздуха 17 и просеивания на сортировочной машине 18 поступает на 4-ю систему шелушения 19. Сход с сита с отверстиями размером 1,7×20 мм отсеива 16 вместе с продуктом, поступающим от сортировочной машины 12, направляется на крупноотделительные машины 20 (III этап крупноотделения). После крупноотделения продукт верхнего схода (ядрица) поступает на контрольные крупноотделительные машины 7, а нижние схода - на крупноотделительные машины 15 либо 22. Продукты шелушения машины 19 направляются на рассев 21. Сход с сита с отверстиями диаметром 4 мм отсеива 21 возвращается на рассев 2. Сход с сита с отверстиями размером 1,7×2,0 мм отсеива 21 поступает на крупноотделительные машины 22. После крупноотделительных машин 22 продукт верхнего схода (ядрица) направляется на выбой, а нижнего схода - на рассев 2. Лузга, отвеиваемая на аспираторах 3, 11 и 17, направляется на контроль (на чертеже не показан).

Мучка и дробленка, высеиваемые на ситах 2, 10, 16 и 21 и сортировочных машинах 4, 9, 12 и 18, также поступают на контроль. Так как размеры зерен гречихи колеблются в широких пределах, технологический процесс предусматривает сортирование (предварительное и окончательное) гречихи на шесть фракций с помощью ситов или крупосортировочных машин с последующим шелушением каждой фракции гречихи отдельно на вальцедековых станках. Ядрицу выделяют также пофракционно на ситах, что требует развитого технологического процесса. В этом заключаются основные особенности существующего технологического процесса выработки гречневой крупы. Этот способ выработки гречневой крупы позволяет значительно уменьшить внутризаводской оборот продукта, повысить производительность и эффективность технологического процесса выработки крупы.

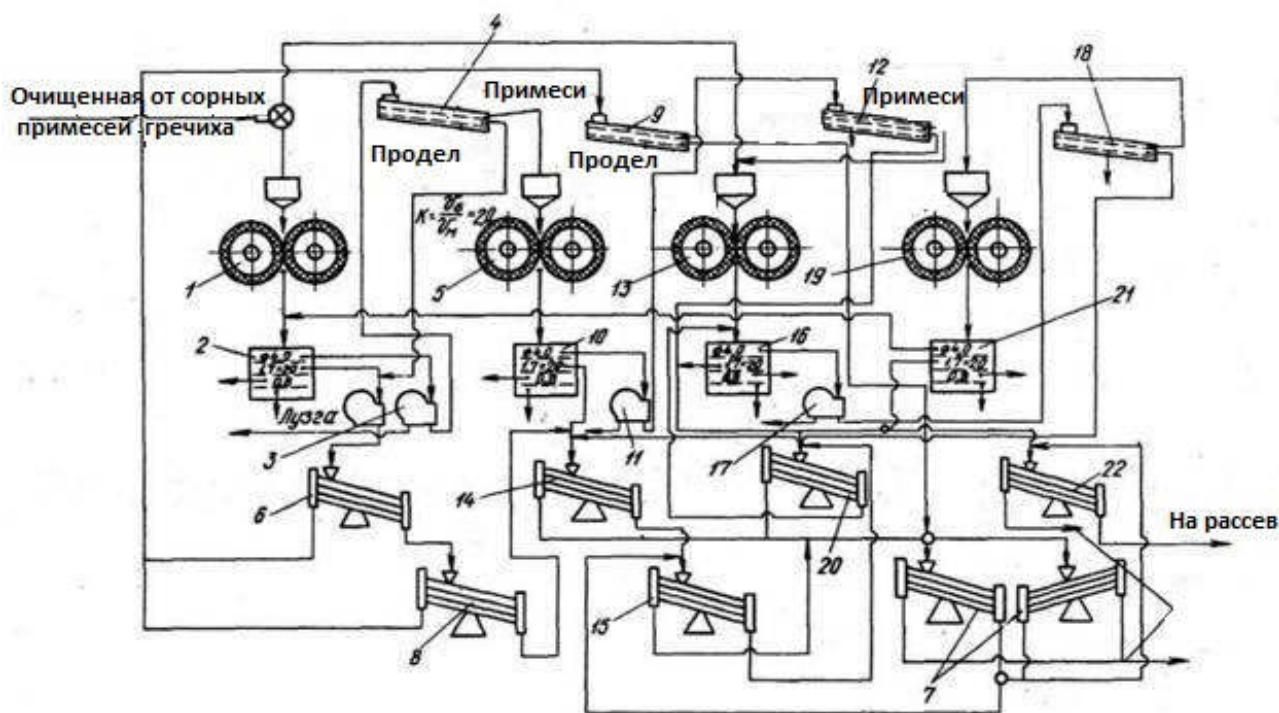


Рисунок 1.2 – Новая технологическая схема производства гречневой крупы

Разделение зерна является связующей между подготовительным и перерабатывающим этапом технологии. При этом она решает следующие задачи:

- ✓ обеспечивает шелушение фракций зерна в оптимальном режиме;
- ✓ используя различие ядра и зерна гречихи по диаметру описанной окружности вокруг наибольшего поперечного сечения, позволяет осуществить с высокой эффективностью крупотделительную операцию (разделение ядра и зерна при сортировании продуктов шелушения) ситовым сепарированием;
- ✓ обеспечивает выделение некоторого количества трудноотделимых примесей.

Необходимость в проведении операции становится очевидной, если проанализировать геометрические размеры зерна гречихи, поступающего в обработку. По многолетним наблюдениям зерно товарных партий варьируется по диаметру описанной окружности вокруг наибольшего поперечного сечения от 5,0 до 3,0 мм, что затрудняет эффективное шелушение и крупотделение несортированного на фракции крупности зерна. Поэтому операция предварительного сортирования является необходимой и обязательной в технологии крупы из гречихи. При проведении операции зерно гречихи делят на шесть фракций крупности с использованием сит с круглыми отверстиями: первая фракция - $\frac{\varnothing 5,0}{\varnothing - 4,5}$; вторая фракция - $\frac{\varnothing 4,5}{\varnothing 4,2}$; третья фракция - $\frac{\varnothing 4,2}{\varnothing 4,0}$; четвертая фракция - $\frac{\varnothing 4,0}{\varnothing 3,8}$; пятая фракция - $\frac{\varnothing 3,8}{\varnothing 3,6}$; шестая фракция - $\frac{\varnothing 3,6}{\varnothing 3,3}$. Наличие выровненного по крупности зерна позволяет провести в оптимальном режиме процесс шелушения, так как мелкие и крупные зерна фракции не отличаются более чем на 0,2-0,3 мм. При этом появляется возможность осуществлять разделение ядра и зерна ситовым сепарированием, так как самое крупное ядро оказывается меньше самого мелкого зерна фракции на 0,3 мм

1.3 Анализ конструкций горизонтальных пневматических сепараторов

При эксплуатации сепарирующих машин необходимо соблюдать рекомендуемый для данной операции режим и периодически контролировать работу машины. Для контроля отбирают образцы поступающей в машину зерновой смеси, очищенного зерна и полученных отходов.

Анализ, отобранных образцов ведут на наборе лабораторных сит при помощи ручного, просеивания и разборки или на лабораторных сепараторах.

Для оценки работы зерноочистительных сепараторов, пневмосепараторов, триеров, камнеотделительных машин и т. д. приняты в основном следующие показатели;

производительность (Q , кг/мин или т/ч) — количество поступающей зерновой смеси в машину в единицу времени;

эффект очистки зерна от примесей (E , %);

содержание полноценного зерна в отходах (a , %), характеризующее четкость сепарирования, т. е. качественную сторону процесса.

Производительность, сепарирующей машины (Q , т/ч) определяют по результатам снятия баланса продуктов и выражают следующей зависимостью:

$$Q = \frac{Q_0 - 60}{M} \quad (1.1)$$

где Q_0 — количество поступающей в машину зерновой смеси, кг; t — время снятия баланса, мин.

Эффект очистки зерна от примесей (E , %) выражают показателем эффективности, равным отношению количества отделенных примесей, обладающих определенными физико-механическими свойствами, к количеству этих же примесей, содержащихся в исходной зерновой смеси

$$E = \frac{B(1 - \frac{a}{100})}{A} * 100, \quad (1.2)$$

где B — количество выделенных примесей (масса отходов), кг; a — количество полноценного зерна в отходах, процент от их массы; A — содержание отделимых примесей в исходном зерне, кг.

Эффективность E сепараторов и содержание полноценного зерна в отходах, a в процессе очистки регламентированы Правилами организации и ведения технологического процесса на мельницах. В частности, на первом сепараторном проходе эффективность очистки должна быть не менее 65%, а содержание полноценного зерна в отходах при всех видах очистки — не более 2-%.

Наряду с основным требованием — высокой технологической эффективностью, включая качество конечных продуктов и сокращение их потерь, к сепарирующим, машинам зерноперерабатывающих предприятий, так же как и-ко всем машиностроительным Изделиям, предъявляют ряд требований, обуславливающих надежную работу машин при невысоких эксплуатационных затратах. Наиболее важные из них следующие: экономическая эффективность машин; надежность и технологичность конструкций; соответствие требованиям эргономики, нормам промышленной санитарии, противопожарной техники и техники безопасности. Особое место среди этих требований занимают стандартизация, нормализация, унификация и агрегатирование машин. Все большие требования предъявляют к повышенной заводской готовности машин, системам управления и автоматизации, а также к соответствию машин требованиям промышленной эстетики.

Эти общие требования в достаточной степени освещены в технической литературе, поэтому в данной книге мы остановимся только на некоторых из них применительно к сепарирующим машинам.

Высокая экономическая эффективность машины в целом обеспечивается прогрессивным рабочим процессом, высокой производительностью, прочностью и надежностью, технологичностью изготовления и сборки,

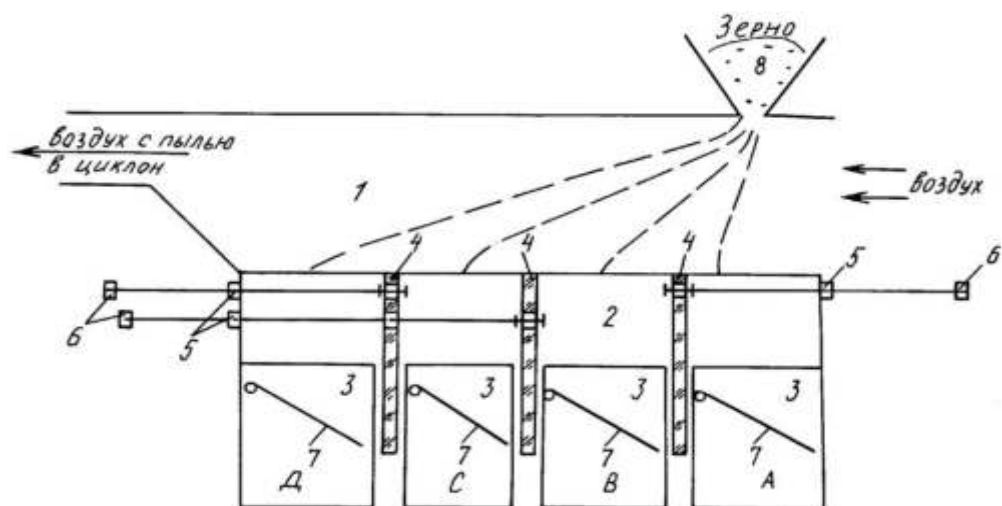
низкими металлоемкостью, массой, энергоемкостью и эксплуатационными затратами, высоким ресурсом и степенью механизации и автоматизации, простотой и безопасностью обслуживания, удобством управления.

Конструкторы часто стремятся к снижению стоимости машины и добиваются экономии только в одном направлении, не замечая других, гораздо более эффективных путей повышения экономичности и забывая о том, что частная экономия, без учета совокупности всех перечисленных факторов, нередко приводит к снижению суммарной экономической эффективности.

Пневматические сепараторы применяют для разделения воздушным потоком частиц материала на фракции по аэродинамическим свойствам (коэффициент парусности, скорость воздушного потока, коэффициент сопротивления воздушному потоку) и удельному весу.

Рассмотрим принципы работы некоторых пневматических сепараторов с горизонтальным движением воздушного потока.

Пневматический сепаратор сыпучих продуктов, в частности зерна и круп, работает следующим образом (рисунок 1.3.). Из бункера 8 зерно подается в камеру, где воздушный поток заслонками регулируется таким образом, чтобы различные его фракции разделялись по всей длине делительной камеры и через клапаны выходили: в канал А - камни и немагнитные металлопримеси; в канал В - помольное зерно; в канал С - фуражное зерно; в канал Д - соломистые примеси. Пыль уходит вместе с воздухом в циклон. Перемещение винтами 6 заслонок 4 дает возможность менять длину каждой зоны улавливаемого продукта, т.е. его количество.



1-раздувочная камера, 2 –делительная камера, 3- коробки, 4- пластины, 5- гайка, 6- винт, 7- клапан, 8- бункер

Рисунок 1.3. - Сепаратор сыпучих продуктов

Сепаратор снабжен клапанными коробками с клапанами сброса накопившегося над ними продукта, сбалансированным противовесом и прикрепленными к низу делительной камеры. При этом перегородки выполнены в виде эластичных пластин, каждая из которых прикреплена к соответствующему регулировочному винту, ввернутому в гайку, приваренную к корпусу делительной камеры для свободного перемещения вдоль последней, а также бесступенчатого регулирования их положения и соответствующей величины зоны улавливаемого продукта. Главным преимуществом данного сепаратора является надежность конструкции и достаточно высокая производительность. К недостаткам сепаратора можно отнести низкое качество очистки, требующее дополнительной обработки зерна на сеяноочистительных машинах.

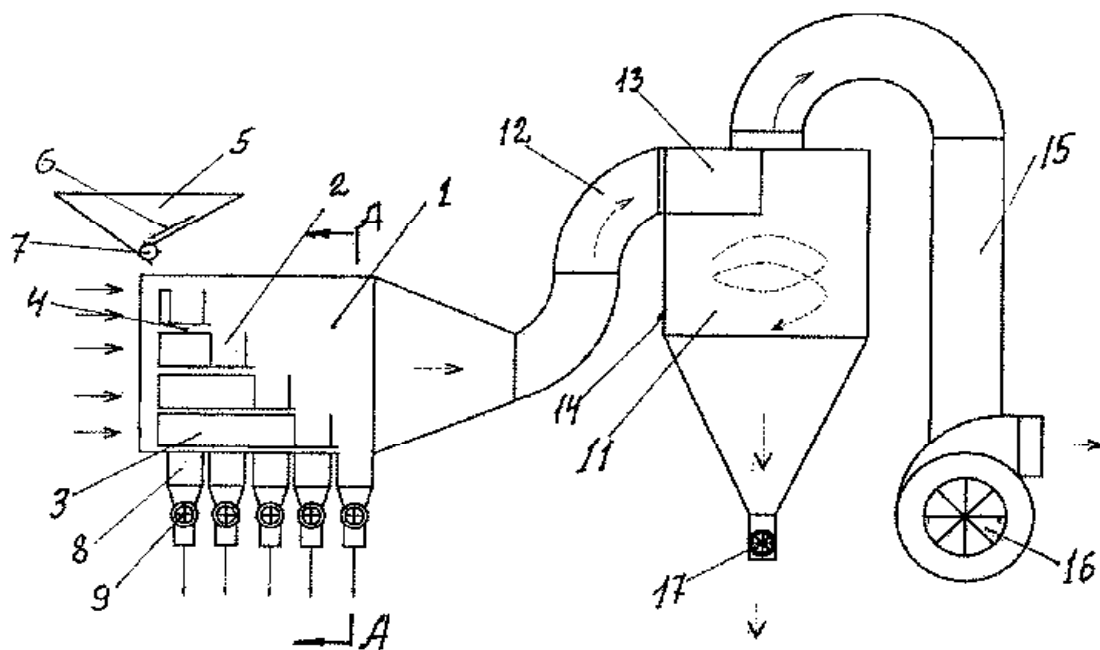
Рассмотрим пневматический сепаратор для очистки и сортировки зерна, семян и других сыпучих материалов.

Сепаратор состоит из горизонтального рабочего канала, в котором установленные лотки, расположенные вертикально и имеют вид каскада. Каждая ступенька каскада по размеру увеличивается на одну постоянную величину при постоянной ширине всех лотков. Над рабочим каналом

расположен питатель, который подает материал в рабочий канал. В нижней части рабочего канала расположены бункеры-приемники, в которые поступает разделенный материал. Между лотками образованы щели - сопла, которые уменьшаются по высоте в направлении сверху книзу. Такая конструкция расположения сопел и лотков позволяет уменьшить энергозатраты за счет уменьшения мощности вентилятора и повышает качество сортировки.

На рисунке 1.5. показано пять бункеров-приемников 8 и четыре лотка 2. В пятый бункер, разделенный материал попадает непосредственно, не попадая ни в один из лотков. Сверхлегкая фракция попадает в циклон 11 с помощью воздухопровода 12 и через входной патрубок 13. Циклон 11 имеет внешний цилиндр 14, в котором фракция, которая попадает в циклон через входной патрубок 13 делится в кругообразном потоке дополнительно на более легкую и более тяжелую фракции. На вытяжном патрубке 15 установлен вытяжной вентилятор 16. Циклон 11 имеет шлюзовую задвижку 17, которая открывает выпускное отверстие циклона 11.

Над рабочим воздушным каналом расположен питатель, который имеет вал подачи материала в воздушный канал. На внешней поверхности вала выполнены гребешки, которые при вращении вала размалывают крупные частицы материала и подают материал в рабочую зону. Питатель может быть выполнен и без применения вала, в зависимости от вида материала, который сепарируется. На выходе пневмоциклона устанавливают вытяжной вентилятор. В случае сепарации очень больших и тяжелых частиц, например таких, как мраморная крошка, на входе дополнительно устанавливают входной вентилятор, который дополнительно подает воздух в рабочий канал. Горизонтальный воздушный поток, который получается в рабочем канале, разделяет материал по принципу рассеивания отдельных частиц по их весу и площади, а также по скорости движения.



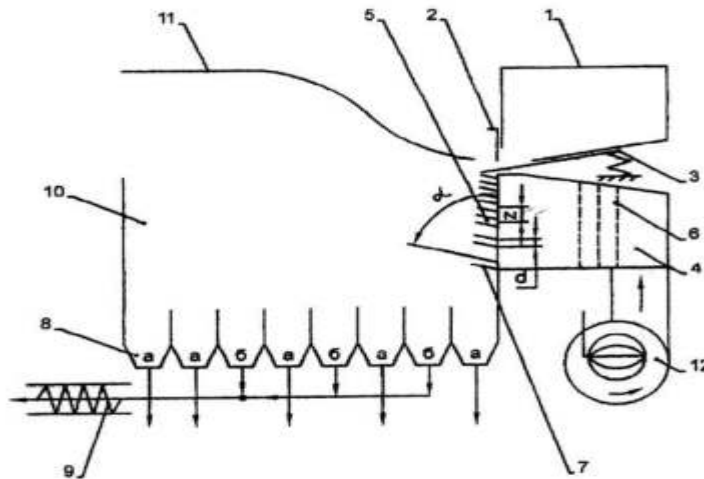
1-канал, 2- лоток, 3- подставки-карманы, 4- щель(сопла), 5-питатель, 6-заслонка, 7- гребенка, 8- бункер-приемник, 9- воздушный затвор, 10-боковые каналы, 11- циклон, 12- воздухопровод,13- входной патрубок,14- внешний цилиндр, 15- вытяжной патрубок,16- вытяжной вентилятор,17- шлюзовая задвижка

Рисунок 1.4. - Пневматический сепаратор для разделения сыпучих материалов

Конструкция, расположение сопел и лотков в воздушном канале сепаратора, позволяет уменьшить энергозатраты за счет того, что в нем для работы достаточен воздушный поток меньшей силы, что дает использовать вентиляторы значительно меньшей мощности. Уменьшение силы потока приводит к уменьшению паразитарных завихрений (турбулентности), что в результате приводит к увеличению качества распределения частиц и позволяет качественно распределять частицы с небольшой массой на фракции. Такая конструкция пневматического сепаратора позволяет получить качественную продукцию.

Рассмотрим устройство, которое применяется для воздушной сепарации сыпучих материалов злаковых культур, овощных и травяных

культур. Оно может быть использовано для очистки и сепарирования зерна на селекционных станциях, семенных заводах, фермерских хозяйствах, зерновых элеваторах, мукомольной, комбикормовой, химической и других отраслях производства.



1-бункер, 2- шибер, 3- вибролотка, 4- струйный генератор, 5- соплам, 6- решета, 7- канал, 8- делительное устройство, 9- транспортирующее устройство, 10- боковая стенка, 11- крышка, 12- вентилятор.

Рисунок 1.5. - Устройство для сепарации сыпучей смеси в текучей среде

Устройство для сепарации работает следующим образом. В начале проводят подачу зерна в бункер 1 с одинаковой скоростью, посредством вибролотка 3 создают свободный поток падения текучего зерна, который под воздействием воздушного потока из вентилятора 12 проходит по трем решетам 6 высокочастотного струйного генератора 4, воздух равномерно спрямляют по всем соплам 5, затем его в свою очередь сканируют выполненными увеличивающимися сверху вниз проходными сечениями сопел. Острый угол установки сопла 5, шаг между соплами 5, размеры и направляющие длины каналов 7 сопел 5 обеспечивают разделение частиц сепарируемого материала воздействием каскада плоских воздушных струй сопел 5, зерно поступает в делительное устройство 8, где его распределяют по фракциям.

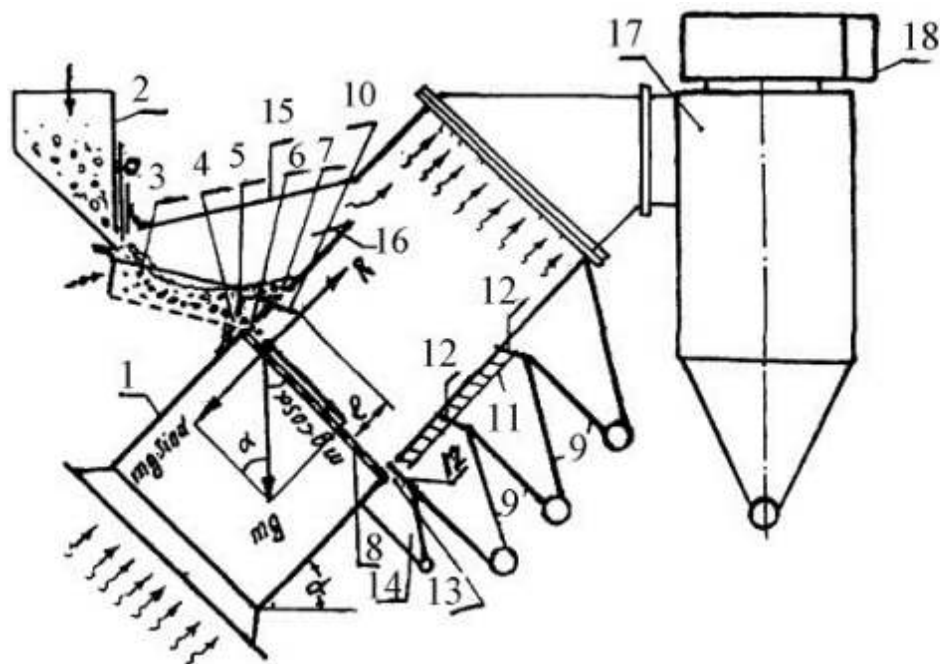
В основу работы данного устройства поставлено создание эффективной сепарации сыпучей смеси в текучей среде путем оптимизации аэродинамического воздействия на частицы исходного продукта за счет выполнения струйного генератора высокочастотным с установленными в нем тремя решетками последовательно перед соплами, а количество сопел выполнено не менее десяти со стенками направляющих каналов, длина которых увеличивается сверху вниз, причем сборников готовых фракций выполнено на два больше, чем сборников повторных фракций сепарируемого зерна. Это обеспечивает точное распределение сепарируемого продукта по приемным фракциям согласно весу и форме, улучшает качество сепарируемого продукта. В результате работы сепаратора повышается качество сепарируемого продукта за счет выполнения струйного генератора высокочастотным, при этом обеспечивается равномерная подача потока воздуха на все сопла сверху вниз. Равномерное разделение зерен, а также сокращение времени обуславливает повышение продуктивности, уменьшение металлоемкости и габаритов устройства сепарации.

Следующий пневматический сепаратор для фракционного разделения и очистки зерна включает вентилятор, загрузочное устройство, соединенное с пневмосепарационным каналом, в котором установлена воздухораспределительная сетка, закрепленная верхней частью под загрузочным устройством, а нижней частью соединенная с бункерами сбора продуктов разделения. Пневмосепарационный канал установлен под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонтальной плоскости. Воздухораспределительная сетка закреплена перпендикулярно к стенкам канала. Загрузочное устройство снабжено вибропневматическим лотком, в задней стенке которого выполнены нижнее и верхнее выпускные отверстия, имеющие гибкие соединения соответственно с первым и вторым загрузочными отверстиями, выполненными в верхней стенке канала. Под передней гранью второго загрузочного отверстия канала закреплена наклонная направляющая

пластина с углом $\beta=70^{\circ}-85^{\circ}$ и длиной $L=(1,5-3)h$, где h - толщина сплошного слоя зерна на поверхности воздухораспределительной сетки. В плоскости разгрузочных отверстий бункеров для фракции зерна установлены жалюзийные решета, пластины которых образуют угол 70° к поверхности канала и установлены на расстоянии 6-8 мм друг от друга, причем передние стенки бункеров снабжены подвижными шиберами.

Недостатками данного сепаратора является низкая эффективность фракционного разделения и очистки зерна, отсутствие предварительной подготовки материала при подаче в воздушную камеру и шиберов для регулирования и установления границ разделения обрабатываемого материала на фракции зерна и отходы. Также недостатками пневмосепаратора являются отсутствие обоснования выбора скорости воздушного потока, большое расстояние отхода частиц обрабатываемого материала потоком воздуха в горизонтальном направлении, что приводит к перекрытию зон движений зерен различных фракций и снижению эффективности их разделения и очистки, а также увеличению длины пневмосепарационного канала и, следовательно, сепаратора.

Отличительной особенностью является также то, что верхняя стенка пневмосепарационного канала снабжена двумя загрузочными отверстиями, при этом под кромкой первого, по ходу движения потока, отверстия закреплена верхняя сторона воздухораспределительной сетки, которая нижней стороной установлена на передней кромке разгрузочного отверстия бункера для «тяжелой» фракции зерна.



1-наклонный пневмосепарационный циклон, 2-загрузочное устройство, 3-вибропневматический лоток, 4-нижнее отверстие, 5-верхнее отверстие, 6- первое загрузочное отверстие, 7-второе загрузочное отверстие, 8- поверхность сетки, 9-бункер, 10- поверхность наклонной пластины, 11-решета, 13-щелевой зазор, 14- бункер

Рисунок 1.6. Устройство пневматического разделения сыпучего материала по плотности и аэродинамическим свойствам

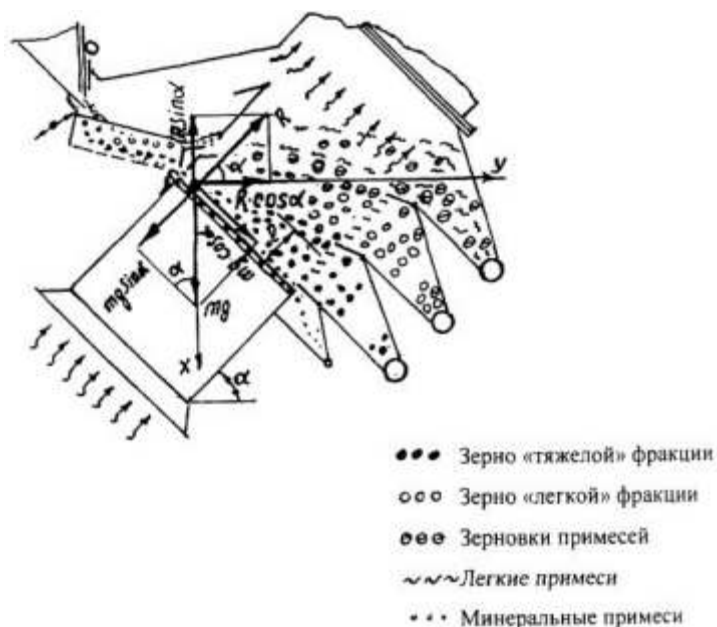


Рисунок 1.7. Действия сил на зерно

Отличием является также наличие наклонной направляющей пластины, установленной под передней гранью второго загрузочного отверстия канала,

и жалюзийных решеток с пластинами, установленных в плоскости разгрузочных отверстий бункеров для фракции зерна.

Расположение пневмосепарационного канала с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ к горизонтальной плоскости и установка воздухораспределительной сетки перпендикулярно к его стенкам обеспечивают обоснование режима оптимальной обработки зерна тяжелой (добротной) фракции по относительной скорости воздушного потока V_0 из условия равенства аэродинамической силы $R = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot F \cdot V_0^2$, действующей на зерно на поверхности сетки, и составляющей силы тяжести $mg \cdot \sin \alpha$, направленной в противоположную сторону (Рисунок 1.7 действия сил на зерно). Из вышеприведенного равенства получена формула

$$V_0 = \sqrt{\frac{2mg \cdot \sin \alpha}{\xi \cdot \rho \cdot F}} \quad \text{или} \quad V_0 = \sqrt{\frac{g \cdot \sin \alpha}{K}} \quad (1.3)$$

где $K = \frac{\xi \cdot \rho \cdot F}{2m}$ - коэффициент парусности зерна;

m - масса зерна;

ξ - коэффициент аэродинамического сопротивления зерна;

ρ - плотность среды;

F - среднее значение миделева сечения зерна.

Полученную формулу используют для расчета скорости воздуха, обеспечивающего обработку зерна «тяжелой» фракции на воздухораспределительной сетке в режиме кипящего слоя и унос потоком воздуха менее плотных зерен основного материала и примесей из слоя в сторону соответствующих отверстий разгрузочных бункеров. При величине скорости $V = (0,7-1,0)V_0$ обтекания воздушным потоком зерна «тяжелой» фракции на сетке, определенной из условия его безотрывного движения по ней, обеспечивается «кипение» слоя (аэрирование слоя), его интенсивная

обработка, выделение и унос легких зерен основного материала и зерновок примесей из «кипящего» слоя в сторону к отверстиям бункеров соответствующих фракций.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Исходный зерновой материал, подлежащий фракционному разделению и очистке от легких примесей, через загрузочное устройство 2 подают в наклонный пневмосепарационный канал 1. Вибропневматический лоток 3 загрузочного устройства 2 обеспечивает расслоение и предварительное разделение обрабатываемого материала по плотности и аэродинамическим свойствам на два потока. Более тяжелая и плотная нижняя часть - первый поток проходит через нижнее отверстие 4 в задней стенке лотка 3 в первое загрузочное отверстие 6 - попадает на воздухораспределительную сетку 8, на которой обрабатывается воздушным потоком в режиме безотрывного движения по ней, и поступает в бункер 9 для тяжелой основной фракции зерна. Через щелевой зазор 13 частицы минеральной примеси попадают в бункер 14, из которого периодически производится их выпуск открытием затвора. При режиме движения аэрированного зернового слоя незначительна вероятность попадания зерна в такой зазор 13. Верхняя часть слоя - второй поток из более легких зерен и примесей - проходит через верхнее отверстие 5 лотка во второе загрузочное отверстие 7 и по поверхности наклонной пластины 10 поступает в канал 1 на расстоянии $l=(1,5-3)h$ от поверхности сетки 8, примерно, к верхней границе аэрированного слоя зерна тяжелой фракции на поверхности сетки с таким расчетом, чтобы обеспечивалась интенсивная обработка зерна второго сорта с примесями воздушным потоком при падении, их четкое разделение на фракции и разгрузка в соответствующие бункера 9 (рисунок 1.8.). Большая часть зерновок примесей по длине и легкие примеси поступают в разгрузочный бункер для отходов. Расстояние между смежными пластинами решета 11 обеспечивают проход зерен в бункера и поддержание устойчивого режима движения потока

воздуха и эффективной обработки материала в канале. Повышению эффективности фракционного разделения и очистки зерна от легких примесей в наклонном канале сепаратора способствует использование вибропневматического лотка известной конструкции для предварительного расслоения исходного материала в слое на нижнюю часть, обогащенную зернами тяжелой фракции, и верхнюю с преимущественным содержанием легких зерен и примесей. Процессу расслоения и предварительного разделения слоя на две части способствует создание необходимого вакуума в аспирационном кожухе 15 лотка 3 с помощью регулируемогошибера 16.

Таким образом, предлагаемое изобретение обеспечивает создание материало- и энергосберегающего технологического процесса пневматического сепаратора, позволяющего разделение исходного зернового материала на несколько фракций: чистого «тяжелого» добротного зерна, составляющего примерно 55-60% от количества исходной смеси; зерна второго сорта 35-40% с небольшим содержанием коротких и длинных примесей; легких примесей до 5%. Выделение чистой добротной фракции обеспечивает увеличение качества зерна и получение дохода от его реализации, а выделение незначительной части коротких и длинных примесей в отдельную фракцию из зерна второго сорта обеспечивает уменьшение триерной очистки в среднем на 50-60% и соответственно уменьшает в последующем расход энергии на очистку зерна на триерах. Полное выделение легких примесей растительного происхождения позволяет использовать эти примеси для фуражных целей в хозяйствах, а выделение минеральной примеси из обрабатываемого материала на пневматическом сепараторе обеспечивает повышение качества зерна на переработку без применения дорогостоящей камнеотделительной машины.

Создание и применение предлагаемого пневматического сепаратора возможно в условиях хозяйства и не требует больших материальных и денежных затрат, позволяет хозяйствам решать проблему подготовки и

переработки зерна на месте его производства, повысить прибыль от его реализации зерноперерабатывающим предприятиям и создавать свой материал.

1.4. Анализ теоретических исследований разделения продуктов шелушения в горизонтальных пневматических сепараторах

Значительный вклад в развитие исследований зерноочистительных машин Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков, В.П. Горячкин, Н.С. Шелков, А.С. Матвеев, А.А. Глебов, В.П. Зайцев, Б.М. Тойхенберг, Н.П. Сычугов, Е.В. Семенов, А.И. Бурков, В.В. Гортинский, А.Б. Демский, Я.М. Жислин, Н.В. Жолобов, Б.И. Блинов, В.Е. Саитов, И.Н. Лямшин и многие другие.

Научная разработка проблемы повышения эффективности машин для сепарации крупяных продуктов шелушения охватывает широкий круг вопросов:

- ✓ Установление закономерностей влияния физико-механических и технологических свойств зерна на характер протекания и эффективность рабочего процесса;
- ✓ Изыскание новых способов воздействия и конструктивно-технологических схем органов машин;
- ✓ Разработку научно-методических основ проектирования и создания технических средств с оптимальными параметрами, на основе теоретических и экспериментальных исследований;
- ✓ Разработку научно-технических основ по эффективному использованию оборудования;
- ✓ Разработку математических моделей, описывающих процессы взаимодействия объекта переработки с рабочими поверхностями сепарирующих машин;
- ✓ Разработку научно обоснованных систем, обеспечивающих высокую технологичность и экологичность производственного процесса.

Значительная работа проведена в области исследования процессов взаимодействия зерна с воздушным потоком и изучения рабочих органов пневмосепарирующих систем А.М. Дзядзио, Е.С. Гончаровым, Р.Р. Вайсманом, И.Я. Грубияном, Г. Герц, Н.П. Сычуговым, А.И. Бурковым, И.Е. Идельчиком и другими учеными.

Большой интерес для решения важных задач рационального построения технологических процессов подготовки зерна к переработке путем математического моделирования представляют работы Н.В. Остапчука [66]. Выполненные исследования позволяют вести целенаправленную работу по совершенствованию рабочих органов и повышению эффективности использования машин для обработки зерна, подготовки его к переработке и машин для сортирования и сепарирования продуктов шелушения.

Особое внимание в направлении исследований сущности процесса сепарации представляют работы Я.М. Жислина [28]. В указанных работах автор рассматривает степень влияния ряда факторов на процесс аэросепарации. Основными факторами, обеспечивающими снятие наружных оболочек зерновки при воздействии на нее воздушной струи и характеризующими физическую сущность процесса, являются удар зерновки струей, разрыв оболочки воздухом изнутри, инерциональная перегрузка зерновки, фракционное воздействие струи на оболочку. Степень влияния каждого из указанных факторов на разрушение оболочки неодинакова и может зависеть от прочности ее связи с ядром, формы и размера зерновки, объема воздушной полости, прочностной характеристики самой оболочки, а также от конструктивно- технологической схемы и режимов работы рабочего органа. Автором предлагаются расчетные формулы для определения каждой группы сил. Я.М. Жислин рассматривает влияние указанных факторов в связи с параметрами процесса аэросепарации с применением общих теорий турбулентных струй и двухфазного потока (воздух+зерно).

В частности, на основе положения турбулентных струй Я.М. Жислин рассчитал скорости двухфазного потока в процессе аэросепарирования зерна, а также диаметр трубки смешения и оптимальное расстояние между выпускным отверстием сопла и впускным отверстием трубки смешения и другие конструктивные и режимные параметры аэросепарационной установки.

Я.М.Жислин в своих исследованиях процесса аэродинамического сепарирования показал влияние некоторых конструктивных параметров аэросепарационной машины на технологическую эффективность сепарации. В частности, эти исследования касаются зависимости коэффициента технологической эффективности от расстояния между соплом и трубкой смешения, от длины и диаметра трубки смешения. Автор ввел формулы для определения удельной энергоемкости процесса аэросепарации в этих установках, а также их производительности:

$$\varepsilon = \varphi_{\varepsilon} \frac{0,396 P_0 F_{кр}}{367,2 \gamma \vartheta_B \vartheta_3^3 \sqrt{T_0 + F_{тр.см}} K_{тр.см}} \quad (1.4)$$

$$Q = 3,6 \gamma n_m \vartheta_B F_{тр.см} K_q \quad (1.5)$$

где ε – удельная энергоемкость процесса аэросепарации, кВт*ч/т;

Q - производительность аэросепарационной установки, т/ч; $F_{тр.см}$ - площадь критического сечения сопла, мм; P_0 – давление при входе сопла, атм; γ - объемная масса исходного сырья, кг/м³; ϑ_B - скорость воздушного потока, м/с; ϑ_3^3 - средняя скорость зерновки в трубке смешения, м/с; $F_{тр.см}$ - площадь поперечного сечения трубки смешения; n_m - число трубок смешения в машине, φ_{ε} - коэффициент потерь энергии воздушной струи при истечении из сопла; K_q - коэффициент, учитывающий степень использования трубки смешения и воздушной струи.

Здесь очевидна значимость энергетического показателя от конструктивных параметров аэросепарационной установки.

Изучение физической сущности процесса сепарации в основном сводится к анализ основных факторов обеспечивающих снятие и разделение наружной оболочки зерновок, при различных способах воздействия, с точки зрения определения степени их влияния на показатели качества продукта и технологической эффективности процесса, а также определения мощности.

При механических воздействиях на объект переработки Е.В. Семенов, А.А. Глебов, И.Н. Петров задачу анализа эффективности сепарации предлагают решить путем разработки модели кинетики зерновой смеси в рабочей зоне сепаратора. Авторы предлагают формулу для определения мощности на перемещении всего потока зерносмеси в следующем виде:

$$N_1 = nQ(R^2 - r_0^2)\omega^2 \quad (1.6)$$

где Q - производительность сепаратора кг/с;

n - число дисков в роторе,шт;

R - радиус диска, м;

r - радиус вала, м;

ω - угловая скорость дисков,с⁻¹

Вопрос расчета полезной мощности, потребляемой сепаратором с вальцами, рассматривается в работе В.П. Зайцева и Б.М. Тойхенберга , которые предлагают при расчете мощности на валу использовать следующие выражения:

$$N = \frac{fE\sqrt{8h^3d}}{3(1-\mu^2)} * \frac{\omega_3 + D_0\omega_6}{d}, \quad (1.7)$$

где f - коэффициент трения зерна о материал рабочей поверхности;

E –продольный модуль упругости рабочей поверхности;

h - значение абсолютной деформации;

ω_3 - угловая скорость зерна;

D_0 - диаметр вальца;

ω_6 - угловая скорость быстровращающегося вальца;

μ - коэффициент Пуассона рабочей поверхности;

d - диаметр зерновки;

По мнению А.В. Дмитриева, при движении зерна в воздушном потоке на него действует комплекс сил, которые зависят от скорости воздушного потока V , ускорения свободного падения g , коэффициента парусности частицы K_n .

Движение зерна в воздушном потоке (рисунок 1.8) где R - сопротивление воздушному потоку.

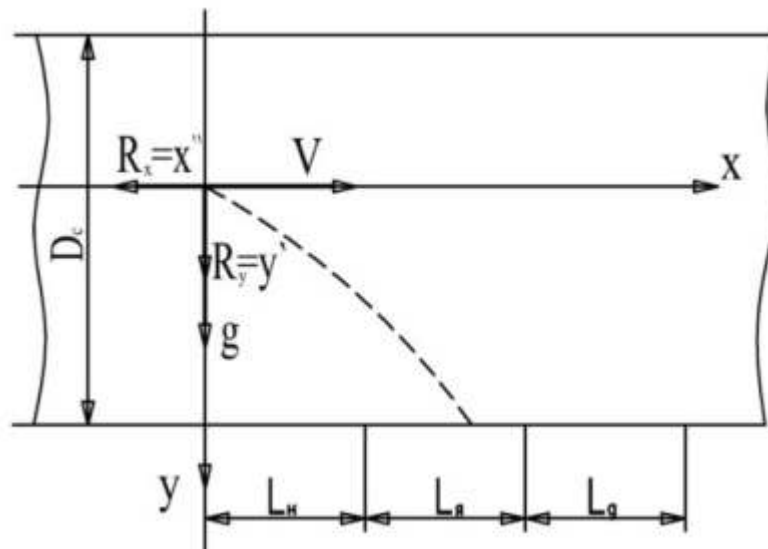


Рисунок 1.8 Моделирование процесса пневмосепарации

Дифференциальное уравнение движения зерна:

$$x'' = k_n (V - x')^2 \quad (1.8)$$

$$y'' = g \quad (1.9)$$

Уравнение 1.9 после преобразования представляет собой:

$$y = \frac{gt^2}{2} + C_3t + C_4 \quad (1.10)$$

В начальный момент времени $y=0$, $x=0$, $t=0$, поэтому $C_4 = 0$.
Следовательно:

$$y = \frac{gt^2}{2} + C_3 t \quad (1.11)$$

$$y' = gt + C_3 \quad (1.12)$$

В начальный момент времени $t=0$ и скорость зерна $y' = 0$, поэтому $C_3 = 0$ и $y = \frac{gt^2}{2}$. Отсюда следует:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (1.13)$$

Уравнение 1.10 после преобразования:

$$(-(V-x')) = k_n (V - x')^2, \quad (1.14)$$

$$\frac{(-(V-x'))}{(V-x')^2} = -k_n \quad (1.15)$$

Интегрируя получилось:

$$-\frac{1}{V-x'} = -k_n + C_1 \quad (1.16)$$

В начальный момент времени $t=0$ собственная скорость зерна равняется нулю, т.е. $x' = 0$, поэтому $C_1 = -\frac{1}{v}$. Исходя из этого, выражение 1.16 запишется в виде:

$$-\frac{1}{V-x'} = -k_n t - \frac{1}{v} \quad (1.17)$$

После преобразования получилось:

$$x' = \frac{V k_n t}{1 + k_n t}, \quad (1.18)$$

$$dx = V \left(1 - \frac{1}{1 + k_n t} \right) dt,$$

$$dx = V dt - \frac{V}{k_n} \frac{d(1 + k_n t)}{1 + k_n t} \quad (1.19)$$

Решая уравнение 1.19 получилось:

$$x = Vt - \frac{v}{k_n} \ln(1 + k_n t), \quad (1.20)$$

$$x = V \sqrt{\frac{2y}{g}} - \frac{v}{k_n} \ln \left(1 + k_n \sqrt{\frac{2y}{g}} \right) \quad (1.21)$$

Таким образом, А.В. Дмитриев нашел уравнение, характеризующее поведение частицы в равномерном воздушном потоке.

Значение y меняется в пределах диаметра воздушного сепаратора, следовательно, можно принять $y = D_c$, где D_c - диаметр воздушного сепаратора. При нахождении зон выпадения сепарируемых частиц выражение 1.21 примет вид:

$$L_n = V \sqrt{\frac{2D_c}{g}} - \frac{v}{k_{nn}} \ln \left(1 + k_{nn} \sqrt{\frac{2D_c}{g}} \right), \quad (1.22)$$

$$L_y = V \sqrt{\frac{2D_c}{g}} - \frac{v}{k_{ny}} \ln \left(1 + k_{ny} \sqrt{\frac{2D_c}{g}} \right), \quad (1.23)$$

$$L_d = V \sqrt{\frac{2D_c}{g}} - \frac{v}{k_{nd}} \ln \left(1 + k_{nd} \sqrt{\frac{2D_c}{g}} \right) \quad (1.24)$$

где L_n, L_y, L_d - длина зоны выпадения соответственно нешелушенного зерна, ядрицы, дробленки;

V – скорость воздушного потока;

D_c - диаметр сепаратора;

k_{nn}, k_{ny}, k_{nd} - коэффициент парусности соответственно нешелушенного зерна, ядрицы, дробленки.

Полученное выпажение позволяет смоделировать процесс пневмосепарации и определить основные конструктивные параметры пневмосепаратора

1.5. Задачи исследований

В настоящее время, в сельскохозяйственном и перерабатывающем производстве наблюдается тенденция интенсификации технологических процессов за счет применения комбинированных рабочих органов и способов. Это дает преимущество в увеличении производительности при одинаковых затратах, причем существенно снижается энергоемкость технологического процесса.

Проведенный анализ показал, что существующая технология переработки зерна гречихи предусматривает многократное воздействие на продукт рабочих органов машины, целая система машин используется как для приготовления зерна к сепарации (гидротермическая обработка, фракционирование и т.п.), так и для обработки продукта после шелушения (разделение продукта шелушения на фракции). Однако существует возможность сократить систему машин для переработки зерна гречихи за счет применения комбинированного способа воздействия на перерабатываемый материал.

Применение пневмосепаратора на перерабатываемый материал в крупяном производстве дает возможность существенно сократить технологическую линию получения крупы, что ведет за собой сокращение рабочих площадей, количества задействованного оборудования, экономию энергии. Это немаловажно при переработке крупы на местах ее производства, т.е. непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях. Однако эффективное применение предлагаемого способа сепарации зерна невозможно без разработки и обоснования оптимальных режимов работы и конструктивных параметров пневмосепаратора. В основе этих данных должны лежать точные инженерные и технико-экономические расчеты о поведении зерна в процессе взаимодействия с рабочими органами сепарации, экспериментальные данные о физико-механических и технологических свойствах перерабатываемого продукта.

Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса сепарации продуктов шелушения зерна гречихи на основе разработки пневмосепаратора, а также обоснования его основных конструктивно-технологических параметров и режимов работы.

Задачи исследования данной работы являются:

- ✓ Разработать конструкцию горизонтального пневматического сепаратора, провести конструктивные и технологические расчеты
- ✓ Разработать общий план исследований, методику определения коэффициентов целостности и шелушения зерна гречихи, определить эффективность разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе
- ✓ Определить эффективность разделения продуктов шелушения в горизонтальном сепараторе
- ✓ Сделать общие выводы по работе

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА

2.1 Разработка схемы и конструкции

Целью разработки данной машины является повышение производительности и качества сепарирования зернового вороха при обработке различных культур, что достигается предварительным выделением солоmistых примесей из зернового материала при вводе его в пневмосепарирующий канал и равномерным распределением в последнем зернового материала.

Основная технологическая функция пневматических сепараторов — выделение из зерновой смеси примесей, отличающихся от зерна по аэродинамическим признакам (пыль, частицы оболочек, сорные примеси).

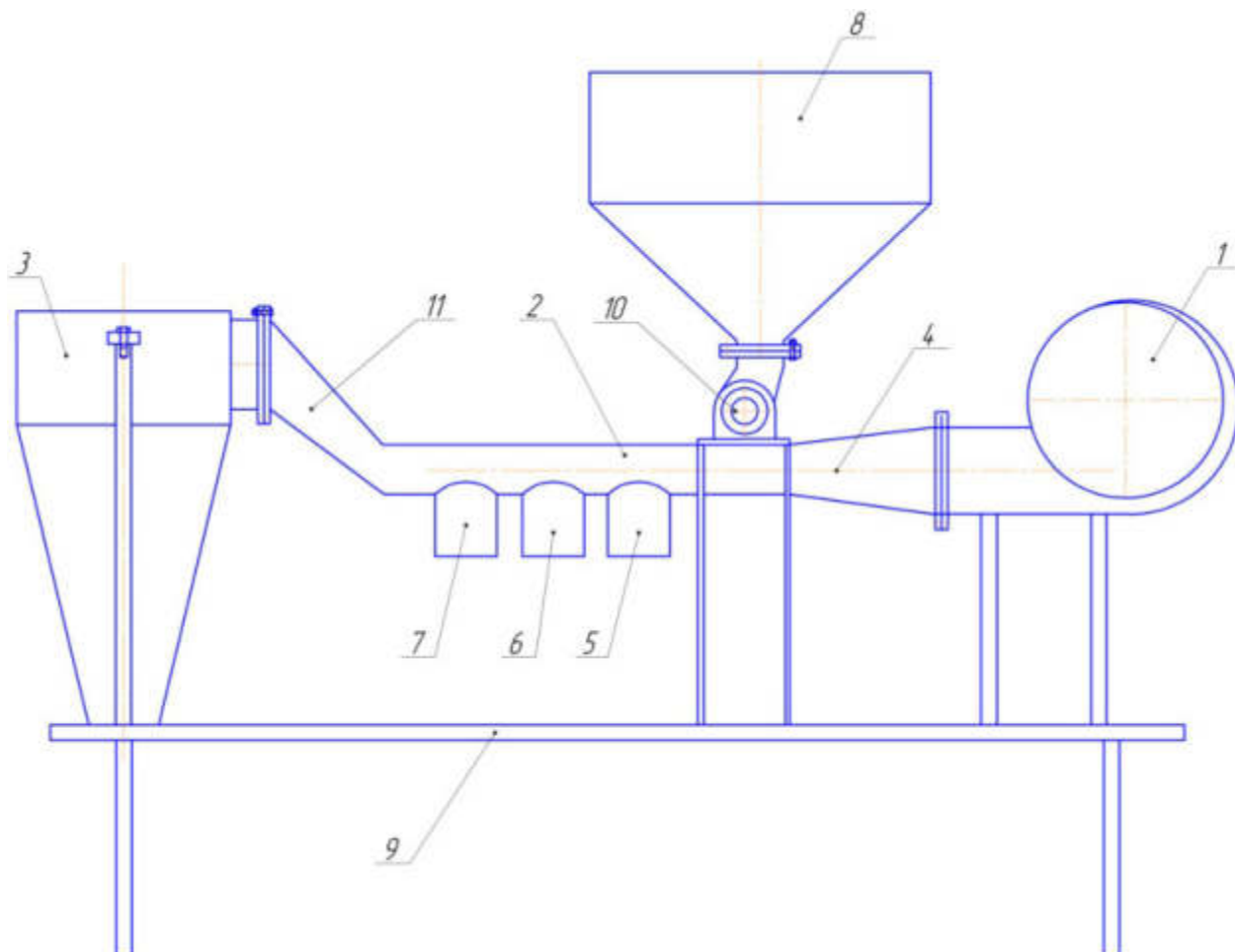
Процесс разделения зернового вороха на фракции воздухом основан на различии аэродинамических свойств частиц исходного материала. Если зерновой материал, состоящий из частиц с различными аэродинамическими свойствами, ввести в вертикально-восходящий воздушный поток соответствующей скорости, то часть зерен будет уноситься воздушным потоком, а часть оставаться на сетке, т.е. исходный материал разделится на две фракции. Если же такой материал вводить в горизонтальный или наклонный потоки, то частицы будут отклоняться последними от линии свободного падения на разную величину и разделяться на фракции.

Сепарирование вертикальным и горизонтальным потоком называют соответственно способом «взвешивания» и способом «отклонения».

На рисунке 2.1 представлена разработанная нами схема конструкции пневматического сепаратора зерна.

Пневматический сепаратор для очистки зернового материала (рисунок 2.1) включает в себя пневмосепарирующий канал с поперечным окном для ввода сепарируемого материала, в котором установлен на валу

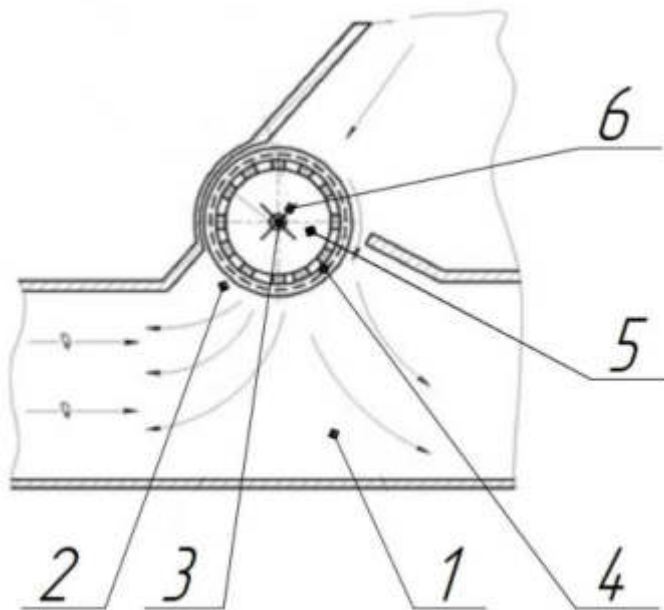
питатель, отличающийся тем, что, с целью повышения качества сепарации, поверхность питателя выполнена в виде решета, причем центральная часть питателя полая, а внутри него установлены на валу активаторы.



1-вентилятор; 2-вторая секция воздушного канала; 3-циклон; 4-первая секция воздушного канала; 5-бункер для нешелушённого зерна; 6-бункер для ядрицы; 7-бункер для сечки; 8-приёмный бункер; 9-рама; 10-скальператор; 11-переходная камера.

Рисунок 2.1 – Конструктивная схема горизонтального пневматического сепаратора

Далее на рисунке 2.2 приведена схема сепарирующей части с питателем.



1- пневмосепарирующий канал; 2- поперечное окно; 3- вал питателя; 4- питатель; 5- полая центральная часть питателя; 6- активаторы.

Рисунок 2.2 – Схема сепарирующей части с питателем

Горизонтальный пневматический сепаратор работает следующим образом.

Очищаемый зерновой ворох поступает к питателю через дозатор. Зерно и мелкие примеси проходят через решетчатую поверхность питателя в его полую часть, разделяясь на две части - одна часть попадает на нижнюю часть внутренней поверхности питателя, где под действием вращательного движения подвергается вращательно-кипящему воздействию и, пройдя сквозь решетку, равномерно распределяется в пневмосепарирующем канале. Другая часть зерна и мелких примесей поступает на закрепленные на валу активаторы, которыми равномерно распределяется по поперечному сечению питателя и, пройдя сквозь решетку, равномерным слоем поступает в пневмосепарирующий канал. В то же время солоmistые примеси до ввода зернового вороха в пневмосепарирующий канал выделяются решетчатой

поверхностью питателя и попадают в пневмосепарирующий канал выше зоны равномерно поступающего зерна и мелких примесей.

Продукты переработки соответственно распределяются по бункерам 5,6,7. Пыль выводится через циклон 3.

Таким образом, деление зерновой смеси на два потока разрыхляет зерновую смесь, исключает накопление зерновой смеси в нижней части решета, увеличивает рабочую поверхность внутренней части решета и улучшает процесс пневмосепарации. Причем солоmistые примеси, сходящие по внешней поверхности решета, поступают в пневмосепарирующий канал выше ввода зерновой смеси, прошедшей сквозь решето, что так же улучшает процесс выноса легких примесей воздушным потоком и улучшает качество очистки исходного зернового материала.

2.2 Технологические расчёты

Определим производительность предлагаемой машины.

Производительность Q пневмосепаратора зависит от удельной нагрузки q (кг/ч·см) приходящийся на 1 см длины канала. С увеличением q эффективность сепарирования уменьшается. Начальная скорость частицы $v = 0,3$ м/с. Угол входа частицы в канал $\alpha = 35^\circ$.

Принимаем удельную нагрузку $q = 100$ кг/ч·см.

Производительность пневмосепаратора находится по формуле:

$$Q = B \cdot q, \quad (2.1)$$

где Q - производительность пневмосепаратора, кг/ч;

B – ширина пневмосепарирующего канала, см;

q - удельная нагрузка, кг/ч·см.

$$Q = 36 \cdot 100 = 3600 \text{ кг / ч}$$

При известной нагрузке q и ширине B можно определить эффективность разделения, которая примерно составляет:

$$E = 75\%.$$

Расчет скорости воздуха в пневмосепараторе. Скорость воздуха в пневмосепарирующем канале выбирают по характеристике распределения скоростей компонентов зерновой смеси. В каналах для отделения легких примесей, скорость воздуха принимается равной $0,7 - 0,9 \cdot V_{кр}$, от основной культуры. Следовательно:

$$V = 0,8 \cdot 11,5 = 9,2 \text{ м/с}.$$

Расчет размеров пневмосепаратора. Размеры пневмосепарирующего канала устанавливают по допустимой удельной нагрузке q (кг/с) на 1 м^2 сечения или на 1 м ширины с учетом назначения машины.

Высота H_1 (рисунок 2.3) верхней части канала принимается равной от $0,5 - 1,6 \text{ м}$.

Высота H_2 нижней части канала принимается не менее $1,5 \cdot h$ его глубины. При $q = 3 \dots 4 \text{ кг/(см} \cdot \text{м)}$ для каналов послерешетной аспирации $h = 160 \dots 180 \text{ мм}$. Принимаем $h = 170 \text{ мм}$. Получаем $H_2 = 1,5 \cdot 170 = 255 \text{ мм}$.

Ширина пневмосепарирующего канала у большинства зерноочистительных машин составляет $(0,9 \dots 1,5) \text{ м}$, т.е. принимаем $B = 1,2 \text{ м}$.

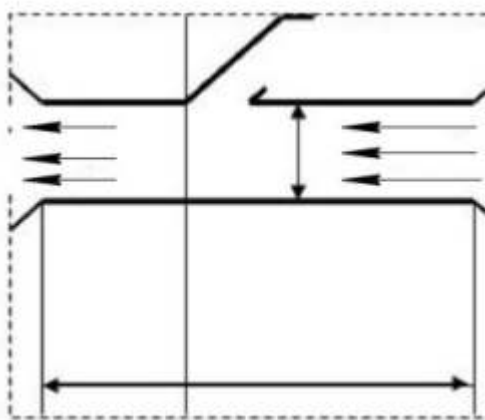


Рисунок 2.3 – Схема пневмосепарирующего канала

Расход воздуха в пневмосепарирующем канале определяется по формуле:

$$Q_k = B \cdot h \cdot V, \quad (2.2)$$

где - Q_k - расход воздуха в пневмосепарирующем канале, $\text{м}^3/\text{с}$;

B - ширина пневмосепарирующего канала, мм;

h - глубина вертикального пневмосепарирующего канала, мм;

V - скорость воздуха, м/с.

$$Q_k = 1,2 \cdot 0,17 \cdot 9,2 = 1,87 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчет сопротивления пневмосистемы. Расчет сопротивления пневмосистемы ведётся исходя из потерь статического давления в воздушном канале и динамического давления на входе в канал или выходе из него по формуле:

$$P_{\text{пн}} = P_{\text{к}} + P_{\text{дв}} + P_{\text{пу}}, \quad (2.3)$$

где - $P_{\text{пн}}$ – сопротивление пневмосистемы, Па;

$P_{\text{к}}$ – потери статического давления в воздушных каналах, Па;

$P_{\text{дв}}$ – потери динамического давления на входе и выходе из канала, Па;

$P_{\text{пу}}$ – потери давления в пылеуловителе, Па.

При движении воздуха в каналах пневмосистемы давление расходуется на преодоление трения о стенки, местных сопротивлений, сопротивление зернового слоя, на перемещение и подъем удаляемых примесей.

Потери давления на трение в трубопроводах определяют по формуле:

$$P_{\text{тр}} = \lambda \cdot l / d \cdot \rho \cdot V^2 / 2 \quad (2.4)$$

где - $P_{\text{тр}}$ - потери давления на трение, Па;

λ - коэффициент сопротивления трения;

l и d - длина и диаметр трубопровода, м;

ρ - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V - скорость воздуха, м/с.

Коэффициент сопротивления трения воздухопроводов с шероховатыми металлическими стенками с достаточной для практических целей точностью можно определить по упрощенной формуле:

$$\lambda = 0,0125 + 0,0011/d_{\text{экв}} \quad (2.5)$$

где - $d_{\text{экв}}$ - эквивалентный диаметр, м.

Если воздухопровод имеет прямоугольное сечение, то при равенстве средних скоростей в круглой и прямоугольной трубах эквивалентный диаметр находится по выражению:

$$d_{\text{экв}} = 2ab/(a+b), \quad (2.6)$$

где a и b - глубина и ширина воздухопровода, м.

Зная, что $l = H_1 + H_2 = 0,9 + 0,255 = 1,155$ м; $\rho = 1,2$ кг/м³; $V = 9,2$ м/с; $a = 0,17$ м; $b = 0,8$ м.

Получим, что:

$$\begin{aligned} d_{\text{экв}} &= 2 \cdot 0,17 \cdot 0,8 / (0,17 + 0,8) = 1,08 \text{ м} \\ \lambda &= 0,0125 + 0,0011 / 1,08 = 0,116 \\ P_{\text{тр}} &= 0,116 \cdot 1,155 / 1,08 \cdot 1,2 \cdot 9,2^2 / 2 = 61 \text{ Па} \end{aligned}$$

Потери давления на преодоление местных сопротивлений обуславливаются изменением значения и направления скорости потока в фасонных воздухопроводах и вычисляются по формуле:

$$P_{\text{м.с}} = \zeta \cdot \rho \cdot V^2 / 2, \quad (2.7)$$

где - $P_{\text{м.с}}$ - потери давления на преодоление местных сопротивлений, Па;

ζ - коэффициент местного сопротивления (при входе в трубу с острыми краями $\zeta = 0,5$).

$$P_{\text{м.с}} = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 9,2^2 / 2 = 25 \text{ Па}$$

Потери давления на преодоление сопротивления зернового слоя у большинства существующих зерноочистительных машин составляют $P_z = 50 \dots 150$ Па. Большие значения относятся к высокопроизводительным

машинам с высокими удельными нагрузками. Для нашего случая принимаем $P_3=100$ Па.

Влияние механических примесей в воздухе и транспортируемого материала на увеличение потерь давления, подсчитанных для чистого воздуха, можно определить по упрощенной формуле:

$$P_{\text{см}}=P_{\text{в}} \cdot (1+K_0 \cdot \mu), \quad (2.8)$$

где - $P_{\text{см}}$ - потери давления, Па;

$P_{\text{в}}$ - потери давления воздуха, Па;

K_0 - коэффициент, зависящий от вида примесей, концентрации смеси, скорости и состояния потока, размеров воздухопровода и других факторов ($K_0=0,75$);

μ_0 - коэффициент концентрации смеси, определяемый отношением массы перемещаемого материала к массе воздуха в единицу времени ($\mu_0 \leq 0,3$).

Потери давления воздуха определяются по формуле:

$$P_{\text{в}}=P_{\text{тр}}+P_{\text{мс}}, \quad (2.9)$$

где - $P_{\text{в}}$ - потери давления воздуха, Па;

$P_{\text{тр}}$ - потери давления на трение о стенки, Па;

$P_{\text{мс}}$ - потери давления на преодоление местных сопротивлений, Па.

Зная, что $P_{\text{тр}}=61$ Па; $P_{\text{мс}}=25$ Па; находим:

$$P_{\text{в}}=61+25=86 \text{ Па}$$

$$P_{\text{см}}=86 \cdot (1+0,75 \cdot 0,2)=98 \text{ Па}$$

Потери давления на подъем частиц в вертикальных и наклонных воздухопроводах определяют по формуле:

$$P_{\text{верт}}=\rho \cdot \dot{g} \cdot l_{\text{н}} \cdot \sin \alpha \cdot \mu_0 \quad (2.10)$$

где - $P_{\text{верт}}$ - потери давления на подъем частиц в воздухопроводах, Па;

ρ - плотность воздуха, кг/м³;

$\dot{g}$ - ускорение земного притяжения, м/с²;

l - длина воздухопровода, м;

α - угол наклона воздухопровода к горизонту, град.

$$P_{\text{верт}} = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 1,155 \cdot \sin 12 \cdot 0,2 = 0,56 \text{ Па}$$

Общие потери статического давления в воздушных каналах определяют по формуле:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{см}} + P_{\text{з}} + P_{\text{верт}}, \quad (2.11)$$

где $P_{\text{к}}$ – общие статические потери, Па.

$$P_{\text{к}} = 98 + 100 + 0,56 = 198,56 \text{ Па}$$

Потери динамического давления в рабочей зоне определяют по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \rho \cdot V^2 / 2, \quad (2.12)$$

где $P_{\text{дв}}$ – потери динамического давления, Па.

$$P_{\text{дв}} = 1,2 \cdot 9,2^2 / 2 = 50 \text{ Па}$$

В современных конструкциях потери давления в пылеуловителе зерноочистительных машин составляет 200...300 Па. Принимаем $P_{\text{пу}} = 250$ Па.

В результате получаем:

$$P_{\text{пн}} = 198,56 + 50 + 250 = 498,56 \text{ Па}$$

Таким образом, знание расхода воздуха и величин местных сопротивлений пневмосистемы, позволяют определить габаритные размеры пневмосепаратора.

Мощность электропривода определяется по следующей формуле:

$$N = Q_{\text{в}} \cdot H / 1000 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (2.13)$$

где H – суммарные потери сил давления в установке, Па;

$\eta_{\text{в}}$ – КПД активатора;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД электродвигателя (при посадке колеса на вал электродвигателя $\eta_{\text{п}} = 1$;

при соединении валов муфтой $\eta_{\text{п}} = 0,98$; при клиноременной передаче $\eta_{\text{п}} = 0,95$).

$$N=1,8 \cdot 1200 / 1000 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 2,5 \text{ кВт}$$

Выбираем электродвигатель следующего типа АИР132М8, мощностью которого 3 кВт, число оборотов 1500 об/мин.

Затраты на электроэнергию определяются по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_3 = N \cdot t_{\text{см}}, \quad (2.14)$$

где- $t_{\text{см}}$ – время работы машины за смену, ч ($t_{\text{см}}=8$ ч);

N – мощность электродвигателя, кВт ($N=3$ кВт).

$$\mathcal{E}_3 = 3 \cdot 8 = 24 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Выполненный расчет позволяет сделать вывод, что разрабатываемый нами пневматический сепаратора достаточно мало потребляет электроэнергии и может быть эффективна в работе, как отдельно, так и в комплексе с другими машинами в условиях постоянного роста цен на энергоносители.

2.3 Конструктивные расчеты

2.3.1 Расчеты конструктивных параметров пневматического сепаратора

Расчет будем производить для болтов, которые будут использоваться для крепления мотор-редуктора к его раме.

Для крепления мотор-редуктора используется четыре болта, выполненных из стали класса прочности 3,6. На болты действует сила $F=1$ кН. Требуется определить диаметр болтов. Нагрузка постоянная.

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

Определим допускаемое напряжение растяжения по формуле:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[S_T]}, \quad (2.15)$$

где $[\sigma]_p$ - допускаемое напряжение растяжения, Н/мм²;

σ_T - предел текучести, Н/мм;

$[S_T]$ - коэффициент запаса прочности.

$$[\sigma_p] = \frac{200}{5} = 40 \text{ Н/мм}^2;$$

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

Определим необходимую силу для затяжки болта по следующей формуле:

$$F_0 = \frac{F \cdot K}{fzi}, \quad (2.16)$$

где K - коэффициент запаса по сдвигу деталей;

F - внешняя сила, кН;

f - коэффициент трения;

i - число стыков;

z - число болтов.

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

3. Определим расчетную силу затяжки болтов по формуле:

$$F_{\text{расч}} = 1,3 \cdot F_0, \quad (2.17)$$

Получим:

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

4. Расчетный диаметр резьбы определяется по формуле:

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{расч}}}{\pi \cdot [\sigma_p]}}, \quad (2.18)$$

где d_p - расчетный диаметр резьбы, мм;

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

$[\sigma]_p$ - допускаемое напряжение растяжения, Н/мм²;

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

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

Проверим правильность выбора болта по следующей зависимости:

$$d_p = d - 0,94 \cdot P > 10,1 \quad (2.19)$$

Таким образом, получаем:

$$\begin{aligned} d_p &= 12 - 0,94 \cdot 1,75 = 10,4 \text{ мм}; \\ 10,4 &> 10,1. \end{aligned}$$

Следовательно расчет произведен правильно, болт М12 подобран правильно и пригоден к применению.

5. Расчет сварного соединения

При расчете сварного соединения на прочность в первую очередь необходимо знать площадь поперечного сечения сварного шва.

Перемножая толщину сварного шва на его длину, получим площадь поперечного сечения сварного шва. При растяжении допускаемое усилие в сварном соединении определяется по следующей формуле:

$$P_p = \sigma_p \cdot S \cdot l \quad (2.20)$$

При сжатии:

$$P_{сж} = \sigma_{сж} \cdot S \cdot l \quad (2.21)$$

где l - длина шва, мм;

S - толщина соединяемых элементов, мм;

σ_p - допускаемое напряжение в сварном шве при растяжении,
 $\sigma_p = 140 \text{ МПа}$;

$\sigma_{сж}$ - допускаемое напряжение в сварном шве при сжатии, $\sigma_{сж} = 140 \text{ МПа}$.

Отсюда:

$$P_p = 140 \cdot 3 \cdot 30 = 12600 \text{ МПа/мм}$$

В нашем случае растяжение и сжатие в допускаемом напряжении равняется 12600 МПа/мм.

6. Расчет шпонок.

Рабочие грани призматической шпонки проверяют на смятие, а сечение - на срез.

Условие прочности на смятие:

$$[T_{\max}] = 0,5 \cdot d \cdot K \cdot l \cdot [\sigma_{\text{см}}] \quad (2.22)$$

где $[T_{\max}]$ - наибольший допускаемый вращающий момент, Н/м;

d - диаметр вала, мм;

l - рабочая длина шпонки, мм;

$[\sigma_{\text{см}}]$ - допускаемое напряжение смятия, МПа.

$$[T_{\max}] = 0,5 \cdot 20 \cdot 2,5 \cdot 16 \cdot 150 = 60 \text{ кН/м}$$

Условия прочности сечения на срез [27]:

$$[T_{\max}] = 0,5(d+K) \cdot b \cdot l \cdot [\tau_{\text{ср}}] \quad (2.23)$$

где b - ширина шпонки, мм;

$[\tau_{\text{ср}}]$ - допускаемое напряжение среза, МПа.

$$[T_{\max}] = 0,5 \cdot (20 + 2,5) \cdot 6 \cdot 16 \cdot 150 = 162 \text{ кН/м.}$$

Исходя из полученных расчетов, подбираем шпонку на вал барабана-питателя для нашей конструкции пневматического сепаратора.

2.3.2 Расчет вентилятора

Определяем высоту вентилятора:

$$h = \frac{Q_{\text{в}}}{60 \cdot n_{\text{в}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_{\text{го}}^2}{4} \right)}, \quad (2.24)$$

где h – высота метателя, мм;

Q_v – производительность установки, м³/час.

$$Q_v = \frac{Q}{K_1 \cdot \rho_3}, \quad (2.25)$$

$$Q_v = \frac{4000}{0,01 \cdot 1000} = 400 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$h = \frac{400}{60 \cdot 11239 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \right)} = 0,060 \text{ мм}$$

принимаем $h = 60 \text{ мм}$

Определяем мощность необходимую для привода вентилятора:

$$N^1 = \frac{\rho^1 \cdot Q_v \cdot H}{\rho_g \cdot 3600}, \quad (2.26)$$

где N^1 - мощность необходимая для привода вентилятора, кВт;

ρ^1 - плотность воздушно-зерновой среды, кг/ м³

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения

H – напор, создаваемый вентилятором; Па ($H = 4000 \dots 4500 \text{ Па}$)

принимаем $H = 4400 \text{ Па}$:

$$\rho^1 = \rho_g \cdot (1 - K_1) + \rho_3 \cdot K_1, \quad (2.27)$$

где ρ_g - плотность воздуха, $\rho_g = 1,21 \text{ кг/м}^3$

$$\rho^1 = 1,21 \cdot (1 - 0,01) + 750 \cdot 0,01 = 8,6 \text{ кг/м}^3$$

$$N^1 = \frac{8,6 \cdot 400 \cdot 900}{1,21 \cdot 3600} = 710,7 \text{ Вт}$$

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Общий план исследований

Разработанная программа проведения лабораторных и экспериментальных исследований предусматривает:

- ✓ Методику определения коэффициентов цельности ядра и шелушения зерна гречихи;
- ✓ Методику определения эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном пневматическом сепараторе;
- ✓ Обработку результатов экспериментов.

Эксперимент должен быть построен на выборе определенной стратегии, которая сможет решить поставленные задачи при проведении заданного количества опытов. При планировании экспериментов необходимо определить основные свойства факторов, обычно одновременно изменяются несколько факторов. Основные требования, которые предъявляются к совокупности факторов, – совместимость и независимость. Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы, а независимость соответствует возможности установления фактора на любом уровне независимо от уровней других. Планирование исследования определяет весь процесс проведения эксперимента на начальном уровне, что позволит задать минимальное число опытов при одновременном варьировании всеми факторами, которое бы смогло отобразить полную информацию без каких-либо потерь. Факторным экспериментом является тот эксперимент, в котором одновременному варьированию подлежат несколько факторов. Уровни одного фактора эксперимента сочетаются с уровнями всех остальных факторов. Под уровнями факторов понимают значение их величин, которые принимают при варьировании в эксперименте, а факторы – независимые переменные величины, которые влияют на значение отклика – результата опыта зависящего от них.

Выбирая количество опытов зададимся допустимой ошибкой ε , выраженной в долях среднеквадратичного отклонения σ . Результаты многократных измерений должны лежать в пределах $\pm\varepsilon\sigma$, согласно классической теории ошибок измерений. Поэтому можем задаться этим пределом для сокращения числа опытов. При обычных исследованиях в технике доверительная вероятность составляет 0,7-0,9. Следовательно можно принять это значение для проведения эксперимента. На величину прилагаемого усилия разрушения ядрицы и оболочки оказывает влажность исходного зерна гречихи. Наиболее подходящая влажность гречихи для эффективной сепарации составляет от 10 до 14 %, эти значения были проверены в лабораторных условиях. Поэтому при проведении эксперимента гречиха соответствовала заданному диапазону влажности. Для того чтобы сепарация зерна гречихи была эффективной, требуется определенное число оборотов ядра в пневмосепараторе, при котором не будет происходить разрушение ядра.

3.2. Методика определения коэффициентов целостности и шелушения зерна гречихи

Физико-механические и технологические свойства зерна гречихи определялись в соответствии существующих стандартов и методик.

Процесс шелушения должен обеспечить полное отделение оболочек у зерен, поступивших в шелушильные машины. Однако полного отделения пленок у всех зерен ни одна шелушильная машина практически не обеспечивает. Кроме того, при шелушении желательно сохранить целыми как можно больше ядер. Поэтому эффективность шелушения зерна можно оценивать как количественным, так и качественным показателями.

С повышением коэффициента шелушения возрастает, как правило, выход дробленого ядра, причем зависимость между этими величинами нелинейна.

Для каждой культуры и машины количественная характеристика этой зависимости разная, но во всех случаях при достижении какого-то диапазона коэффициента шелушения выход дробленого ядра резко возрастает.

Для исследования показателей коэффициента шелушения и коэффициента целостности ядра, нами были взяты 1 кг партии зерна гречихи с крупоперерабатывающего предприятия (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Партия переработанной гречихи с крупоперерабатывающего предприятия

Определение коэффициентов шелушения и цельности ядра зерна гречихи определяется в следующем порядке. Берется 200 грамм зернового материала гречихи, который взвешивается на весах с точностью до 0,01 грамм (рисунок 3.2). Далее из 200 грамм зерна определяем количество очищенных зёрен, цельных зёрен, дроблёных зёрен в процентном соотношении и по формулам 3.1, 3.2 находим коэффициент шелушения, цельности ядра.



Рисунок 3.2 - Весы CAS SW-1/2к

Для каждой пробы проводим пять определений коэффициентов целостности и шелушения зерна гречихи. Коэффициент целостности и шелушения выводим как среднее арифметическое из этих пяти определений.

Показатели определялись по следующим формулам.

Коэффициент шелушения:

$$K_{ш} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где $K_{ш}$ - коэффициент шелушения зерна, %;

H_1 – содержание нешелушенных зерен в продукте, поступающем на шелушение, %;

H_2 – количество нешелушенных зерен в продукте после шелушения, %.

Коэффициент шелушения является количественным показателем эффективности работы машины.

Качественным показателем процесса шелушения можно считать коэффициент цельности ядра, который рассчитывают по формуле:

$$K_{ц.я} = \frac{B_2 - B_1}{(B_2 - B_1) + (D_2 - D_1) + (M_2 - M_1)}, \quad (3.2)$$

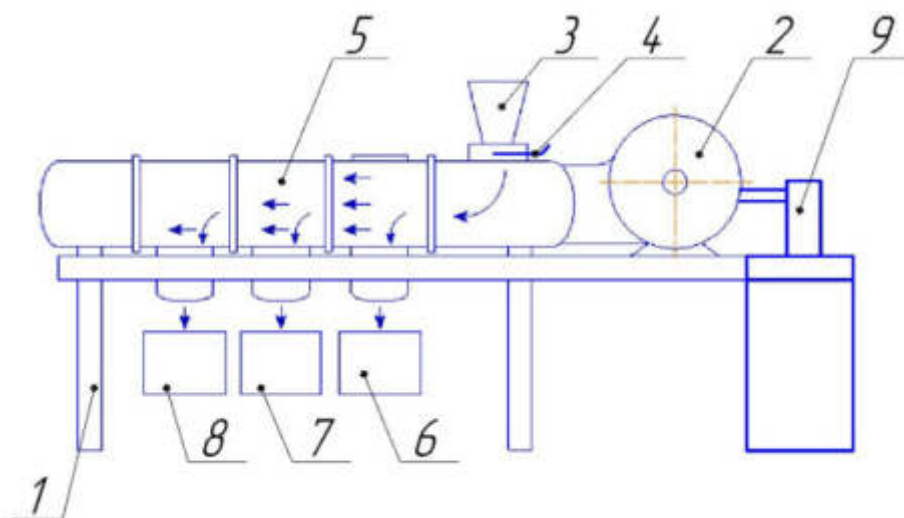
где $K_{ц.я}$ - коэффициент цельности ядра;

B_1 , D_1 и M_1 – соответственно содержание целого, дробленого ядра и мучки в продукте, поступающем на шелушение, %;

B_2 , D_2 , M_2 – соответственно содержание целого, дробленого ядра и мучки в продукте после шелушения, %.

3.3 Методика определения эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе

Для исследования процесса разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе при его работе, нами был проведен ряд экспериментов на предлагаемой лабораторной установке ГПС-1, представленной на рисунке 3.2.



1-рама; 2-вентилятор; 3-загрузочная воронка; 4-дозировующая заслонка; 5-горизонтальная труба; 6,7,8 – бункера; 9-ЛАТР.

Рисунок 3.3 – Схема лабораторной установки

Установка состоит из рамы 1, на которой установлен вентилятор 2, загрузочная воронка 3, дозирующая заслонка 4, горизонтальная труба 5, выгрузные бункера для зерна 6, сечки 7 и лузги 8. Присоединительным

элементом является ЛАТР 9, который регулирует скорость воздушного потока.



Рисунок 3.4 Фотография экспериментальной лабораторной установки

Программа проведения лабораторных исследований.

Для проведения опытов были приготовлены партии продукта шелушения гречихи с различной влажностью. Влажность зерна определялась цифровым влагомером «Фауна». Для каждого опыта использовалась порция зерна массой 5 кг. Сорт гречихи – Саулык.

Для проведения экспериментального опыта на установке, подбираем необходимую скорость потока в горизонтальной трубе ЛАТРОм 9. После этого зерновой материал загружается в бункер, откуда через дозирующую заслонку 4 по скатной поверхности направляется в горизонтальную трубу 5. В этот же канал поступает воздух, который засасывается через вентилятор 2. На входе в канал горизонтальной трубы 5 воздух продувает идущее сходом зерно, вынося их в соответствующие выгрузные бункера.

Программа экспериментальных исследований предусматривает определение разделения количества семян в каналах в зависимости от скорости потока воздуха (V , м/с), выхода отходов (A), нормального зерна (a) и примесей (B).

Показатель эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном пневматическом сепараторе определяли следующим образом:

$$E = \frac{A - \frac{a}{100}}{B} \cdot 100, \quad (3.4)$$

где A – масса отходов, гр;

a – содержание нормального зерна в отходах, % от их массы;

B – масса примесей в исходной смеси, которые могли быть выделены воздушным потоком, гр.

3.4. Методика обработки результатов экспериментов

Одной из важнейших задач статистической обработки экспериментальных данных является нахождение некоторых величин, которые в свою очередь характеризуют выборную статистическую совокупность. Необходимую информацию об эксперименте получают по таким характеристикам:

- среднее значение $-m_{cp}$;
- стандартное отклонение (или среднее квадратическое отклонение) – σ ; стандартная ошибка (или ошибка средней) – σ_{mcp} ;
- коэффициент вариации - W .

Наиболее широко используемая характеристика- средняя арифметическая, которая представляет собой частное от деления суммы значений всех вариантов на их число:

$$m_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad (3.5)$$

Одна из важнейших статистических характеристик является среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеяние значений вариантов по отношению к середине распределения, точнее к средней арифметической:

$$\sigma S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\Pi} (m_{cp} - m_i)}{\Pi}}, \quad \Pi \rightarrow \infty \quad (3.6)$$

где m_{cp} - среднее арифметическое значение;

m_i - значение отдельных вариантов;

Π - повторность, (периодичность).

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 можно вычислить по следующей формуле в виде коэффициента вариации:

$$\nu = \frac{S}{x} \times 100\% \quad (3.7)$$

Одной из основных задач статистического анализа является 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 по формуле вычисляется ошибка средней:

$$\sigma_{m_{cp}} = \frac{\sigma}{\sqrt{\Pi}}. \quad (3.8)$$

Эта величина, выраженная в тех же единицах измерения, что и средняя арифметическая, характеризует ошибку, которая допускается рассматривая m_{cp} в качестве средней генеральной совокупности. Учитывая это, среднюю арифметическую ошибку, как правило, записывают с ее ошибкой - $m_{cp} = \pm \sigma_{m_{cp}}$.

Пределы, в которых находится генеральная совокупность, определяются соотношением:

$$m_{cp} - t\sigma_{m_{cp}} \leq \mu \leq m_{cp} + t\sigma_{m_{cp}}, \quad (3.9)$$

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 93-2003 SE» с помощью программы «Microsoft Excel 2002 (10.4302.4219) SP-2». Уравнения регрессии получены в этой же программе с помощью полиномиальной функции второй степени «добавить линию тренда (аппроксимация и сглаживание)».

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Результаты определения коэффициента шелушения и коэффициента цельности ядра

По описанной в 3 главе методике были определены коэффициенты шелушения и коэффициенты цельности ядра зерна гречихи (рисунки 4.1...4.3). Количество партий зерна, у которых определялись коэффициенты шелушения и коэффициенты цельности ядра – 5.



Рисунок 4.1 – Партия зерна



Рисунок 4.2 – Взвешивание зерна



Рисунок 4.3 – Распределение семян по партиям для определения $K_{ш}$ и $K_{ц.я.}$

Данные анализа партии зерна гречихи по определению коэффициента шелушения зерна приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты исследований по определению коэффициента шелушения зерна гречихи

№	Масса зернового материала с буюсом, г	Содержание нешелушенных зерен в продукте, поступающем на шелушение, %	Количество нешелушенных зерен в продукте после шелушения, %	Коэффициент шелушения, $K_{ш} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100$, %	Среднее значение $K_{ш}$, %
1	2	3	4	5	6
1	200	95,3	25,5	73,2	73,7
2	200	96,1	23,6	75,4	
3	200	94,2	28,90	69,3	

№	Масса зернового материала с бьюксом, г	Содержание нешелушенных зерен в продукте, поступающем на шелушение, %	Количество нешелушенных зерен в продукте после шелушения, %	Коэффициент шелушения, $K_{ш} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100$, %	Сред-нее значение К _ш , %
1	2	3	4	5	6
4	200	95,6	21,97	77	
5	200	94,58	24,96	73,6	
1	200	94,95	21,36	77,5	75,14
2	200	93,40	24,80	73,4	
3	200	96,00	23,37	77,7	
4	200	95,04	24,43	74,2	
5	200	94,08	25,44	72,9	
1	200	95,25	26,58	72	75,7
2	200	96,70	22,04	77,2	
3	200	94,30	23,62	73,09	
4	200	96,34	20,64	78,6	
5	200	97,38	21,69	77,7	
1	200	94,95	21,26	77,6	75,74
2	200	93,40	22,69	75,7	
3	200	94,1	20,28	78,4	
4	200	96,04	24,30	74,6	
5	200	92,08	25,36	72,4	
1	200	94,75	26,02	72,5	74,69
2	200	94,20	23,43	75,12	
3	200	95,80	22,01	77	
4	200	96,84	24,08	75,13	
5	200	95,88	25,14	73,7	

Из таблицы 4.1 видно, что средний коэффициент для каждой партии зерна гречихи соответственно составляет: $K_{ш}=73,7; 75,14; 75,7; 75,74; 74,69\%$.

Данные анализа зерна по определению коэффициента цельности ядра зерна приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты исследований по определению коэффициента цельности ядра зерна гречихи

Номер бюкса, №	Масса зернового материала с бюксом, г	Содержа ние цельного зерна, %	Содержание дроблёного зерна, %	Содержан ие мучки зерна, %	Коэф-т ц. я., $K_{ц.я.} = \frac{B_2}{B_2 + D_2 + M_2}$, %	Среднее значени е $K_{ц.я.}$, %
1	2	3	4	5	6	7
1	200	84,3	13,5	2,2	84,3	86,3
2	200	85,60	12,10	2,3	85,6	
3	200	86,50	12,3	1,2	86,50	
4	200	88,54	9,76	1,7	88,54	
5	200	86,58	11,42	2	86,58	
1	200	85,95	11,95	2,1	85,95	83,9
2	200	81,40	16,3	2,3	81,40	
3	200	83,00	14,9	2,1	83,00	
4	200	84,04	14,06	1,9	84,04	
5	200	85,08	12,72	2,2	85,08	
1	200	86,25	11,95	1,8	86,25	84,2
2	200	83,70	15	1,3	83,70	
3	200	85,30	13,6	1,1	85,30	
4	200	83,34	15,16	1,5	83,34	
5	200	82,38	16,02	1,6	82,38	

Номер бюкса, №	Масса зернового материала с бюксом, г	Содержа ние цельного зерна, %	Содержание дроблёного зерна, %	Содержан ие мучки зерна, %	Коэф-т ц. я., $K_{ц.я} = \frac{B_2}{B_2 + D_2 + M}, \%$	Среднее значени е $K_{ц.я.}, \%$
1	2	3	4	5	6	7
1	200	83,95	14,05	2	83,95	84,5
2	200	83,40	14,5	2,1	83,40	
3	200	84,00	14	2	84,00	
4	200	85,04	13,56	1,4	85,04	
5	200	86,08	12,46	1,5	86,08	
1	200	87,75	10,55	1,7	87,75	84,9
2	200	84,20	13,6	2,2	84,20	
3	200	83,80	14,2	2	83,80	
4	200	85,84	12,56	1,6	85,84	
5	200	82,88	15,72	1,4	82,88	

Из таблицы 4.2 видно, что средний коэффициент для каждой партии зерна соответственно составляет: $K_{ш}=73,7; 75,14; 75,7; 75,74; 74,69\%$.

4.2. Результаты определения эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе

Данное исследование проводилось на разработанной нами, экспериментальной лабораторной установке ГПС-1



Рисунок 4.4 – Подготовка к экспериментам



Рисунок 4.5 – Измерительное оборудование



Рисунок 4.6 – Прведение экспериментов

Результаты экспериментов сведены в таблицу 4.3. Полученные данные позволяют дать оценку возможности эффективности разделения продуктов шелушения после выхода из рабочей зоны горизонтального пневматического сепаратора.

Таблица 4.3 – Экспериментальные данные по определению эффективности разделения продуктов шелушения

Скорость воздушного потока, м/с	Масса отходов (А), кг	Содержание нормального зерна в отходах (а), % от их массы	Масса примесей в исходной смеси, которые могли быть выделены воздушным потоком (Б), кг	Эффективность разделения продуктов шелушения, %
4,00	0,30	1,8	0,4	70
5,66	0,36	2	0,5	73
6,93	0,34	1,4	0,41	80
8,0	0,39	1,7	0,5	75
8,94	0,41	2	0,5	77

Как видно из результатов экспериментов исследуемая партия зерна соответствует базисным кондициям для получения крупы и, следовательно, может быть применена для последующих экспериментов.

По полученным экспериментальным данным построены графики эффективности выделения легкой примеси в зависимости от скорости воздушного потока (рисунок 4.7).

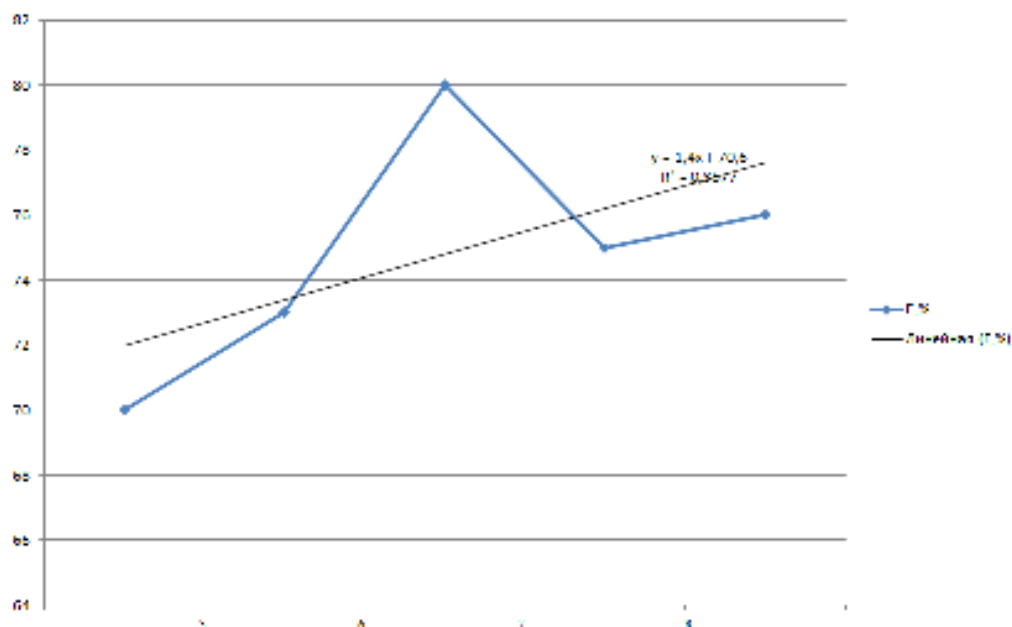


Рисунок 4.7 - График эффективности выделения легкой примеси в зависимости от скорости воздушного потока

Из анализа графика 4.7 следует, что для очистки рассматриваемой гречихи необходимо установить скорость воздушного потока должно быть 6...7 м/с. При этом будет обеспечиваться максимальное выделение примесей и необрушенных зёрен, а потери гречихи будут минимальными.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при проектировании горизонтальных пневматических сепараторов.

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ ПО РАБОТЕ

При выполнении данной научно-исследовательской работы были проанализированы ряд существующих, используемых в сельскохозяйственном производстве горизонтальных пневматических сепараторов зерна. На основе литературно - патентного анализа существующих горизонтальных пневматических сепараторов, применяемых в сельском хозяйстве нами были выделены основные их преимущества и недостатки. Одним из частых недостатков большинства этих машин является трудоемкость перенастройки машины для воздушного сепарирования при переходе на различные культуры.

На основе этого нами предложена усовершенствованная конструкция горизонтального пневматического сепаратора. Основным преимуществом предлагаемого горизонтального пневматического сепаратора является, деление зерновой смеси на два потока, что разрыхляет зерновую смесь, исключает накопление в области подачи в воздушный канал и улучшает процесс пневмосепарации.

Также нами были определены коэффициенты цельности ядра, шелушения зерна гречихи и эффективности разделения продуктов шелушения в горизонтальном воздушном сепараторе.

Как показали опыты, для очистки рассматриваемой гречихи необходимо установить скорость воздушного потока не более 6...7 м/с. При этом будет обеспечиваться максимальное выделение примесей и необрушенных зёрен, а потери гречихи будут минимальными.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при проектировании горизонтальных воздушных сепараторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, Н.Е. Сепаратор для разделения сыпучих смесей по форме и свойствам поверхности: Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. / Н.Е. Авдеев. – М., 1974, № 39, С. 16-17.
2. Авдеев, Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. / Н.Е. Авдеев . - М.: Колос, 1975. – 152 с.
3. Алферов, С. А. Механическая повреждаемость зерна при ударе / С.А. Алферов, А. А. Панов //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1981. – № 3. – С. 50-51
4. Алексеев, Е.Л. Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности / Е.Л. Алексеев, В.Ф. Пахомов. – М.: ВО "Агропромиздат", 1987, 272 с.
5. Алексеева, Е.С. Культура гречихи. История культуры, ботанические и биологические особенности / Е.С. Алексеева, И.Н. Елагин, Л.К.Тараненко и др. – Каменец-Подольский: Издатель Мошак М.И., 2005. – 192 с.
6. Альтерман, А.И. Новые сепарирующие машины для зерна и зернопродуктов / А.И. Альтерман. – Труды ВНИИЗ. М., 1974, вып. 78, С. 124 – 131.
7. Анискин, В.И. К созданию перспективного оборудования для производства зерна /В. И. Анискин // Техника в сельском хозяйстве. 1994. – № 5. – С. 13-15.
8. Анискин, В.И. Методологические изыскания инженерных решений машинных сельскохозяйственных процессов /В.И.Анискин, В.М. Дринча //НТБ ВИМ. – М., 1994. – Вып. 89. – С. 3-7.
9. Бабченко, В.Д. Высокопроизводительные машины для очистки зерна / В.Д. Бабченко, А.М. Корн, А.С. Матвеев. – М.: Сельхозиз, 1982. – 49 с.

10. Батуев, Г.С. Инженерные методы исследования / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубко, А.К. Ефремов, А.А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1969. – 204 с.
11. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н. И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1961. – 538 с.
12. Белиловская, А.С. Соотношение основных частей зерна гречихи / А.С. Белиловская // Труды ВНИИЗ, 1962 г. – С. 20-24.
13. Бессонов, В.Я. Исследование процесса сепарирования зерна на ситах, совершающих круговое поступательное движение в горизонтальной плоскости / В.Я. Бессонов, В.В. Гортинский //Труды ВНИИЗ. – М., – 120 – 1974, вып. 78, С. 165-169.
14. Воронцов, О.С. Элеваторная промышленность, зерносушение и зерноочистка. М.: Колос, 1974. – 426 с.
15. Василенко, П.М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований /П.М. Василенко. – М.: Наука, 1985. – 115 с.
16. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
17. Гинзбург, М.Е. Технология крупяного производства /М.Е. Гинзбург. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
18. Гортинский, В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
19. ГОСТ 10247-85. Семена гречихи. Сортовые и посевные качества // Семена с.-х. культур. Сортовые и посевные качества. – М.: Изд-во стандартов: 1991. – С. 8-11.

20. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. Взамен ГОСТ 12042 66. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
21. ГОСТ 5550-74. Крупа гречневая. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.
22. Демский, А.Б. и др. Оборудование для производства муки и крупы / А.Б. Демский. – М.: Агропромиздат, 2001. – 351 с.
23. Демский, А.Б. Комплексные зерноперерабатывающие установки малой мощности / А.Б. Демский // М.: ДеЛи принт, 2004. – 264 с.
24. Деревенко, В.В. Основы инженерных расчетов и особенности работы центробежной рушки / В.В Деревенко, И.П.Выродов // Журн. Хранение и переработка сельхозсырья. – №1, – 2002. – С. 49-51.
25. Дмитриев А.В. Обоснование параметров пневмомеханического шелушителя зерна гречихи на основе моделирования технологического процесса: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Дмитриев Андрей Владимирович. - Казань, 2003. - 156 с.
26. Егоров, Г.А. Технология муки. Технология крупы / Г.А. Егоров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос С, 2005. – 296 с.
27. Ермаков, С.М. Математическая теория оптимального эксперимента. /С.М. Ермаков, А.А. Жиглявский. – М.: Наука. Главная редакция физико - математической литературы. – 1987. – 320 с.
28. Ерман, А.Н. Оценка технологических свойств гречихи /А.Н. Ерман, С.И. Фонарева, Ю.Ф. Ячменев //Мукомольно-элеваторная промышленность. 1971. – №4. – С. 8-9.
29. Жислин, Я.М. Исследование процесса аэродинамического шелушения зерна и создание аэрошелушительной машины /Я.М. Жислин //Труды ВМИЭКИпродмаш. – 1970. – Вып. 21. – С.93-115.

30. Ильичев, Г.Н. Шелушение зерна гречихи при высокоскоростном истечении из емкости / Г.Н. Ильичев, Л.Е. Мелешкина, С.Б. Есин // Пищ. технология. 1999. – №4. – С. 35-36.
31. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г.Д. Кавецкий, А.В. Королев. – М.: ВО "Агропромиздат", 1991. – 432 с.
32. Казаков, Е.Д. Методы оценки качества зерна / Е.Д. Казаков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 215с.
33. Каминский, В.Д. Влияние водно-тепловой обработки зерна гречихи на пищевую ценность и микрофлору крупы / В.Д. Каминский, М.Б. Бабич, С.Е. Шувалов // Хранение и переработка зерна. 2000. – № 12. – С. 25-27.
34. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н.И. Кленин., В.А. Сакур. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
35. Каргальцев, Ю.Г. Гречиха. /Ю.Г. Каргальцев, Ф.М. Прунков. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 120 с.
36. Комплекс оборудования по производству гречневой крупы //Механизация и электрификация. 1995. – №1. – 24 с.
37. Лопатинский, С.И. Крупы повышенной питательной ценности /С.И. Лопатинский. – М.: Колос, 1978. – 144 с.
38. Марьин, В.А. Ресурсосберегающая переработка зерна гречихи // Хлебопродукты. – 2008. № 4. – С. 54-56.
39. Марьин, В.А. Оптимизация гидротермической обработки зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – № 1. – С. 18-20.

40. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. – М.: ВИМ, 1989. – 60 с.
41. Методические рекомендации по определению показателей энергоемкости производства сельскохозяйственной продукции. – М.: ВНИИЭСХ, 1990. – 200 с.
42. Методические указания по применению математических методов планирования эксперимента в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1973. – 40 с.
43. Невзоров, В.Н. Совершенствование магнитных сепараторов для очистки зерна и муки / В.Н. Невзоров, А.И. Ярум, В.А. Самойлов // Вестник КрасГАУ, вып.5, Красноярск, 2012. – С. 426-431
44. Нелюбов, А.И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров // М.: Машиностроение, 1977. – 192 с.
45. Нуруллин, Э.Г. К вопросу о шелушении зерна крупяных культур /Э.Г. Нуруллин //Инженерная наука сельскохозяйственному производству. Юбилейный сборник научных статей инженерного факультета. Вятская ГСХА, Киров, 2002. – С. 150-154.
46. Нуруллин, Э.Г. Определение механических характеристик зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин //Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. – №5. – С. 24-25.
47. Нуруллин, Э.Г. Переработка зерна гречихи на новой технологической основе /Э.Г. Нуруллин //Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 4. – С. 35-36.
48. Нуруллин, Э.Г. Способы и машины для шелушения зерна (классификация, краткий анализ) //Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев. Казань: ЗАО «Альфа-Т», 2003. – 50 с.

49. Нуруллин, Э.Г. Определение механических характеристик зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин //Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. – №5. – С. 24-25.
50. Нуруллин, Э.Г. Некоторые результаты исследования свойств зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин//Журп. Техника в сельском хозяйстве. 2003 . – №6. – С. 31-32.
51. Нуруллин, Э.Г. Энергетика пневмомеханического шелушения /Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. №8. – С. 9-10.
52. Нуруллин, Э.Г. Энергетическое обоснование пневмомеханического шелушителя /Э.Г. Нуруллин //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №4. – С. 38-40.
53. Очистка зерна от трудноотделимых примесей. – Серия Элеваторная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1967. – 129 с.
54. Панфилов, В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств / В.А. Панфилов М.: Агропромиздат, – 1986, – 245 с.
55. Пат. ПМ 123353 Российская Федерация, МПК В07В 7/01. Устройство для пневматического разделения сыпучих материалов [Текст] / В.А. Самойлов, А.И. Ярум; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Краснояр. гос. аграр. унт. – №2010139085/13; заявл. 22.09.10; опубл.27.12.12.
56. Пат. 2091162 В02В1/08. Способ гидротермической обработки зерна гречихи. А.Ф. Прокопенко, Е.М. Мельников, О.В. Князева Оpubл. 27.09.97. – Бюл. № 27.
57. Пат. 2164170 В02В1/00, 3/00, 5/02. Способ переработки зерна гречихи в крупу. С.А. Баженов, Н.А. Трусов, Н.В. Ньюшков, Н.С. Клещева, В.Н. Власов Оpubл. 20.03.2001. – Бюл. № 8.

58. Семенов, Е.В. Моделирование процесса обработки зерна шелушением с позиций системного подхода /Е.В. Семенов, А.А. Глебов, К.Н. Петров //Хранение и переработка сельхозсырья. 1997. – № 11. – С. 10.
59. Справочник мукомола, крупящика и комбикормщика. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1973. – 355 с.
60. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна /А.Я Соколов. – М.: Колос, 1984. – 445 с.
61. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий / А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Томаров и др. – М.: Колос, 1980. – 383 с.
62. Технология переработки зерна. Под ред. Г.А. Егорова. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.:Колос, 1977. – 376 с.
63. Фесенко, Н.Ф. Оценка технологических свойств селекционных образцов гречихи /Н.Ф. Фесенко, П.И. Шумилин //Селекция и семеноводство. 1973. – №6. – С. 12-14.
64. Чевокин, А.А. Комплексная технология переработки гречихи с утилизацией лузги : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / А.А. Чевокин. – М., 2008. – 202 с.
65. Чижигов, А.Г. Операционная технология послеуборочной обработки зерна / А.Г. Чижигов, В.Д. Бабченко, Е.Е. Машков. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 192 с.
66. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента/Х. Шенк. М.: Мир, 1972. – 133 с.
67. Ярум, А.И. Совершенствование конструкции центробежного зерношелушителя / А.И. Ярум, В.Н. Невзоров, В.А. Самойлов // Проблемы современной аграрной науки. Краснояр.гос.аграр.ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 228-230.

68. Ярум, А.И. Совершенствование технологического процесса сушки гречихи / А.И. Ярум, В.Н. Невзоров, В.Н.Холопов, В.А. Самойлов // Проблемы современной аграрной науки. Краснояр.гос.аграр.ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 231-232.

69. Ярум, А.И. Технологическое оборудование для модернизации процессов переработки гречихи / А.И. Ярум, В.Н. Невзоров, В.А. Самойлов // Проблемы современной аграрной науки. Краснояр.гос.аграр.ун-т. – Красноярск, 2013. – С. 152-155.

ПРИЛОЖЕНИЯ