

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

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО
ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ**

Магистрант _____ Гайбадуллин Р.Р.

Научный руководитель,
д.т.н., профессор _____ Нуруллин Э.Г.

Рецензент, д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол № ____ от _____ 2020 г.)

Руководитель магистерской программы _____ Зиганшин Б.Г.

Казань – 2020 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	8
1.1 Основы технологии крупяного производства	9
1.2 Классификация способов и машин для шелушения крупных культур	13
1.3 Анализ конструктивно-технологических схем шелушителей	20
1.4 Краткие выводы. Цель и задачи исследований	27
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ	31
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы пневмомеханического шелушителя	31
2.2 Обоснование параметров броскового вентилятора	33
2.3 Обоснование параметров шелушильной камеры	41
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	48
3.1 Программа экспериментальных исследований	48
3.2 Методика выбора предмета шелушения и повторности опытов	48
3.3 Методика определения влажности зерна гречихи	49
3.4 Методика исследования влияния влажности зерна и типа рабочей поверхности на величину деформирующей силы	51
3.5 Методика обработки результатов экспериментальных данных	55
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	59
4.1 Экспериментальное определение зависимости деформации зерна гречихи от влажности	59

4.2	Экспериментальное обоснование	типа рабочей	
поверхности.....	61		

5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА		
	ЭФФЕКТИВНОСТИ	ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО	
ШЕЛУШИТЕЛЯ.....	66		

5.1	Сравнительные технико-экономические и технологические		
показатели		пневмомеханического	
шелушителя.....	66		

5.2	Энергетическая	оценка	пневмомеханического
шелушителя.....	72		

5.3	Практические рекомендации по использованию		
пневмомеханического	шелушителя	зерна	
гречихи.....	74		

ВЫВОДЫ.....	7
6	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ	
ЛИТЕРАТУРЫ.....	78

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На современном этапе развития сельского хозяйства большое внимание уделяется интенсификации переработке продукции растениеводства, которая в свою очередь требует создания новейшего сельскохозяйственного оборудования, применения новых технологий на базе достижений науки и техники. Такая задача стоит и в области переработки масленичных культур. При переработке масленичных культур получают пищевые продукты, которые отличаются повышенным содержанием белка и жира, высокими вкусовыми качествами, питательностью.

Имеющийся в литературе экспериментальный и теоретический материал по исследованию технологий и устройств для шелушения показывает наличие широкого спектра технологий, базирующихся на применении различных способов и машин для шелушения масленичных культур.

Наиболее прогрессивным и перспективным развитием производства является разработка технологий с применением комплексных способов воздействия на зерно, в результате которых повышается производительность технологической линии и качество получаемой продукции. Также установки комбинированного типа наиболее экономичны, отличаются простотой и надежностью конструктивных элементов, позволяют получать экономически чистую продукцию, улучшать санитарно-гигиенические условия труда.

Целью данной работы является повышение эффективности шелушения зерна гречихи на основе разработки и исследования шелушителя пневмомеханического типа.

Объект исследования. Пневмомеханический шелушитель зерна гречихи.

Предмет исследования. Закономерности шелушения зерна гречихи в пневмомеханическом шелушителе, зависимости показателей

технологической эффективности от конструктивно-технологических параметров.

Методика и методы исследования Теоретическая часть исследования основана на методах и законах механики и положений аналитической геометрии. Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях, где применены действующие общепринятые методики. Полученные в экспериментальных исследованиях данные обрабатывались при помощи методов математической статистики.

Научная новизна Получены закономерности шелушения зерна гречихи при взаимодействии с рабочими органами пневмомеханического шелушителя, позволившие обосновать его рациональные конструктивно-технологические параметры, обеспечивающие высокие показатели технологической эффективности.

На защиту выносятся следующие основные положения

- конструктивно-технологическая схема нового пневмомеханического шелушителя;
- теоретические зависимости по обоснованию и определению формы рабочих элементов и параметров пневмомеханического шелушителя;
- результаты экспериментальных исследований шелушения зерна гречихи;
- технико-экономические показатели работы пневмомеханического шелушителя.

Теоретическая и практическая значимость Теоретическую значимость работы составляет совокупность сформулированных научных положений и результатов экспериментальных исследований по обоснованию и разработке пневмомеханического шелушителя. Для практики существенное значение имеет возможность его эффективного использования в условиях сельскохозяйственных предприятий и встраивания в технологические линии зерноперерабатывающих предприятий.

Структура и объем работы Диссертация написана на русском языке, содержит введение, четыре раздела, выводы. Список использованной литературы содержит 41 наименование.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Основы технологии крупяного производства

Обеспечение населения страны продовольствием – самая важная задача сельского хозяйства. Большую долю в получаемом объеме продовольствия занимает крупа, как один из ценных пищевых продуктов. Изделия из нее обладают высокими пищевыми и вкусовыми свойствами, хорошей усвояемостью и другими достоинствами. Ассортимент получаемых круп имеет широкий спектр. Отечественные крупяные заводы вырабатывают крупу из следующих видов зерновых культур: гречихи, риса, проса, овса, ячменя, кукурузы, пшеницы, бобовой культуры – гороха. В небольших количествах вырабатывается крупа из чумизы, сорго, чечевицы.

В зависимости от того, каким способом произведена крупа, ее подразделяют на следующие виды: недробленая, дробленая, дробленая шлифованная, крупа повышенной пищевой ценности, полученная из нескольких различных видов крупы, крупа не требующая варки [7, 19].

Технологический процесс производства крупы обычно состоит из двух этапов: подготовительного и шелушильного. На первом этапе зерно подвергается очистке от примесей, гидротермической обработке и разделению на фракции. На этапе шелушения снимаются цветковые пленки, плодовые оболочки, удаляются зародыши, придается крупе форма и размер, производится сортировка продуктов шелушения.

Направляемое на крупяной завод зерно должно соответствовать определенным нормам качества. Если зерно не соответствует этим нормам, то его подготавливают на элеваторах крупяных заводов, предварительно очищая его, просушивая. От качества подготовки зерна к переработке зависит эффективность всего процесса получения крупы. При этом нельзя смешивать зерно различных сортов, типов и подтипов, так как их технологические свойства существенно различаются.

Для основной отчистки зерна в зерноочистительном отделении в основном используются воздушно-ситовые сепараторы, камнеотделительные машины, триеры. Состав машин, последовательность технологических операций по подготовке зерна к шелушению зависят от вида перерабатываемой культуры и ее засоренности. Это учитывается при построении схемы технологического процесса очистки и подготовки зерна различных культур к шелушению.

Для таких культур, как гречиха, овес, горох, пшеница, кукуруза, при получении крупы, применяют гидротермическую обработку. Она предназначена для целенаправленного изменения технологических свойств зерна, повышения прочности ядра, улучшения отделения цветковых пленок, оболочек, зародыша. При этом для гречихи, овса и гороха применяется горячее кондиционирование с использованием водяного пара, а для пшеницы и кукурузы – холодное кондиционирование.

Для гидротермической обработки крупяного зерна обычно применяют горизонтальный шнековый пропариватель непрерывного действия или аппарат Г. С. Неруша периодического действия [28]. Пар, обладая высокой проникающей способностью, не только омывает наружную поверхность зерна, но и заполняет пространство между его оболочкой и ядром. Так как поверхность зерна имеет более низкую температуру, чем температура пара, то он конденсируется равномерно увлажняя как наружную поверхность зерна, так и внутренние, скрытые поверхности, что и способствует равномерности увлажнения всей зерновки. Продолжительность обработки зерна зависит от его технологических свойств, исходной влажности, технологических параметров пропаривателя.

После пропаривания зерно подвергают сушке в сушилках, а затем охлаждают до температуры, не превышающей более чем на 6...8 °С температуру производственного помещения. Сушка зерна применяется для удаления избыточной влаги, повышения прочности ядра, понижения прочности оболочек и цветковых пленок. Охлаждение пропаренного и

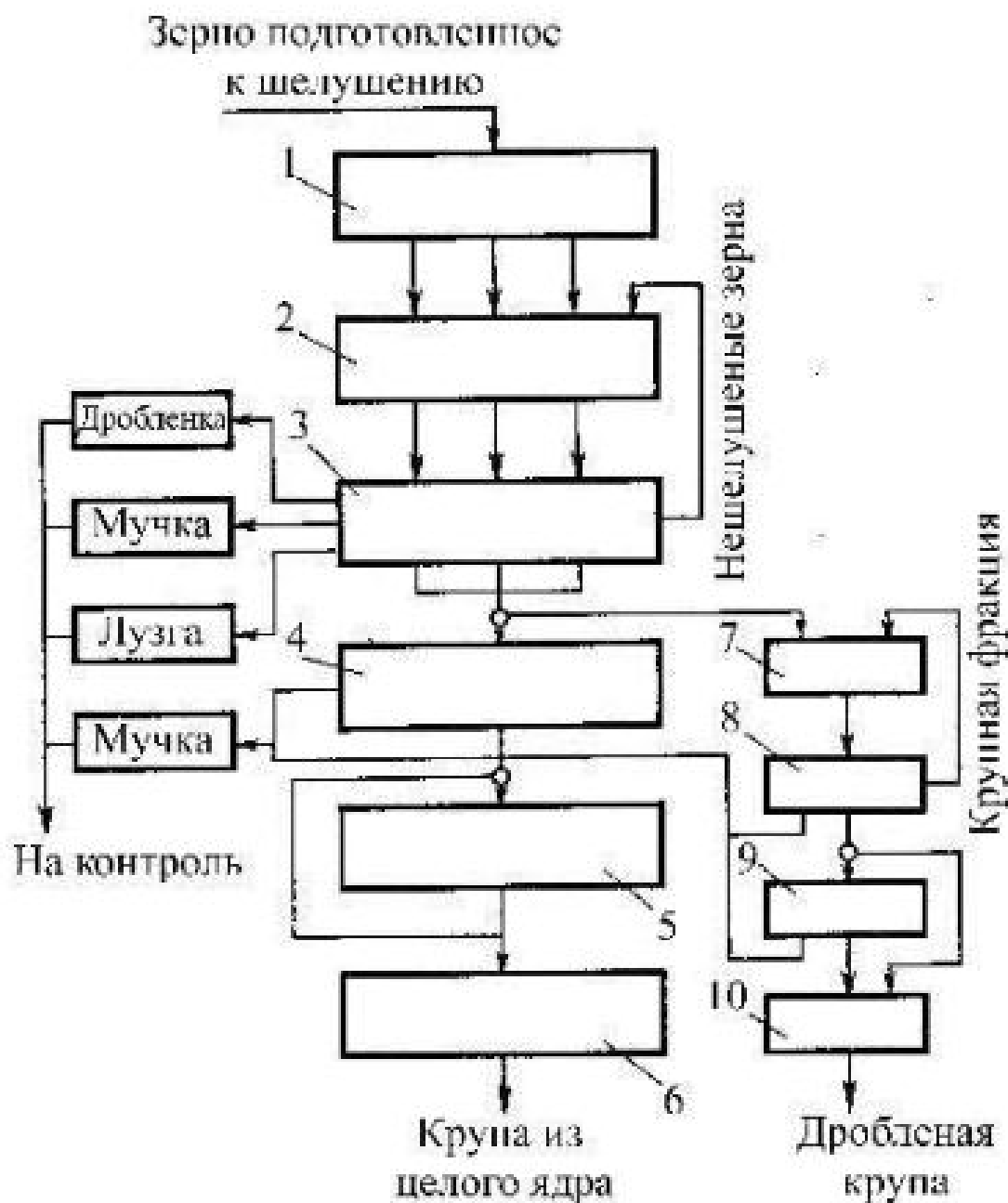
подсушенного крупяного зерна должно происходить постепенно и равномерно, без резких температурных колебаний, чтобы не повредить ядро. Зерно охлаждают в аспирационных колонках.

Оптимальные режимы гидротермической обработки позволяют улучшить технологические свойства крупяного зерна, увеличить выход крупы, повысить пищевые достоинства вырабатываемой крупы. Улучшение пищевых достоинств крупы происходит в результате увеличения количества водорастворимых веществ, повышения набухаемости крупы, сокращения продолжительности ее варки.

Подготовленное на первом этапе зерно направляется в шелушильное отделение, где происходят следующие операции: сортирование зерна на фракции, шелушение, сортирование продуктов шелушения, шлифование и полирование ядра, контроль полученной крупы, побочной продукции и отходов (рисунк 1.1).

Первая операция – сортирование зерна на фракции по крупности, производится для того, чтобы повысить эффективность работы шелушильных установок. После такой сортировки легче будет подобрать необходимый режим шелушения, при котором наиболее качественно будут сниматься оболочка и цветковые пленки. Также сортирование зерна на фракции способствует лучшему разделению получаемого продукта шелушения.

Основная технологическая операция при производстве крупы – шелушение, т.е. операция отделения наружных пленок от зерна. Различное анатомическое строение и технологические свойства крупяных зернокультур вызывает необходимость применения различных способов шелушения и вследствие этого различных шелушильных машин. Подбор машин для шелушения, прежде всего, осуществляется исходя из прочности ядра и связи его с оболочкой. Процесс шелушения является наиболее энергоемким в технологической схеме получения крупы.



1 - сортирование зерна на фракции по крупности, 2 - шелушение зерна, 3 - сортирование продуктов шелушения, 4 - шлифование крупы, 5 - полирование крупы, 6 - контроль крупы из цельного ядра, 7 - дробление ядра, 8 - сортирование продуктов дробления, 9 - шлифование дробленой крупы, 10 - контроль дробленой крупы.

Рисунок 1.1 – Схема технологического процесса шелушения зерна

После шелушения возникает необходимость сортировки полученного продукта, который состоит из шелушенных и нешелушенных зерен, дробленого ядра, лузги и мучки. Поскольку физико-механические и технологические свойства мучки, дробленки и лузги существенно отличаются от физико-механических и технологических свойств шелушенного и нешелушенного зерна, то их выделение не представляет особых затруднений. Однако разделение шелушенного зерна и нешелушенного связано с некоторыми трудностями из-за незначительного различия их строения. Поэтому для их разделения применяют машины принцип работы которых основан на сортировке продукта по плотности и состоянию поверхности.

Для повышения потребительских свойств крупы и улучшения ее вида проводят ее шлифование. В процессе шлифования с поверхности шелушенного зерна удаляются семенные или плодовые оболочки, частично алейроновый слой и зародыш, а дробленым частицам придается округлая форма.

При производстве некоторых видов крупы предусмотрено дробление или резание шелушенного или нешелушенного ядра. Такую технологическую операцию применяют при переработке ячменя в перловую и ячневую крупу, пшеницы в Полтавскую крупу, а также овса и кукурузы в дробленую крупу. Для дробления применяют вальцовые станки, дисковые и барабанные дробилки.

Для таких видов крупы как рисовая и гороховая применяют полирование в поставах. Полированная крупа имеет гладкую и блестящую поверхность. Этот процесс способствует повышению доброкачественности ядра, но применяется редко из-за отсутствия качественного оборудования.

Технологический процесс производства крупы завершает контроль полученного продукта. Его применяют индивидуально для различных культур с учетом требований к качеству крупы, побочных продуктов и отходов.

Таким образом анализ основ технологии производства крупяных изделий показал существенное влияние физико-механических и технологических свойств объекта переработки на эффективность процесса и сложность технологической схемы, что должно учитываться при разработке перспективных технологий и машин для шелушения, а также обоснования их параметров.

1.2 Классификация способов и машин для шелушения крупяных культур

Шелушение зерна в крупяном производстве – самый трудоемкий и важный процесс. От эффективности шелушения зависят качество и выход получаемой крупы. Для оценки эффективности шелушения существует несколько показателей: коэффициенты шелушения и целостности ядра, эффективность шелушения.

Коэффициент шелушения $K_{ш}$ определяется по формуле [24, 28]:

$$K_{ш} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (1.1)$$

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

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

Коэффициент целостности ядра $K_{ц.я.}$ находят по следующей формуле [28]:

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

где B – количество целых ядер после шелушения, %;

D – количество дробленых ядер после шелушения, %;

M – выход муки, %.

При оценке эффективности шелушения пользуются двумя показателями: коэффициентом шелушения и коэффициентом целостности ядра. Первый показатель $K_{ш}$ учитывает количественную сторону шелушения и показывает, какое относительное количество зерен ошелушено, а второй показатель $K_{ц.я.}$ – качественную сторону и показывает относительный выход

получаемого продукта. Показатель эффективности шелушения $E_{\text{шел}}$ учитывающий вышеперечисленные коэффициенты будет равен [7]:

$$E_{\text{шел}} = K_{\text{я}} \times K_{\text{ц.я.}} \quad (1.3)$$

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

Все вышеперечисленные показатели главным образом зависят от выбора способа шелушения для перерабатываемой культуры и машины работающей по этому способу. Определяющим, способа шелушения зерна, является его анатомическое строение, физико-технологические свойства (влажность, разность во влажности ядра и оболочки, пленчатость, прочность ядра и его связи с оболочкой, форма зерна и др.).

В настоящее время применяются или находятся на стадиях разработки следующие способы шелушения [21, 28, 29,30].

- шелушение зерна сжатием и сдвигом,
- шелушение многократным или однократным ударом,
- шелушение трением об абразивную поверхность,
- аэродинамическое шелушение,
- пневмомеханическое шелушение,
- пневмогидродинамическое шелушение.

Способ шелушения зерна сжатием и сдвигом основан на воздействии на зерно двух рабочих поверхностей, расстояние между которыми меньше размера зерна. При данном способе обязательно условие движения одной рабочей поверхности относительно другой. Это достигается, когда одна поверхность движется, а другая неподвижна, или одна поверхность движется быстрее относительно другой. Данный способ применяется, в случае если оболочка зерна не срослась с ядром.

Второй способ шелушения основан на принципе однократного или многократного удара зерна о рабочую поверхность шелушителя. Данный способ приемлем как для зерна, где ядро и пленка не срослись, так и для

зерна у которого ядро и плена срослись между собой. При этом для первого случая применяют однократный удар, а для второго случая – многократный. Применение данного способа приводит к образованию большого выхода дробленого зерна, и поэтому не применяется для культур с хрупким ядром. В то же время этот способ незаменим, когда ядро нехрупкое или необходимо получить дробленую крупу.

Способ шелушения трением об абразивную поверхность применяется лишь в случае, когда оболочка зерна и ядро прочно срослись между собой. Находясь в рабочей зоне шелушительного аппарата зерно постоянно подвергается истирающему воздействию абразивной поверхности, которая постепенно соскабливает оболочку со всех сторон зерна.

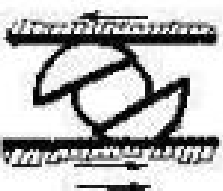
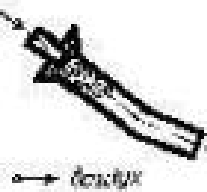
Аэродинамический способ шелушения основан на воздействии на зерно струи сжатого воздуха движущейся с высокой скоростью. При этом струя воздуха увлекает непрерывно поступающее в бункер зерно и переносит его в трубу шелушения. Здесь зерно испытывает ряд разрушающих факторов, такие как трение, перепад давления и др., в результате чего, разрушается связь между оболочкой и зерном и происходит шелушение.

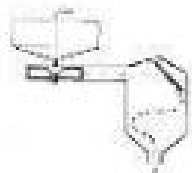
Способ пневмомеханического шелушения основан на разгоне зерна вентилятором на лопасти которого подается продукт, и дальнейшем перемещением его воздушным напором в шелушительную камеру. Там, под действием различных разрушающих сил (сила удара, трения, воздушного напора и т.д.), происходит шелушение.

Пневмогидродинамический способ основан на разгоне потока воздуха до высокой скорости и затягиванием этим потоком зерна перерабатываемой культуры в разгонную трубу. Проходя через разгонную трубу зерно испытывает различные нагрузки, такие как удар зерна струей воздуха, трение струи воздуха об оболочку зерна, трение стенок разгонной трубы о зерно, и т.д. Выходя из разгонной трубы зерно на большой скорости ударяется о жидкую поверхность, где также испытывает ударную нагрузку.

Для разработки и создания перспективных машин, применяемых для шелушения крупных культур, необходимо систематизировать их рабочие органы по принципу воздействия на перерабатываемый продукт, это позволяет дать объективную оценку процессу шелушения с точки зрения технической и технологической целесообразности применения способа шелушения (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация способов шелушения

Способ шелушения	Характеристика Ядра	Форма связи оболочки с ядром	Схема Шелушения
Шелушение зерна сжатием и сдвигом	Ядро хрупкое, малохрупкое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке	
Однократный или многократный удар	Ядро эластичное	Оболочка охватывает ядро и не срывается с ним (однократный удар), срастается с ним (многократный удар)	
Шелушение трением об абразивную поверхность	Ядро прочное	Оболочка плотно соединена с ядром по всей поверхности	
Аэродинамическое шелушение	Ядро нехрупкое, малохрупкое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке	

Пневмомеханическое шелушение	Ядро хрупкое, малохрупкое, эластичное	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке	
Пневмогидродинамическое шелушение	Ядро хрупкое, малохрупкое, эластичное, твердое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке	

Такая систематизация машин для шелушения зерна крупяных культур по наиболее существенным признакам должна ложиться в основу их классификации (рисунок 1.2).

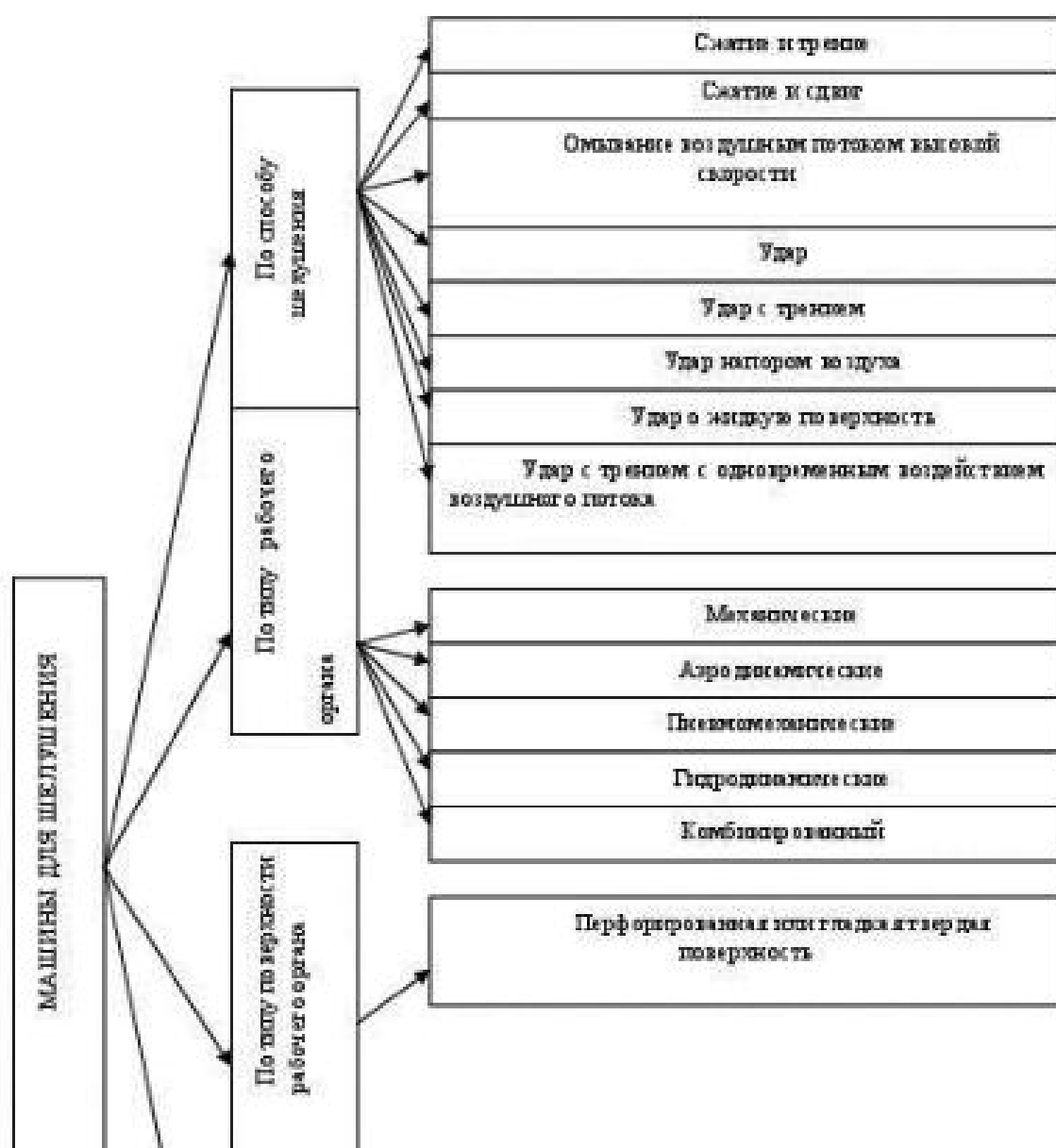




Рисунок 1.2 – Классификация машин для шелушения крупяных культур

Исходя из анализов литературных источников [7, 19, 20, 28, 30, 10], следует отметить, что разработка, конструирование и использование машин для шелушения семян крупяных культур осуществляется в следующих важнейших направлениях [22]:

- совершенствование конструкций серийных установок, основанных на механическом способе воздействия,
- создание машин ударно-инерционного типа;
- разработка установок, основанных на принципе воздействия воздушного потока высокой скорости;
- разработка и обоснование параметров комбинированных установок, основанные на комплексном воздействии перспективных способов шелушения.

Первое направление основано на совершенствовании рабочих органов серийных машин, расположения их относительно подачи материала, а также типа поверхности рабочих органов. Это направление является наиболее развитым.

Положительным у данного направления развития машин для шелушения является - надежность, возможность быстрого внедрения в существующие технологические линии крупозаводов. Однако при использовании таких установок в условиях малых хозяйств из-за невозможности выполнения всех необходимых подготовительных операций намного снижается производительность, степень шелушения и коэффициент извлечения ядра. Все это приводит к повышению себестоимости продукции. Кроме того, элементы износа рабочих органов этой группы машин засоряют крупу.

Машины второго направления составляют установки, основанные на принципе одно и многократного удара. Машины ударно-инерционного типа, в которых зерно шелушится за счет разгона лопастным колесом и удара об эластичную, перфорированную или же гладкую поверхность обечайки, имеют высокую производительность, из-за того, что не требуют предварительного деления материала на фракции. Они дают достаточно высокую степень шелушения, однако степень дробления при этом также остается высоким. Эти машины, в отличие от предыдущего типа, более компактны, производительны, позволяют получать более экологически чистую продукцию, однако они имеют низкий процент извлечения ядра и малую универсальность из-за невозможности в целом регулировать процесс шелушения.

К третьему направлению развития машин для шелушения относятся установки, где зерно шелушится при помощи струи воздушного потока и в результате воздействия на перерабатываемый материал комплекса различных факторов: перепад давлений, разность скоростей движущихся зерен, касательных сил, скачков и уплотнений давления и т.д., возникающих при обтекании продукта высокоскоростной (звуковой и сверхзвуковой)

воздушной струей. К этой группе относятся различные типы аэрошелушительных установок и характеризуются они отсутствием движущихся рабочих органов, вследствие чего продукт шелушения получается наиболее чистым с точки зрения экологии.

Отличительной особенностью аэродинамических шелушительных машин является то, что она дает возможность увеличить общий выход продукта, к тому же резко уменьшается выход дробленой крупы и особенно муки. Они универсальны: есть возможность использования без изменения рабочих органов для шелушения не только гречихи, но и зерна других крупяных культур. Кроме того, установки такого типа дают возможность шелушить без предварительного разделения зерна на фракции по размерам. В этих установках предусмотрена возможность автоматического регулирования всех основных параметров (давления, количества сжатого воздуха и т.д.), в зависимости от физико-технологических свойств объекта переработки. Однако эти установки имеют очень весомый недостаток - это повышенные энергозатраты на процесс аэрошелушения. К тому же машины аэрошелушительного типа имеют сравнительно низкую производительность.

Положительными сторонами этого направления развития машин можно отметить их универсальность, а также возможность переработки зерна без предварительного разделения на фракции и при однократном пропуске. Однако этот тип шелушителей не нашел широкого применения из-за большой энергоемкости и относительно низкой производительности.

Четвертое направление развития машин для шелушения основано на комплексном воздействии различных способов шелушения. Сюда относятся

в основном, установки комбинированного типа. Очевидно, что они более эффективно используют приложенную мощность, а также позволяют реализовать прогрессивные технологические схемы получения крупы, которые дают возможность получать экологически чистый продукт. Кроме того, они более производительны и обладают большей эффективностью и универсальны.

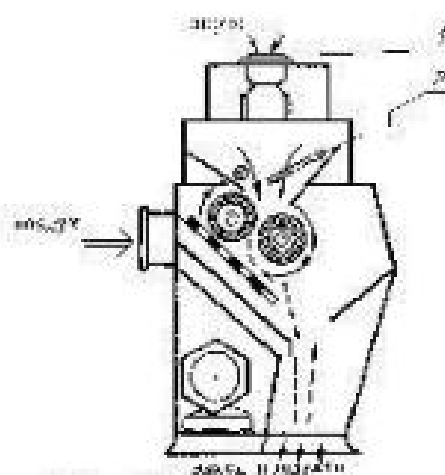
Таким образом, анализ основных направлений развития шелушильных аппаратов и их классификация, а также классификация способов шелушения показывает, что они характеризуются большим разнообразием, значительно отличающихся как по способу шелушения, так и по конструктивному оформлению.

1.3 Анализ конструктивно-технологических схем шелушителей

Исходя из анализов литературных источников, следует отметить, что разработка, конструирование и использование машин для шелушения семян крупяных культур осуществляется в следующих важнейших направлениях [2,4,6,7,8]:

- совершенствование конструкций серийных установок, основанных на механическом способе воздействия;
- создание машин ударно-инерционного типа;
- разработка установок, основанных на принципе воздействия воздушного потока высокой скорости;
- разработка и обоснование параметров комбинированных установок, основанные на комплексном воздействии перспективных способов шелушения.

Первое направление основано на совершенствовании рабочих органов серийных машин, расположения их относительно подачи материала, а также типа поверхности рабочих органов. Это направление является наиболее развитым. Отечественная промышленность выпускает, например, шелушильную машину ЗРД - 2,5 предназначенную для шелушения зерна риса, гречихи и проса (рис. 1.3). Его рабочими органами служат два валька покрытые резиной. Вальки вращаются навстречу друг другу. Зерно поступает в рабочую зону между вальками, сжимается и вследствие разности скоростей рабочих поверхностей происходит сдвиг оболочек и освобождение ядра. Достоинство таких шелушителей состоит в высокой производительности (до 3 т/ч), и эффективности шелушения степень шелушения составляет 85...90 %, коэффициент извлечения ядра 0,80...0,90 %. Однако при эксплуатации этих машин быстро изнашиваются поверхности рабочих органов. Через каждые 3-5 суток следует менять резиновые покрытия, что приводит к удорожанию себестоимости продукции. Кроме того частицы износа



засоряют шелушенное зерно. [11, 30].

Рисунок 1.3 – Схема шелушителя с резиновыми вальцами ЗРД – 2,5: 1 - приемный патрубок, 2 – заслонка реечная

По этому же принципу работает двухдековый шелушильный станок 2ДШС-ЗБ (рис. 1.4). Шелушение здесь происходит при воздействии на материал трех рабочих поверхностей, одна из которых - вращающийся валок,

а две другие - неподвижные деки. Станок объединяет два процесса шелушения без промежуточного обора продуктов шелушения. Недостатком этих машин является необходимость предварительного деления объекта переработки на 5...6 фракций по размерам, вследствие этого снижается производительность и степень шелушения, кроме того, эти машины обладают металлоемкостью.

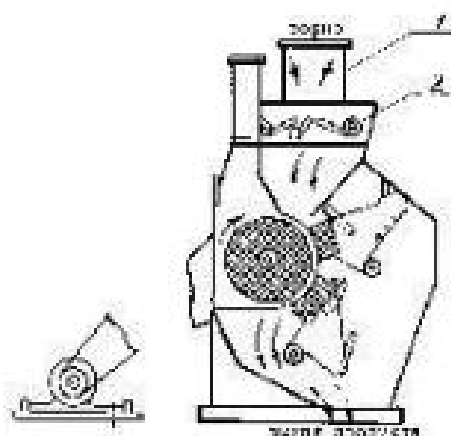


Рис. 1.4. Схема вальцового станка типа 2ДШС-3: 1 – приемный патрубок, 2 – дозирующее устройство.

К этой же группе относятся шелушильные поставы, где роль рабочих органов играют два горизонтально расположенных наждачных круга, один из которых вращается, шелушение происходит за счет сил сжатия и трения об абразивную поверхность. Поставы просты по конструкции, но они имеют очень низкую производительность и невысокий коэффициент извлечения ядра. Кроме того, степень засорения крупы, выработанной в поставках элементами износа рабочих органов наиболее высокая.

Интерес представляет установка для шелушения гречихи, разработанная Воткинским заводом радиотехнологического оборудования. Установка представляет собой сварной каркас, в верхней части которого размещен узел механической обработки зерна, выполненный в виде расположенных горизонтально шлифовальных кругов. Внутри каркаса размещен сортировальный стол. Имеется вентилятор для аспирации. Недостатком этой машины является – низкая производительность (до 100 кг/ч), а также засорение продукта шелушения абразивными частицами [33].

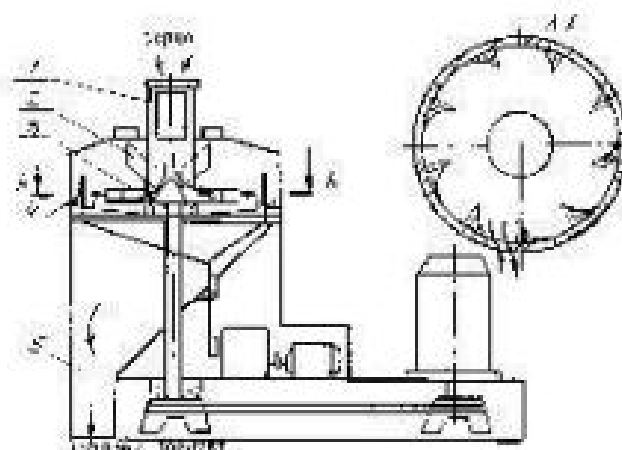
Машины второго направления составляют установки, основанные на принципе одно и многократного удара. Машины ударно-инерционного типа, в которых зерно шелушится за счет разгона лопастным колесом и удара об эластичную, перфорированную или же гладкую поверхность обечайки, имеют высокую производительность, из-за того, что не требуют предварительного деления материала на фракции. Они дают достаточно высокую степень шелушения, однако степень дробления при этом также остается высоким.

В этом отношении интерес представляет устройство для шелушения зерна, разработанное Челябинским комбинатом хлебопродуктов, содержащий лопастной ротор и отражательную деку (рис. 1.5). На наружной поверхности ротора устанавливают необходимый угол вылета зерновок в зависимости от культуры и влажности. При этом повышается качество шелушения, уменьшается износ рабочей поверхности лопасти ротора. Степень шелушения повышается на 2...3 %, а выход дробленого зерна увеличивается на 1...2 %. Однако эта машина также имеет сравнительно низкую производительность.

Фирма «Бюлер» (ФРГ) выпускает шелушильную установку DMNB для шелушения овса, а также модификацию этой установки для шелушения гречихи. Для лучшего использования материала рабочей поверхности отражательное кольцо может опускаться и подниматься и к тому же оно вращается в обратном направлению вращения ротора [16].

Для шелушения крупяных культур, у которых пленки срослись с ядром, Одесским технологическим институтом пищевой промышленности, разработана машина для непрерывного шелушения с дросселирующе-выводящим устройством [36]. Эта установка позволяет стабилизировать давление зерна в рабочей зоне, из-за чего происходит снижение выхода дробленых зерен. Недостатком этой машины является сложность конструкции, малая универсальность.

Таким образом, эти машины, в отличие от предыдущего типа, более компактны, производительны, позволяют получать более экологически чистую продукцию, однако они имеют низкий процент извлечения ядра и малую универсальность из-за невозможности в целом регулировать процесс



шелушения.

Рис. 1.5. Схема шелушителя конструкции Челябинского комбината хлебопродуктов: 1 – патрубок приемный, 2 – дозатор, 3 – лопастной ротор, 4 – отражательная дека, 5 – разгрузочный патрубок.

К третьему направлению развития машин для шелушения относятся установки, где зерно шелушится при помощи струи воздушного потока и в результате воздействия на перерабатываемый материал комплекса различных факторов: перепад давлений, разность скоростей движущихся зерен, касательных сил, скачков и уплотнений давления и т.д., возникающих при обтекании продукта высокоскоростной (звуковой и сверхзвуковой) воздушной струей. К этой группе относятся различные типы аэрошелушительных установок и характеризуются они отсутствием движущихся рабочих органов, вследствие чего продукт шелушения получается наиболее чистым с точки зрения экологии.

Отличительной особенностью аэродинамических шелушительных машин является то, что она дает возможность увеличить общий выход продукта, к тому же резко уменьшается выход дробленой крупы и особенно муки. Они

универсальны: есть возможность использования без изменения рабочих органов для шелушения не только гречихи, но и зерна других крупяных культур. Кроме того, установки такого типа дают возможность шелушить без предварительного деления зерна на фракции по размерам. В этих установках предусмотрена возможность автоматического регулирования всех основных параметров (давления, количества сжатого воздуха и т.д.), в зависимости от физико-технологических свойств объекта переработки. Однако эти установки имеют очень весомый недостаток - это повышенные энергозатраты на процесс аэрошелушения (более чем в два с половиной раза превышающие затраты энергии по сравнению со стандартными технологиями). К тому же машины аэрошелушительного типа имеют сравнительно низкую производительность.

В этом отношении интерес представляет устройство для шелушения зерна, который включает питающий бункер, шелушительную камеру и центробежный осадитель [11, 15]. Шелушение происходит в конической насадке шелушительной камеры с помощью воздушной струи сверхзвуковой скорости, создаваемой компрессором высокого давления. Недостаток данной установки - низкая производительность и очень высокая энергоемкость процесса шелушения.

По этому же принципу работает установка, созданная ВНИИЭКИПРОД-маше [35]. Для повышения производительности она оснащена четырьмя шелушительными камерами, работающими параллельно. Это устройство также оснащено побудителями, представляющими собой лопасти, насаженные на вращающую втулку. Побудители обеспечивают возможность обработки увлажненного зерна. Недостаток этой машины - высокая энергоемкость, сложность конструкции.

Последним достижением отечественной промышленности в рассматриваемом направлении является создание аэрошелушительной установки АШМ-4, которая работает в совокупности с компрессором КСЭ-5М и ресивером В-0,5 (рис. 1.6).

Эксплуатация этих установок показала, что при шелушении гречихи влажностью 11...13 % производительность была в пределах 850 кг/ч при однократном пропуске проса - 450-550 кг/ч. При этом повышение общего выхода готовой продукции по сравнению с действующими нормами по просу составила 2...4 %, по гречихе 6...9 % [33]. Основным недостатком установки - высокий расход энергии. На шелушение одной тонны зерна затрачивается до 75 кВт/ч. Кроме того, у таких установок быстро изнашиваются материалопроводы и трубки смешения.

Положительными сторонами этого направления развития машин можно отметить их универсальность, а также возможность переработки зерна без предварительного разделения на фракции и при однократном пропуске. Однако этот тип шелушителей не нашел широкого применения из-за большой энергоемкости и относительно низкой производительности.

Четвертое направление развития машин для шелушения основано на комплексном воздействии различных способов шелушения. Сюда относятся, в основном, установки комбинированного типа. Эта группа машин мало изучена. Очевидно, что они более эффективно используют приложенную мощность, а также позволяют реализовать прогрессивные технологические схемы получения крупы, которые дают возможность получать экологически чистый продукт. Кроме того, они более производительны и обладают большей эффективностью, компактны и универсальны.

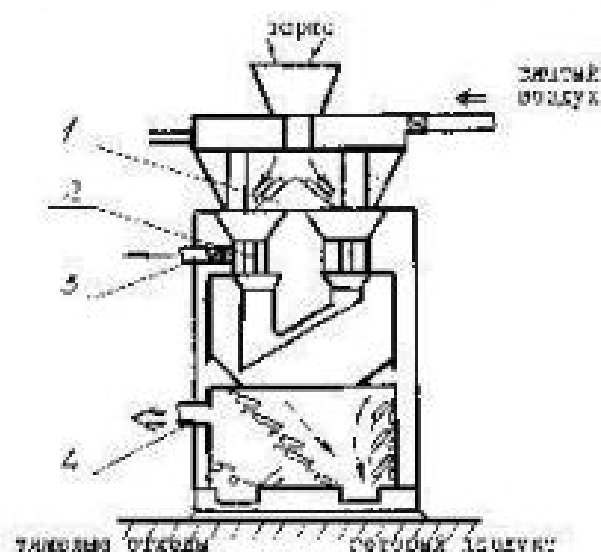


Рис. 1.6. Схема аэрошелушительной установки А1-АШМ-4: 1 – побудитель-дозатор, 2 – трубки смешения, 3 – патрубок удаления отработанного воздуха, 4 – патрубок отсоса отходов.

Анализ основных направлений развития шелушительных аппаратов показывает, что они характеризуются большим разнообразием, значительно отличающихся как по способу шелушения, так и по конструктивному оформлению.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать заключение, что повышение эффективности производства крупы, а в частности – гречневой, возможно за счет создания машин работающих на перспективных принципах комплексного воздействия рабочих органов на перерабатываемый материал. Поэтому более глубокое изучение этих рабочих органов представляет интерес, как с практической, так и с теоретической точки зрения.

1.4 Краткие выводы. Цель и задачи исследований.

На основе работ перечисленных авторов и учета зарубежного опыта научно-исследовательские учреждения, конструкторские организации разрабатывают комплекс машин для переработки зерна крупяных культур, применительно к крупным зерноперерабатывающим предприятиям и условиям сельскохозяйственного товаропроизводителя. Однако, несмотря на заметные успехи в развитии экспериментально-теоретических исследований в области разработки комплекса машин для выработки крупы, в целом задача по разработке научно-обоснованных механико-технологических основ переработки зерна крупяных культур на местах производства пока не решена.

В результате анализа и синтеза различных способов выработки крупы и применяемых технических средств, а также их исследований выявлено, что технологический процесс производства и переработки крупяных культур характеризуется многофакторностью и сложностью взаимосвязи и

взаимовлияния, наличием обратных зависимостей между показателями технологической эффективности и производительностью шелушительных машин, значительной нестабильностью исходного сырья по основным показателям качества, существованием возмущающих факторов, не определенных по количеству и природе.

Анализ классификации наглядно показывает основные направления и пути развития технологических процессов переработки крупяных культур, методы совершенствования процесса взаимодействия рабочих органов с зерном, приемы повышения эффективности использования технических средств на основе интенсификации их взаимодействия с объектом переработки. Из схемы следует, что на современном этапе перспективным направлением интенсификации процесса выработки крупы является разработка и создание машин с комбинированными рабочими органами, обеспечивающие эффективное совмещение операций и реализацию прогрессивных способов их воздействия на объект переработки.

Интенсификация переработки крупяных культур в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя представляет собой комплексную конструкторско-технологическую задачу. Главное направление в решении этой задачи – разработка технических средств, основанных на перспективных, экологических способах воздействия на зерно, с учетом анатомического строения, физико-механических и технологических свойств перерабатываемого объекта. Необходимым условием успешного решения данной задачи является быть использование комплексного подхода, который предусматривает решение вопросов совершенствования технологических процессов с учетом специфики сельскохозяйственного производства, разработку и исследование шелушителей, позволяющих за однократный пропуск материала обеспечить требуемое качество крупы, разработку теоретических положений процесса шелушения зерна крупяных культур и их взаимодействия с поверхностями рабочих органов шелушительных машин.

Выполненный анализ рабочих органов шелушителей, осуществляющих технологический процесс по различным схемам и классификация путей интенсификации, свидетельствуют о том, что существуют различные перспективные направления развития рабочих органов машины для шелушения зерна, которые требуют дальнейшего изучения как в теоретическом, так и в экспериментальном плане. На основании изложенного можно утверждать, что значительный интерес представляют комбинированные рабочие органы пневмомеханического типа, которые могут работать более эффективно не требуя дополнительных операций по подготовке перерабатываемого материала и по сортировке продуктов шелушения. Однако практическое применение их в производстве сдерживается из-за отсутствия рациональных конструктивно-технологических схем и их недостаточной изученности. Поэтому на наш взгляд повышение эффективности переработки крупяных культур в условиях сельского хозяйства на основе интенсификации процесса шелушения зерна совершенствования технологии, разработки и исследования комбинированных машин пневмомеханического типа для шелушения, а также обоснование их важнейших параметров и режимов работы является актуальной задачей.

Исходя из вышесказанного целью данной работы является повышение эффективности шелушения зерна гречихи на основе совершенствования разработки и исследования шелушителя пневмомеханического типа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструктивно-технологическую схему нового пневмомеханического шелушителя.
2. Теоретически обосновать основные конструктивно-технологические параметры пневмомеханического шелушителя.
3. Провести экспериментальные исследования процесса пневмомеханического шелушения зерна гречихи.

4. Выполнить технико-экономическую оценку работы пневмомеханического шелушителя.

Для решения поставленных задач очень важным является определение силы удара зерна о рабочую поверхность шелушителя. В результате исследования литературы, авторских свидетельств и научных разработок было определено, что ультразвуковые преобразователи создают стабильные во времени и в пространстве равномерные ультразвуковые поля в широком диапазоне частот, температур и статического давления. Немаловажным является отсутствие механических воздействии на работу ультразвукового датчика, неограниченный срок действия, большая надежность. При использовании пневмомеханических шелушителей применение пьезоэлектрических преобразователей позволяют проводить измерения силы удара зерна о рабочую поверхность непосредственно при производственном процессе. Эта возможность позволяет автоматизировать частоту вращения вентилятора, а следовательно, оптимизировать процесс шелушения, что позволяет существенно увеличить эффективность работы пневмомеханического шелушителя.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ

2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы пневмомеханического шелушителя

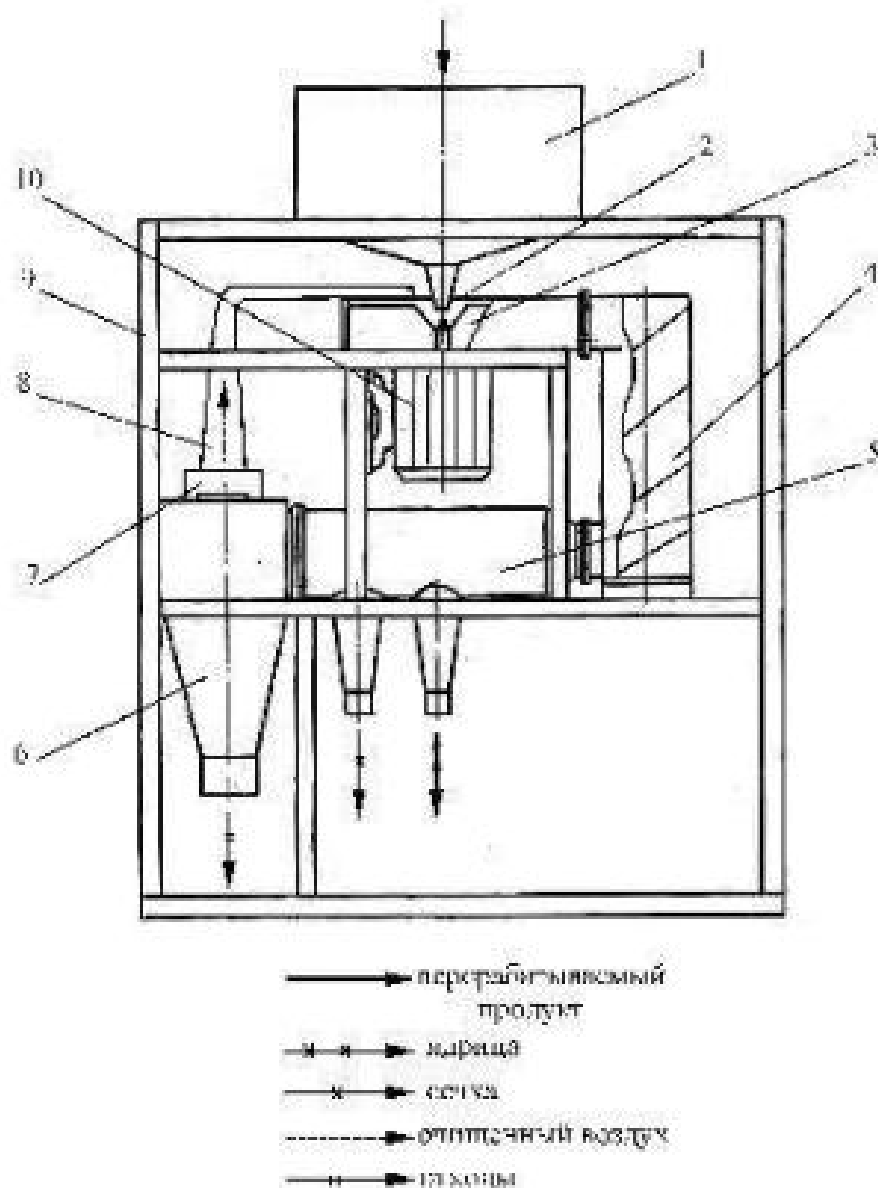
В настоящее время, в сельскохозяйственном и перерабатывающем производстве, наблюдается тенденция интенсификации технологических процессов за счет применения комбинированных рабочих органов и способов. Это дает преимущество в увеличении производительности при одинаковых

затратах, причем существенно снижается энергоемкость технологического процесса. Проведенный в предыдущей главе анализ показал, что существующая технология переработки крупы, а в частности зерна гречихи предусматривает многократное воздействие на продукт рабочих органов машины, целая система машин используется как для приготовления зерна к шелушению (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. Одним из таких способов является пневмомеханический способ шелушения.

Применение пневмомеханического способа воздействия 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. в фермерских хозяйствах, коллективных

предприятиях и других форм собственности созданных на базе бывших колхозов и совхозов.

Осуществление способа пневмомеханического шелушения возможно на предлагаемой установке (рис. 2.1). Разработанная шелушильная установка состоит из бункера-дозатора 1, вентилятора 2 с лопастным колесом 3, шелушильной камеры 4 со сменной спиралеобразной рабочей поверхностью, пневмосепаратора 5, циклона 6 с фильтрующим элементом 7, патрубка 8, рамы 9, электродвигателя 10.



1 — бункер, 2 — бросковый вентилятор, 3 — лопастное колесо
вентилятора,

- 4 – шелушительная камера, 5 – пневмосепаратор, 6 – циклон, 7 –
фильтрующий элемент,
8 – отводной патрубок.

Рисунок 2.1 – Шелушительная установка пневмомеханического типа

Шелушитель работает следующим образом: зерно из бункера 1 дозировано подается на лопастное колесо 3 броскового вентилятора 2, которое разгоняет порцию зерна вместе с воздухом и подает в шелушительную камеру 4, где за счет удара об рабочую поверхность и проскальзывания по ней, а также под воздействием воздушного потока происходит отделение оболочек от ядрицы. Далее продукт шелушения подается в пневмосепаратор 5, где происходит его сортирование. Мучка и пыль оседают в циклоне 6 и фильтрующем 7 элементе. Очищенный воздух по патрубку 8 отводится в вентилятор.

Шелушение осуществляется за счет удара с проскальзыванием об сменную спиралеобразную рабочую поверхность вертикальной шелушительной камеры с одновременным воздействием воздушного потока создаваемого вентилятором. Такое выполнение устройства позволит значительно повысить эффективность шелушения зерна за счет следующего. Во-первых, применяя спиралеобразные рабочие поверхности из различного материала, можно подобрать оптимальную для каждой культуры. Во-вторых, меняя шаг витков спиралеобразной рабочей поверхности, изменяется траектория удара зерна об нее и длина проскальзывания, вследствие чего также можно подобрать оптимальный режим работы.

2.2 Обоснование параметров броскового вентилятора

В установке для пневмомеханического шелушения зерна в качестве разгонного устройства для перерабатываемого продукта используется горизонтально установленный бросковый вентилятор, лопасти ротора которого имеют криволинейную форму. Для определения конструктивных и

кинематических параметров вентилятора необходимо рассмотреть движение зерновки по лопасти (рисунок 2.2).

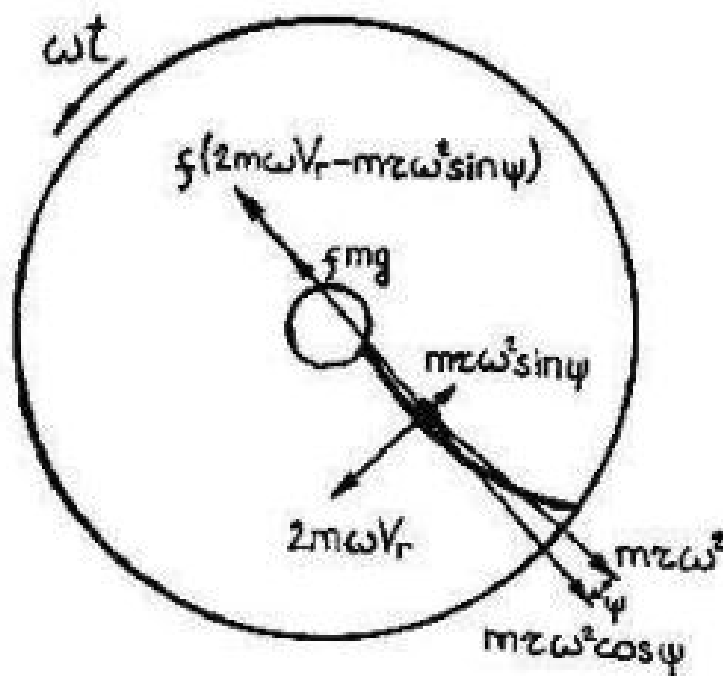


Рисунок 2.2 – Силы, действующие на зерновку при ее движении по криволинейной лопасти броскового вентилятора.

При рассматриваемом движении на частицу действуют следующие силы:

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

Действие вышеперечисленных сил на частицу при ее движении по криволинейной поверхности лопасти рассмотрено П.М. Василенко [18]. На основе анализа этих сил им было выведено дифференциальное уравнение углового перемещения материальной частицы по криволинейной лопасти

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

где ϕ - угловое перемещение частицы в относительном движении.

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

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

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

П.М. Василенко предложил уравнение кривой, представляющее собой уравнение логарифмической спирали [18]:

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

где r_0 - начальное значение координаты r ,

ϕ - полярная координата;

a - постоянная величина

при этом $S' = \sqrt{r'^2 + r^2\phi'^2}$ он выразил как $\sqrt{r'^2 + r^2\phi'^2} = \lambda r'$.

Применение этого условия дает возможность решения уравнения (2.1).

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

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

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

Уравнение (2.3) можно записать в следующем виде:

$$\phi' = \frac{r}{\sqrt{a^2 - r^2}}. \quad (2.4)$$

Дифференцируя и решая уравнение (2.4) получим [19]:

$$\phi = \arcsin \frac{r}{a} + C. \quad (2.5)$$

Постоянную C можно приравнять нулю, вследствие чего получаем

$$r = a \sin \phi, \quad (2.6)$$

где $a = 2r_1$

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

$$x^2 + (y - r_1)^2 = r^2. \quad (2.7)$$

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

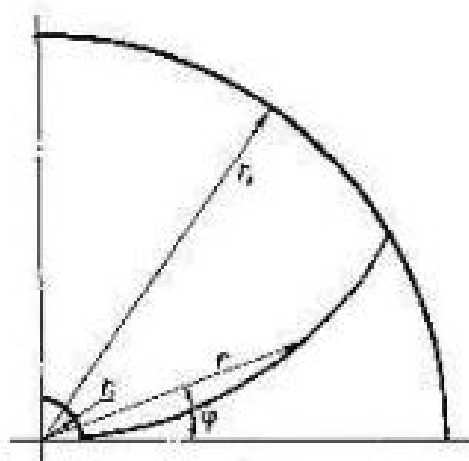


Рисунок 2.3 – Форма лопасти броскового вентилятора

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

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

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

Запишем

$$S' = a\phi', S'' = a\phi'', r' = a \cos \phi \phi'.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (2.1) получаем

$$a^2 \phi' \phi'' = a^2 \omega^2 \sin \phi \cos \phi \phi' - f g a \phi' + f a^2 \omega^2 \sin^2 \phi \phi' - 2 f a^2 \omega \phi'^2. \quad (2.8)$$

Сокращая выражение (2.8) на $a^2 \phi'$ и решая его имеем

$$\alpha'' + 2\omega\alpha' - \omega^2(\sin \alpha - f \cos \alpha) - f\omega^2 = -\frac{2fg}{a}. \quad (2.9)$$

Функции $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ заменим их разложением в степенной ряд ограничиваясь первыми двумя членами, если $\alpha < 1$ [34]:

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

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

Тогда:

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

Следовательно, уравнение (2.9) примет вид:

$$\alpha'' + 2f\omega\alpha' - \omega^2\alpha \left(1 + \frac{f\alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6} \right) = -\frac{2fg}{a}. \quad (2.10)$$

Дальнейшее решение уравнения (2.10) приводит к следующему виду:

$$\phi = \frac{\phi_0 - D}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \omega t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \omega t}) + D, \quad (2.11)$$

$$\dot{\phi} = \frac{(\phi_0 - D)\omega}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{\lambda_1 \omega t} - e^{\lambda_2 \omega t}), \quad (2.12)$$

где $\lambda_1 = \sqrt{f^2 + 1} - f$, $\lambda_2 = -\sqrt{f^2 + 1} + f$, $D = \frac{fg}{2r_1\omega^2}$.

Уравнения (2.11) – уравнение изменения относительного полярного угла при движении частицы по криволинейной лопасти и уравнение (2.12) – уравнение изменения относительной угловой скорости при движении частицы по криволинейной лопасти.

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

Из уравнения (2.11) после подстановки в него конечного значения угла ϕ и других известных постоянных находим значение углового пути частицы при переносном движении $\alpha = \omega t$.

В то же время частица совершит относительное перемещение по лопатке на угол $\phi_1 - \phi_0$.

Поэтому угловое перемещение частицы в абсолютном движении будет

$$\theta = \omega t + (\phi_1 - \phi_0). \quad (2.13)$$

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

Основная функция броскового вентилятора в пневмомеханической шелушильной установке – разгон зерна и подача его на рабочую поверхность. При этом зерновка должна получить достаточную потенциальную энергию необходимую для разрушения ее оболочки. Зная эту энергию, мы можем задать режим работы броскового вентилятора для получения продукции оптимального качества [23].

Поставим цель найти зависимость между энергией обладаемой зерновкой на выходе из броскового вентилятора E и угловой скоростью лопастного диска ω . Для этого рассмотрим уравнение (2.11).

$$\phi = \frac{\phi_0 - D}{2\sqrt{f^2 + 1}} (\lambda_1 e^{\lambda_2 \alpha} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \alpha}) + D, \quad (2.14)$$

где $\alpha = \omega t$;

При расчетах значение D можно не учитывать, так как оно очень мало, поэтому в развернутом виде уравнение (2.14) можно записать так:

$$\phi = \frac{\phi_0}{2\sqrt{f^2 + 1}} \left(\frac{(\sqrt{f^2 + 1} - f)}{(\sqrt{f^2 + 1} + f)e} + (\sqrt{f^2 + 1} + f)e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)\alpha} \right), \quad (2.15)$$

где f - коэффициент трения зерна по поверхности лопастного диска,

r_1 - радиус лопастного диска.

Для дальнейшего решения поставленной задачи найдем значение α путем подстановки известных значений в уравнение (2.15) для конкретно взятого броскового вентилятора.

Далее найдем угловую скорость относительного движения. Запишем уравнение (2.15) в виде:

$$\phi' = \frac{(\phi_0 - D)\omega}{2\sqrt{f^2 + 1}} \left(e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)\omega t} - e^{-(\sqrt{f^2 + 1} + f)\omega t} \right) \quad (2.16)$$

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

$$V_r = 2r_1\phi'. \quad (2.17)$$

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

$$V_e = \omega r_1. \quad (2.18)$$

Обозначим $\frac{(\phi_0 - D)}{2\sqrt{f^2 + 1}} \left(e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)\omega t} - e^{-(\sqrt{f^2 + 1} + f)\omega t} \right) = K$, тогда

$$\phi' = K\omega. \quad (2.19)$$

Зная исходные параметры броскового вентилятора можно найти K .

Для определения скорости срыва зерна с поверхности лопасти рассмотрим план скоростей (рисунок 2.4)

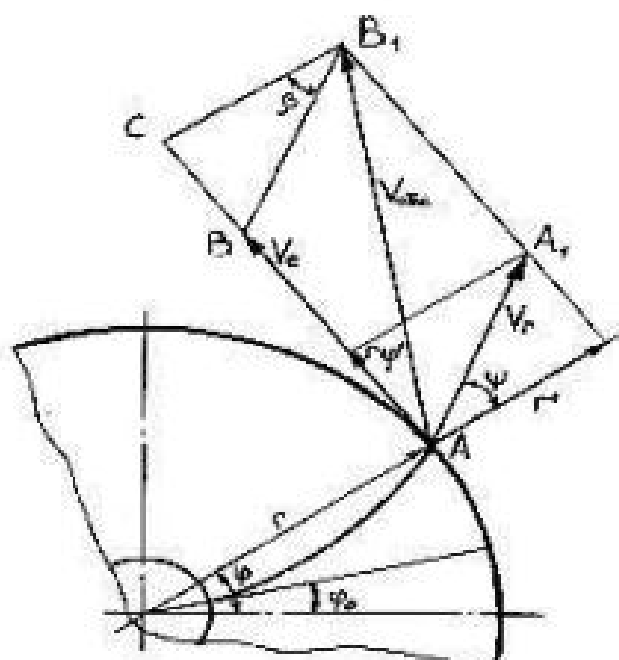


Рисунок 2.4 – К определению скоростей движения зерновки по криволинейной лопасти броскового вентилятора

Пользуясь рисунком 2.4 найдем значение абсолютной скорости V_{abs} :

$$\begin{aligned} V_{abs}^2 &= (V_e + V_r \sin \beta)^2 + (V_r \cos \beta)^2, \\ V_{abs}^2 &= V_e^2 + 2 \sin \beta V_e V_r + V_r^2. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Подставив в это уравнение выражения 2.17, 2.18 получим

$$V_{abs}^2 = \omega^2 r^2 + 4 \sin \beta r r_1 \phi + 4 r_1^2 \phi^2.$$

Учитывая выражение 2.19 можно записать:

$$V_{abs}^2 = \omega^2 (r^2 + 4 r r_1 K \sin \beta + 4 r_1^2 K^2). \quad (2.21)$$

В момент срыва зерновки с диска $r = r_1$, $\sin \beta = \pi/6$ поэтому выражение 2.21. можно записать так

$$V_{abs}^2 = \omega^2 r_1^2 (1 + 2K + 4K^2). \quad (2.22)$$

Для дальнейшего решения поставленной задачи запишем формулу определения энергии разрушения зерна $\square_f$:

$$\begin{aligned} \square_f &= \frac{\square \square_{abs}^2}{2}, \\ E_f &= \frac{\square}{2} \square^2 \square_f^2 (1 + 2\square + 4\square^2). \end{aligned} \quad (2.23)$$

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

$$\Omega = \frac{1}{\Omega_1} \sqrt{\frac{2\Omega_1}{\Omega(1+2\Omega+4\Omega^2)}} \quad (2.24)$$

Таким образом, зная необходимую для шелушения зерна энергию можно определить оптимальную частоту вращения лопастного диска броскового вентилятора, при которой зерно приобретает необходимый импульс для разрушения оболочки с сохранением цельности ядра при взаимодействии с рабочей поверхностью.

2.3 Обоснование параметров шелушильной камеры

Шелушильная камера пневмомеханического шелушителя представляет собой полый цилиндр с патрубками для входа и выхода зернового материала с установленной внутри спиралеобразной поверхностью (рисунок 2.5). Для оптимизации процесса шелушения возможна смена спиралеобразной поверхности на другую, изготовленную из иного материала или с другим шагом и витков.

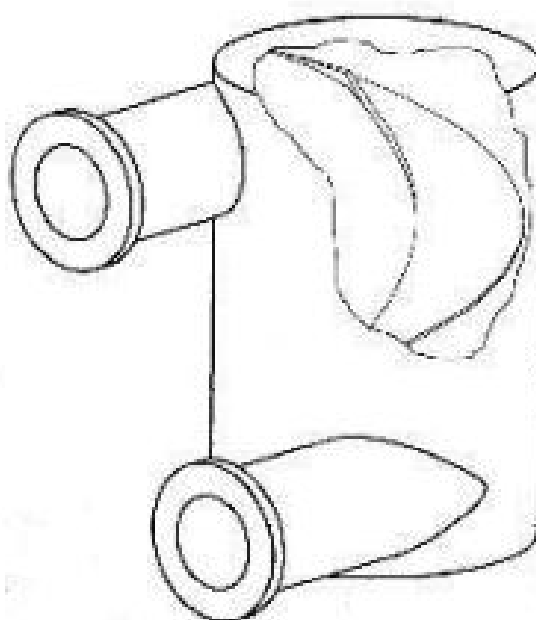


Рисунок 2.5 – Шелушильная камера пневмомеханического шелушителя

При выходе из броскового вентилятора зерно обладает определенной скоростью и ударяется о спиралеобразную поверхность (рисунки 2.6, 2.7).

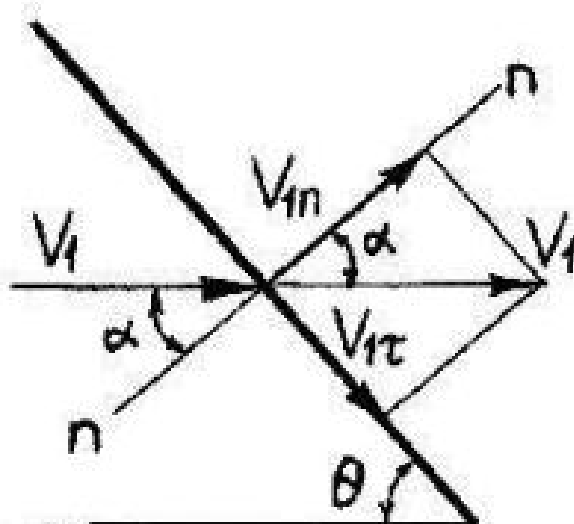


Рисунок 2.6 – Схема скоростей зерна действующих в момент удара его о рабочую поверхность.

Удар происходит под поверхность, а после удара зерно падает на нее и продолжает движение до выхода из камеры. При этом надо заметить, что масса спиралеобразной поверхности во много раз больше массы зерна.

V_1 - скорость полета зерна до удара,

V_{1n} - составляющая скорости зерна вдоль рабочей поверхности;

$V_{1\tau}$ - составляющая скорости зерна по нормали к рабочей поверхности,

α - угол между нормалью и вектором скорости,

θ - угол наклона рабочей поверхности.

Из рисунка можно записать:

$$V_{1n} = V_1 \sin \alpha \quad (2.25)$$

$$V_{1\tau} = V_1 \cos \alpha \quad (2.26)$$

Проекция на ось Ox общей скорости зерна и наклонной плоскости в случае неупругого удара вычисляется по формуле:

$$\square_{\square} = \frac{\frac{\square_1}{\square_2} \square_{1\square} + \square_{2\square}}{\frac{\square_1}{\square_2} + 1} \quad (2.27)$$

Масса неподвижной рабочей поверхности бесконечно велика, а скорость ее равна нулю, т.е. $\square_2 = \infty$, $\square_2 = 0$.

Тогда $\square_{\square} = 0$.

Проекция скорости центра тяжести зерна на ось $\square$ в начале и в конце удара равны, т.е.

$$\square_{1\square} = \square_{2\square} = \square_1 \square \square \square \square \quad (2.28)$$

Проекция скорости центра тяжести зерна на ось $\square$ в конце удара определяется выражением

$$\square_{1\square} = \square_{\square} + \square(\square_{\square} - \square_{1\square}), \quad (2.29)$$

где $\square$ - коэффициент восстановления

Так как $\square_{\square} = 0$, то $\square_{1\square} = -\square \square_{1\square}$. Эта составляющая направлена в противоположную сторону, чем $\square_{1\square}$ (рис. 2.7).

Скорость зерна после удара $\square_1$ равна

$$\square_1 = \square_1 \sqrt{\square \square \square^2 \square + \square^2 \square \square \square^2 \square} \quad (2.30)$$

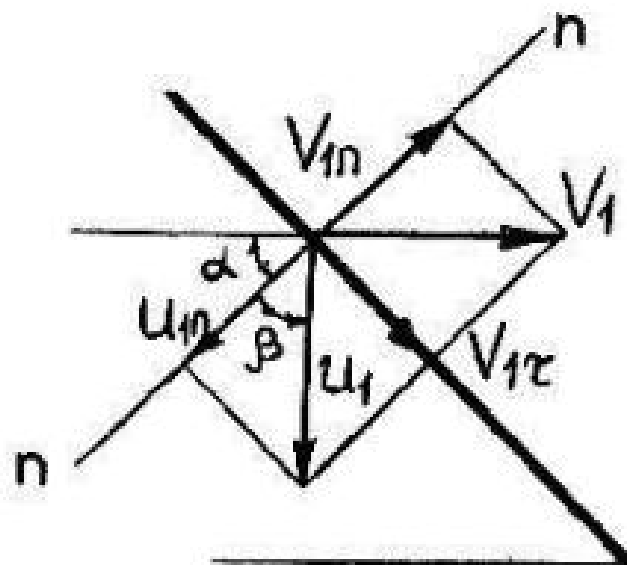


Рисунок 2.7 – Схема скоростей зерна действующих после первого удара его о рабочую поверхность

Кинетическая энергия зерна после удара равна

$$\Pi_2 = \frac{\Pi}{2} (\Pi \Pi^2 \Pi + \Pi^2 \Pi \Pi^2 \Pi) \Pi_1^2. \quad (2.31)$$

Величина Π_2 показывает количество энергии оставшейся у зерна после удара о рабочую поверхность. Величина этой энергии меньше Π_1 - энергии обладаемой зерном до удара. Потеря кинетической энергии при ударе показывает энергию затраченную на шелушение и она будет равна

$$\Pi\Pi = \Pi_1 - \Pi_2. \quad (2.32)$$

$$\Pi\Pi = \frac{\Pi\Pi^2}{2} (1 - \Pi^2) \Pi \Pi^2 \Pi. \quad (2.33)$$

После рассмотренного удара зерно падает на винтовую поверхность, где происходит второй удар. Предположим, что эта поверхность расположена перпендикулярно первой, следовательно

$$\Pi_{1\Pi} = \Pi_1 \Pi \Pi \Pi \Pi = \Pi_1 \Pi \Pi \Pi \Pi = \Pi_1 \Pi \Pi \Pi \Pi,$$

$$\Pi_{2\Pi} = -\Pi \Pi \Pi \Pi \Pi \Pi$$

Отсюда

$$\Pi_2 = \sqrt{(\Pi_{2\Pi})^2 + (\Pi_{1\Pi})^2},$$

$$\Pi_2 = \sqrt{\Pi^2 \Pi^2 \Pi \Pi \Pi^2 \Pi + \Pi^2 \Pi^2 \Pi \Pi \Pi^2 \Pi},$$

$$\Pi_2 = \Pi \Pi \sqrt{\Pi \Pi \Pi^2 \Pi + \Pi \Pi \Pi^2 \Pi},$$

$$\Pi_2 = \Pi \Pi. \quad (2.34)$$

Оставшаяся кинетическая энергия зерна после падения будет равна

$$\Pi_3 = \frac{\Pi_2^2}{2} = \Pi^2 \frac{\Pi \Pi^2}{2},$$

$$\Pi_3 = \Pi^2 \Pi_1. \quad (2.35)$$

При этом энергия затраченная на шелушение будет равна

$$\Pi \Pi_1 = \Pi_2 - \Pi_3 \quad (2.36)$$

После падения скорость зерна будет направлена против скорости воздушного потока, создаваемого лопастями вентилятора. Следственно скорость зерна падает, и зерно начинает подчиняться воздушному потоку. Поток вращается в камере вокруг оси винтовой поверхности, появляется

центробежная сила, которая относит зерно к стенкам камеры. На этом участке пневмомеханического шелушителя происходит дошелушивание зерна.

При движении зерна по спиралеобразной поверхности на него будут действовать следующие силы:

- центробежная сила $\square = \frac{\square \square_\theta^2}{\square}$,

где $\square_\theta$ - скорость воздушного потока,

$\square$ - радиус спиралеобразной поверхности.

- проекция силы тяжести зерна на нормаль к спиралеобразной поверхности $\square$ (рисунок 2.8).

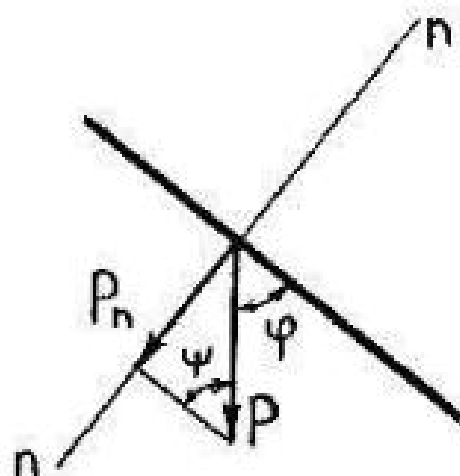


Рисунок 2.8 – К определению проекции силы тяжести зерна

Работа дошелушивания будет происходить на участке длины $\square$ спиралеобразной поверхности.

$$\square_4 = (\square \square_1 + \square \square_2) \square, \quad (2.37)$$

где $\square_1$ - коэффициент трения зерна о стенку камеры,

$\square_2$ - коэффициент трения зерна о винтовую поверхность.

Заметим, что $\square \square \square = \frac{2 \square \square}{\square}$ (рис. 2.8), где $\square$ - шаг спиралеобразной поверхности. Обозначим $\frac{2 \square \square}{\square} = \square$, тогда:

$$\square \square \square = \square, \quad \square \square^2 \square = \square^2,$$

$$\frac{\pi \pi \pi^2 \pi}{\pi \pi \pi^2 \pi} = \pi^2,$$

$$1 - \pi \pi \pi^2 \pi = \pi^2 \pi \pi \pi^2 \pi,$$

$$\pi \pi \pi^2 \pi = \frac{1}{1 + \pi^2} = \frac{1}{1 + \frac{4\pi^2 \pi^2}{\pi^2}}$$

$$\pi \pi \pi \pi = \frac{2\pi \pi}{\sqrt{\pi^2 + 4\pi^2 \pi^2}} \quad (2.38)$$

Следовательно: $\pi = \pi \pi \pi \pi \pi = \frac{2\pi \pi \pi \pi}{\sqrt{\pi^2 + 4\pi^2 \pi^2}}$

(2.39)

На участке пути π спиралеобразной поверхности совершается работа

$$\pi_4 = \left(\frac{\pi \pi^2}{\pi} \pi_1 + \frac{2\pi \pi \pi \pi \pi_2}{\sqrt{\pi^2 + 4\pi^2 \pi^2}} \right) \pi. \quad (2.40)$$

Длина одного витка спиралеобразной линии равна

$$\pi = \sqrt{\pi^2 + 4\pi^2 \pi^2}. \quad (2.41)$$

Тогда работа, совершаемая на одном витке, будет равна

$$\pi_4 = 4\pi \pi_1 \cdot \frac{\pi \pi^2}{2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{2\pi \pi} \right)^2} + 2\pi \pi \pi \pi \pi_2. \quad (2.42)$$

Таким образом, были получены зависимости, позволяющие описать движение зерна в камере пневмомеханического шелушителя по рабочим поверхностям. Зная энергию необходимую для качественного шелушения зерна π_1 и придав необходимое ускорение бросковым вентилятором можно найти энергию затраченную на шелушение при ударе о рабочую поверхность $\pi \pi$. После удара зерно падает на винтовую поверхность и при этом происходит второй удар. Зная энергию обладаемой зерном после первого удара π_2 и количество энергии обладаемой зерном после второго удара (падения) можно найти количество энергии затраченной на шелушения при падении $\pi \pi$. Не вся необходимая энергия, для шелушения, при ударе и падении будет затрачена на работу и поэтому часть зерна останется недошелушенной. Это компенсируется движением зерна по спиралеобразной поверхности, где зерно получает дополнительную разрушающую энергию

$\square_4$, при этом она должна быть равна энергии недополученной при ударе и падении, т.е. $\square_I - (\square\square + \square\square_I)$. Зная величину $\square_4$ можно определить длину рабочей поверхности или радиус шелушильной камеры

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с задачами исследований, составлена программа экспериментальных исследований, которая включала:

1. Определение физико-механических и технологических свойств зерна крупяных культур (в качестве объекта исследований выбрано зерно гречихи районированных сортов);
2. Исследование влияния влажности и различных типов рабочей поверхности на усилия разрушения оболочки и ядрицы зерна гречихи при статических усилиях;
3. Исследование зависимости энергий разрушения структурных элементов зерна крупяных культур от их влажности и типа рабочей поверхности.

3.2 Методика выбора предмета шелушения и повторности опытов

При проведении экспериментальных исследований в качестве объекта исследований выбрано зерно гречихи как наиболее типичной крупяной культуры соответствующей принятой физико-математической модели предмета шелушения. По своему анатомическому строению зерно гречихи представляет собой биологический объект, состоящий из двух структурных элементов ядрицы и оболочки, которые связаны между собой только в одной точке. Причем ядрица отделена от оболочки воздушной прослойкой. Структурные элементы зерна гречихи имеют различные прочностные свойства. Исходя из этого можно утверждать, что зерно гречихи по своему структурному строению наиболее близко соответствует принятой физико-математической модели предмета шелушения. Зерно всех крупяных культур,

а также семена подсолнечника имеют аналогичное анатомическое строение. Однако прочностные свойства структурных элементов зерен различных культур и прочность их срастания отличаются. Структурные элементы зерен гречихи и их форма определяют зерновку гречихи как наименее прочную конструкцию с точки зрения разрушения при силовом воздействии. Следовательно, на основании результатов исследований прочностных свойств зерна гречихи возможно использование разработанных методик при исследовании зерна других крупяных культур и подсолнечника. На основании изложенного в качестве объекта исследований выбран один из районированных сортов зерна гречихи. Для комплексной оценки зерна гречихи как объекта шелушения использованы методические принципы, изложенные в работе [89].

Как известно, при исследовании сельскохозяйственных объектов чаще пользуются доверительной вероятностью надежности опытов в пределах 95 % [13, 47]. Известно также, что большинство биологических объектов имеют нормальный закон распределения. Тогда при надежности 0,95 и относительной ошибке $\pm 3\delta$, повторность опытов равна 3, поэтому все опыты проводились в трехкратной повторности.

3.3 Методика определения влажности зерна гречихи

Физико-механических и технологических свойств зерна гречихи как предмета шелушения определялись по стандартным [55, 56, 74, 129] и частным методикам: отбор образцов, навесок и проб – ГОСТ 10839-64; масса 1000 зерен – ГОСТ 10842-76; объемная масса (натура) – ГОСТ 13496.3-70; засоренность – ГОСТ 135862-81 [25]; содержание обрубленных зерен – ГОСТ 10939-64; определение пленчатости – ГОСТ 10843-76; влажность – ГОСТ 3040-55 [26, 28, 29]. Требования к зерну гречихи при переработке в крупу определялись по ГОСТ-19092-92 [118]. Качество продуктов шелушения и нормы выхода определялись по ГОСТу 5550-74 [27].

Для определения влажности зерна применяются весы ВЛКТ – 500г/10, электрический сушильный стерилизационный шкаф ШСС – 80, термометр ТПК-М (рисунок 3.1). Определение влажности производилось по стандартной методике (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Шкаф сушильный стерилизационный ШСС – 80п, термометр ТПК-М, весы ВЛКТ – 500г/10



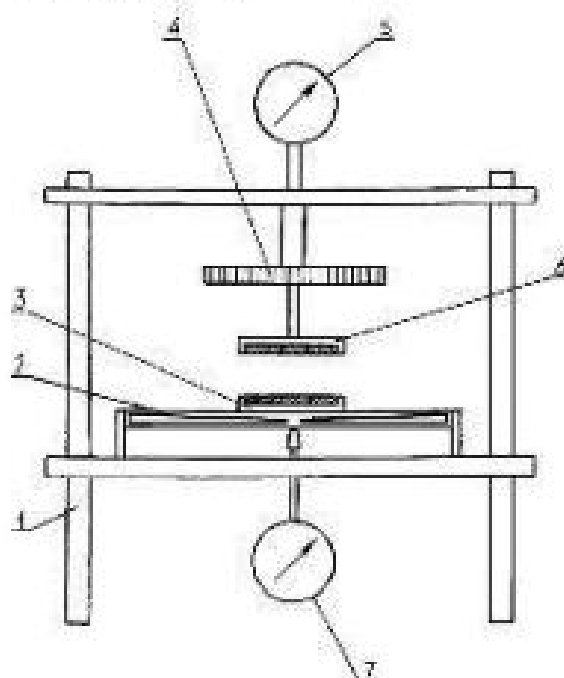
Рисунок 3.2 – Определение влажности зерна гречихи

3.4 Методика исследования влияния влажности зерна и типа рабочей поверхности на величину деформирующей силы

Важным фактором при изучении закономерностей шелушения зерна крупных культур является определение усилий необходимых для разрушения их оболочки и ядрицы при различных влажностях зерна и типах рабочей поверхности.

Исследования имели своей задачей определить закономерности разрушения ядрицы и оболочки при силовой нагрузке и выявить оптимальные области влажности с точки зрения изыскания максимальной разницы между разрушающими усилиями оболочки и ядрицы семян гречихи по различным типам рабочей поверхности.

Определение усилий разрушения ядрицы и оболочки зерна гречихи в зависимости от величины деформации при статических нагрузках осуществлялось на приборе ИДЦ (рисунок 3.3).



1 – стойка, 2 – пружина, 3 – нижняя платформа, 4 – регулятор, 5 – верхний индикатор, 6 – верхняя платформа, 7 – нижний индикатор

Рисунок 3.3 – Схема прибора для определения усилий разрушения зерна при статической нагрузке

Работает прибор следующим образом. Между рабочими платформами, изготовленными из стали (или из другого материала), укладывается зерновка. Верхняя платформа при вращении регулятора давит на зерновку, вызывая силовое воздействие. Это усилие передается на нижнюю платформу, которая, в свою очередь, оказывает воздействие на предварительно оттарированную пластину. Перемещение верхней платформы и величина прогиба пластины фиксируются индикаторами часового типа. Верхний индикатор показывает деформацию, нижний – усилие сжатия.

Перед началом экспериментальных работ прибор тарировался с помощью динамометра. Тарировка производилась путем статической нагрузки по специально разработанной методике (рисунок 3.4).

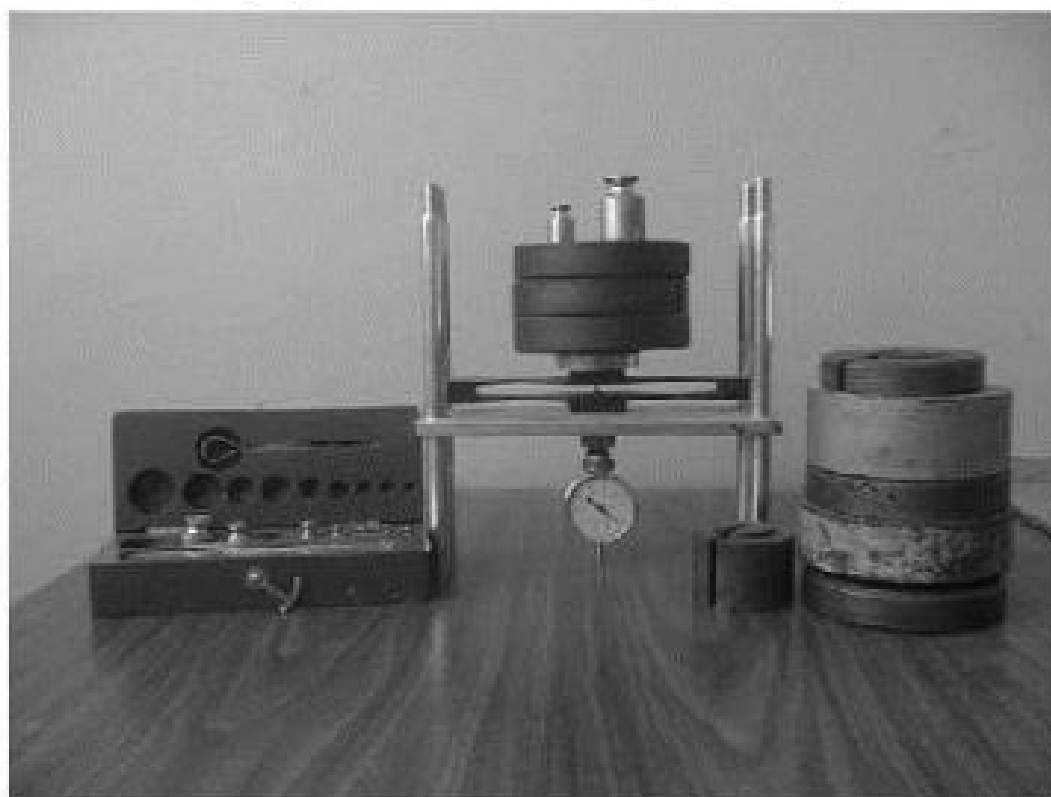


Рисунок 3.4 – Тарировка прибора для определения усилий разрушения зерна при статической нагрузке

По результатам измерений был построен тарифовочный график (рисунок 3.5), позволяющий по показаниям индикатора определять действительное значение деформации и усилия разрушения.

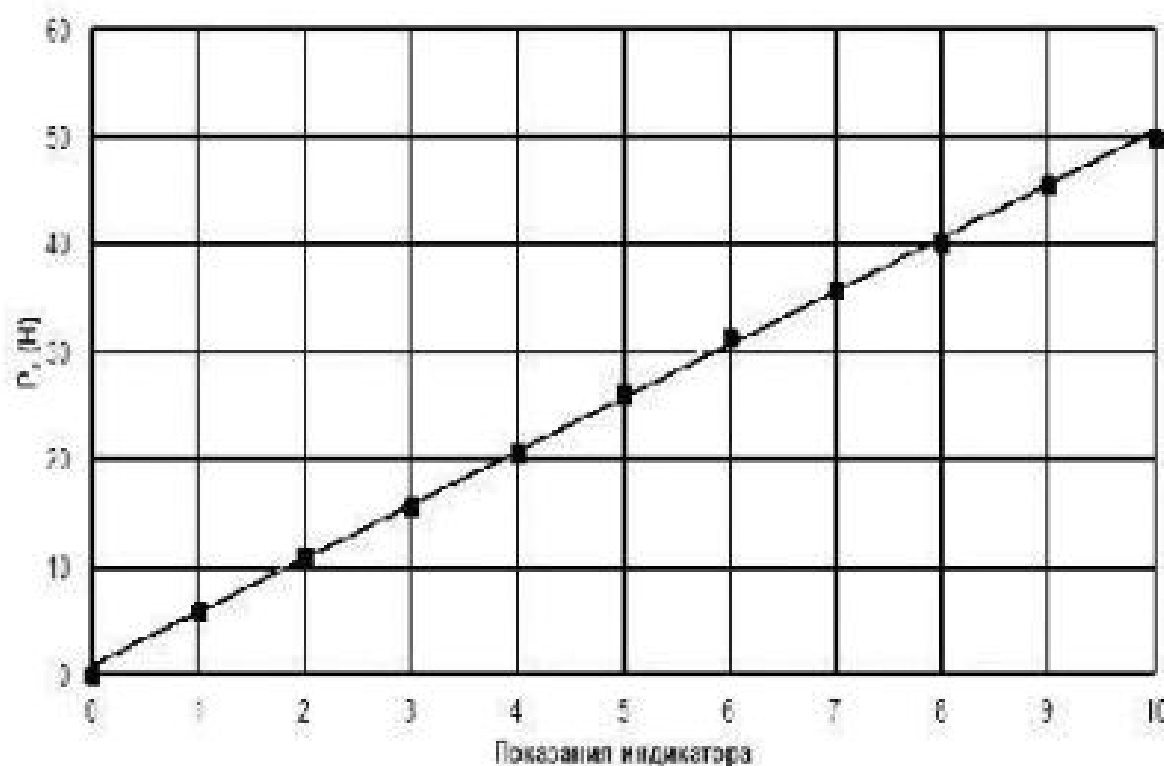


Рисунок 3.5 – График тарифовочный прибора для определения усилий разрушения зерна при статической нагрузке

На основании поисковых экспериментов и анализа литературных источников для обоснования типа рабочей поверхности были изготовлены сменные платформы из стали, резины и пластмассы для прибора по определению усилий разрушения зерна при статической нагрузке (рисунок 3.6).

Технология проведения опытов по обоснованию влажности зерна заключалась в следующем (рисунок 3.7).

Зерновки из одной партии по влажности укладывались между платформами. Нагрузка производилась винтовым механизмом. Деформация и усилие фиксировались индикаторами часового типа. Опыты проводились с зерном влажностью 9,85; 10,4; 11,8; 12,7; 13,9% без гидротермической

обработки в пятикратной повторности. Усилие, при котором происходит разрушение оболочки, принято за исходный показатель шелушения данного образца. Усилие, при котором происходит разрушения ядрицы, является исходным показателем дробления опытного образца.

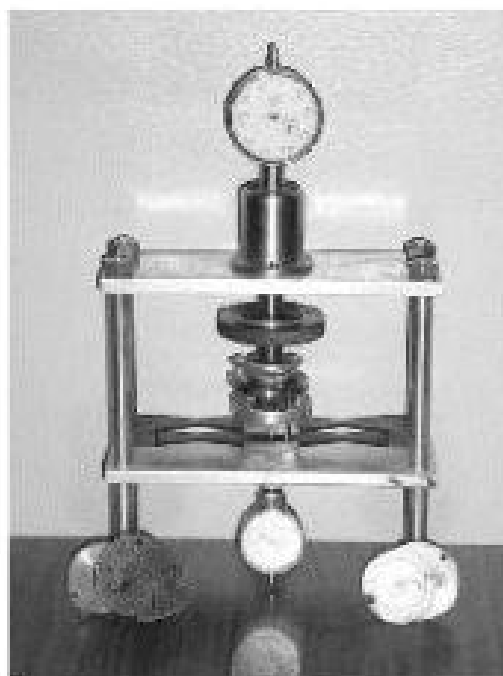


Рисунок 3.6 – Прибор для определения усилий разрушения зерна при статической нагрузке со сменными платформами

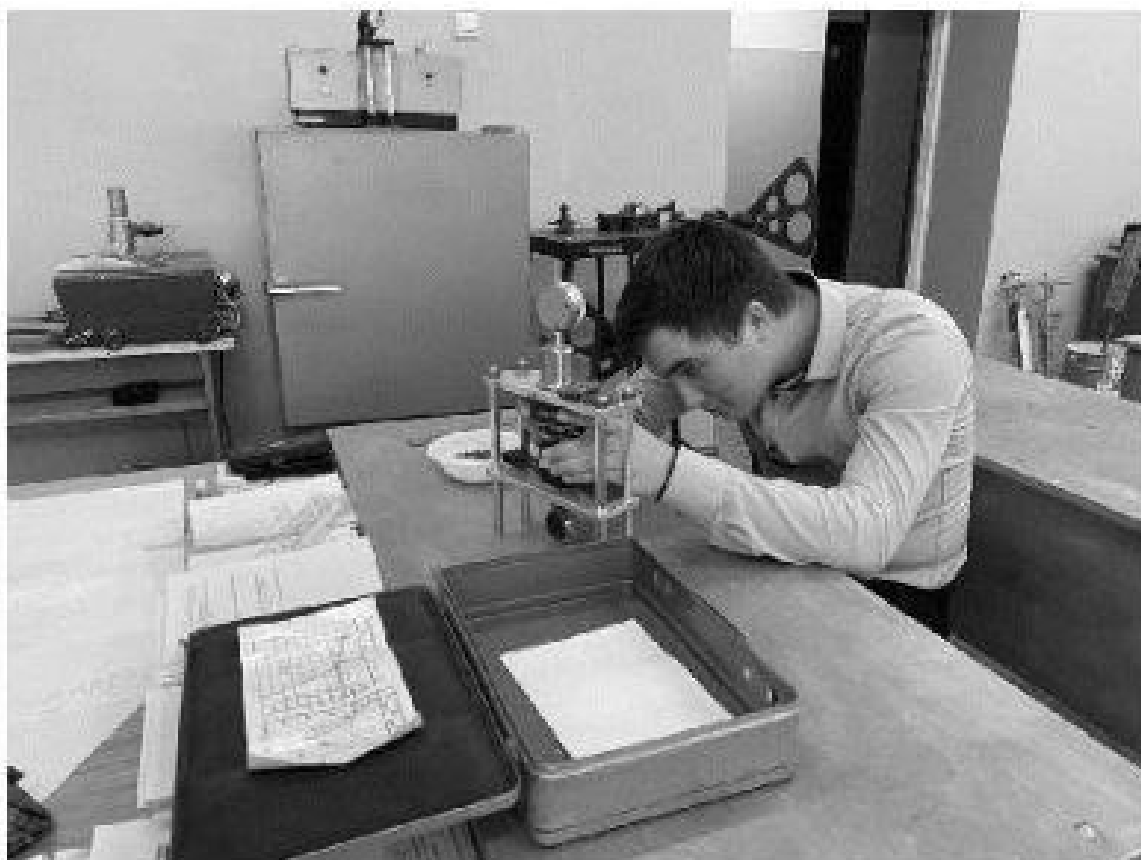


Рисунок 3.7 – Эксперименты по обоснованию типа рабочей поверхности при различных влажностях зерна гречихи

Эксперименты по обоснованию типа рабочей поверхности проводились с зерном, не прошедшим гидротермическую обработку для девяти значений влажности (6,4, 7,8, 8,4, 9,2, 10,4, 11,6, 13,6, 14,8, 15,8 %) в пятикратной повторности на трех типах поверхностей: стальной, резиновой и пластмассовой. Максимальная граница статической деформации определялась размерами зерна

Результаты опытов обрабатывались на компьютере с использованием известной программы Microsoft Excel. С помощью этой же программы построены графики зависимости разрушающего усилия от величины деформации оболочки и ядрицы зерна гречихи при различных влажностях и выполнена их аппроксимация.

3.5 Методика обработки результатов экспериментальных данных

Достоверность выводов, произведенных на основе экспериментальных исследований, зависит от правильности и точности измерений обрабатывания их результатов. Ответа на эти вопросы уделялось особое внимание. Экспериментальные данные обрабатывались известными методами математической статистики [11, 12, 56].

Погрешность замера исследуемой величины складывается из следующих составляющих [12]:

- погрешности измерительного инструмента или приборной погрешности;
- погрешности замера, возникающие от использования инструмента и выбора метода измерения, а также от фиксации показаний и обработки сигналов (полученных сведений).

Погрешность подразделяется на два типа: относительные и абсолютные погрешности. При этом относительная погрешность выражается в процентах к измеряемой величине и определяется по следующей формуле:

$$\square = \frac{\Delta}{\square} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Источниками погрешности измерения являются следующие ошибки:

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_6$ –соответственно, ошибки: инструментов и приборов, нечувствительности прибора, округления отсчета, визуальные, вследствие несвоевременного включения и выключения прибора, не учитывающие при опыте. При этом суммарная максимально возможная погрешность составит:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n. \quad (3.2)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ - абсолютные значения некоторых погрешностей.

Расчёт общей погрешности рекомендуется проводить с применением теории вероятности по причине небольшой вероятности получения максимальных величин погрешностей одного знака. Если частные погрешности в звеньях носят случайный характер, то по теории вероятности

допускается рассматривать вероятность - 99,7%. В таком случае погрешности всех элементов будут равны среднеквадратичному значению максимального значения общей погрешности:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots \Delta_n^2} \quad (3.3)$$

На основании предельной ошибки результата оценивают точность результатов единичных экспериментов или замеров, которая может устанавливаться только лишь по предельным ошибкам замера 1 и 2.

С целью многочисленных замеров широко применяют математическую статистику, которая облегчит подсчёт ошибок среднего арифметического отклонения.

Определяется среднее арифметическое отклонение по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.4)$$

где $\bar{x}$ - результат частных измерений.

Затем рассчитывают отклонения результатов частных замеров от среднеарифметической ошибки:

$$\delta_i = X_i - M \quad (3.5)$$

Далее подсчитывается величина средней квадратичной ошибки, произведенного ряда замеров согласно выражению:

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} \quad (3.6)$$

Средняя арифметическая ошибка находится по формулам

$$M = \pm \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

$$\Delta_0 = \pm \frac{m}{M} \cdot 100\% \quad (3.8)$$

где M , Δ_0 -соответственно, ошибка абсолютная и относительная

Далее используют коэффициент вариации с целью характеристики степени рассеянности ряда (к примеру, степени неравномерности тягового

сопротивления и устойчивости хода рабочих органов сельскохозяйственных машин), которая определяется по формуле:

$$V = \frac{\delta}{M} \cdot 100\% \quad (3.9)$$

Определение погрешности измерений. Суммарная погрешность измерений вычисляется из выражения:

$$\frac{\Delta(P)}{P} = \left[\frac{\Delta(m)}{m} + \frac{\Delta(H)}{H} + \frac{\Delta(F)}{F} \right], \quad (5.13)$$

где $\frac{\Delta(m)}{m}$ - суммарная погрешность, которая складывается из погрешностей тарировки и работы индикаторов (не более 2%);

$\frac{\Delta(H)}{H}$ - погрешность показаний тахометра (2,3 ... 2,8%);

$\frac{\Delta(F)}{F}$ - общая погрешность, которая складывается из погрешности тарировки упругих звеньев (0,3 ... 0,7%).

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

Определение повторности опытов. Повторность опытов при проведении исследований должна обеспечить необходимую для данного уровня экспериментов степень точности. Повторность опытов, необходимая при проведении лабораторных и лабораторно-производственных опытов определялась по формуле:

$$n = \frac{4V^2}{P_{\max}^2}, \quad (5.14)$$

где V - коэффициент вариации;

$P_{\max}^2$ - максимально допустимое значение погрешности опыта.

На основании поисковых опытов, проведенных при определении разрушающих усилий ядрицы и оболочки зерна гречихи, установлено, что коэффициенты вариации отдельных измерений составляют 4,5...5,0%. Величину допустимой погрешности можно принять равным 5,0% [11], тогда необходимое число повторностей составит 4...5. Поэтому данные эксперименты проводились в пятикратной повторности. Лабораторные опыты по определению оптимальной скорости взаимодействия, а также лабораторно-производственные эксперименты проводились в трехкратной повторности, т.к. коэффициенты вариации предварительных опытов здесь составляют 3,5...4,5% при общей погрешности не более 5%.

В заключение отметим, что описанные методики позволили всесторонне экспериментально исследовать процесс шелушения зерна гречихи, поставленные в задачах исследований.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Экспериментальное определение зависимости деформации зерна гречихи от влажности

Одним из основных факторов, влияющих на технологическую эффективность шелушения зерна крупяных культур на пневмомеханических шелушителях, является влажность зерна. Предварительные эксперименты показали, что с изменением влажности зерна изменяется величина усилия, при которых происходит разрушение оболочки зерна.

Поэтому для обоснования влажности объекта переработки была разработана методика экспериментальных исследований (раздел 3.4) и проведены опыты с целью определения максимальной разницы в усилиях разрушения оболочки и ядрицы зерна в зависимости от влажности. Опыты проводились на приборе ИДЦ, описанной в подразделе 3.4.

Влажность зерна, подготовленного для экспериментов, определялась по методике, описанной в подразделе 3.3.

Повторность опытов определялась согласно методики, описанной в подразделе 3.2. Тогда при надежности 0,95 и относительной ошибке $\pm 3\%$, повторность опытов равна 3, поэтому все опыты проводились в трехкратной повторности.

Результаты опытов обрабатывались на компьютере с использованием известной программы Microsoft Excel. С помощью этой же программы построены графики зависимости разрушающего усилия от величины деформации оболочки и ядрицы зерна гречихи при различных влажностях и выполнена их аппроксимация.

Полученные графические зависимости представлены на рисунках 4.1 и 4.2.

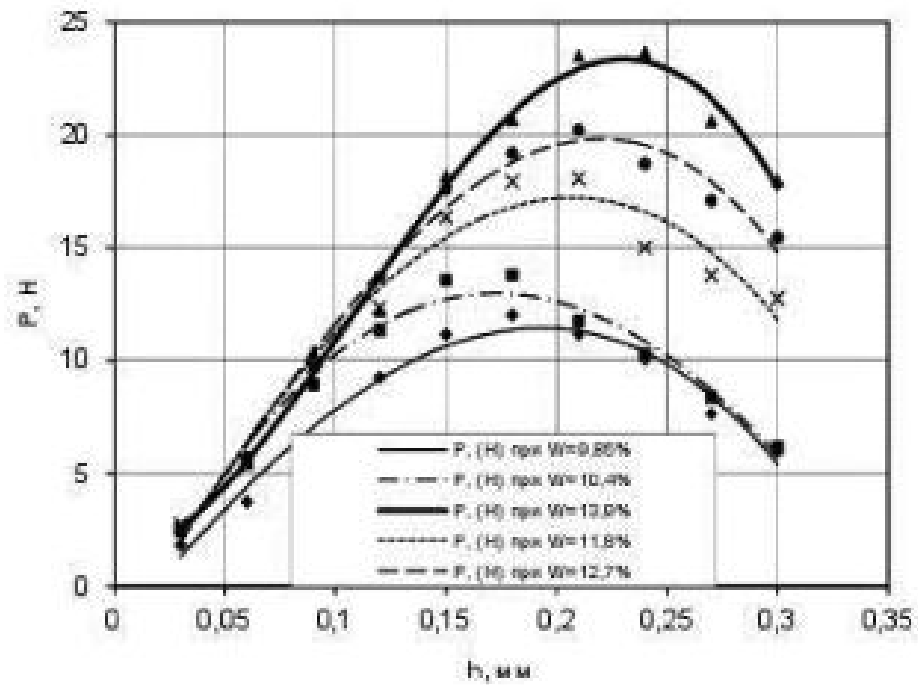


Рисунок 4.1 – График зависимости разрушающего усилия P от величины деформации ядрицы зерна гречихи при различных влажностях

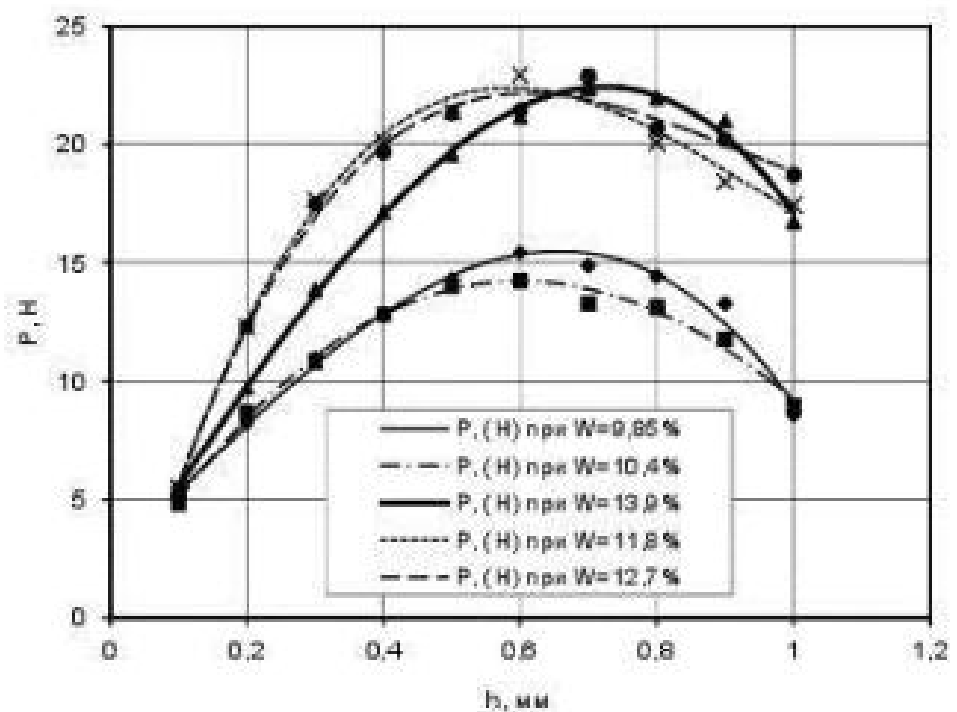


Рисунок 4.2 – График зависимости разрушающего усилия P от величины деформации оболочки зерна гречихи при различных влажностях

По полученным графическим зависимостям видно, что наименьшее усилие, при которой происходит разрушение оболочки, составляет 14...16 Н, что имеет место при влажности 9,5...10,5 %. Для ядрицы значение разрушающих усилий при такой же влажности находится в пределах 11...13 Н.

Анализ полученных графиков показывает, что наибольшая разница в усилиях разрушения оболочки и ядрицы 5...8 Н находится в пределах влажности 9,5...12 %.

4.2 Экспериментальное обоснование типа рабочей поверхности

В процессе шелушения перерабатываемое зерно взаимодействует с поверхностями рабочих органов. Поэтому наряду с влажностью зерна на показатели технологической эффективности существенное влияние оказывает материал, из которого изготовлен рабочий орган (тип рабочего органа). В связи с этим обоснование типа рабочей поверхности имеет очень важное значение при разработке шелушительных машин.

Анализ исследований зерна крупяных культур с позиций шелушения, а также предварительные эксперименты показали, что в зависимости от типа рабочей поверхности разницы в усилиях разрушения оболочки и ядрицы зерна крупяных культур отличаются. Поэтому для обоснования типа рабочих поверхностей шелушительных машин пневмомеханического типа были проведены экспериментальные исследования согласно методики, которая подробно описана в предыдущем разделе.

Минимальное усилие, при котором начинается разрушение оболочки, принято как исходный показатель шелушения данного образца. Следующее усилие, при котором происходит скачок деформации, является исходным показателем разрушения данного образца. Результаты проведенных исследований представлены в виде графиков на рисунках 4.3, 4.4, 4.5.

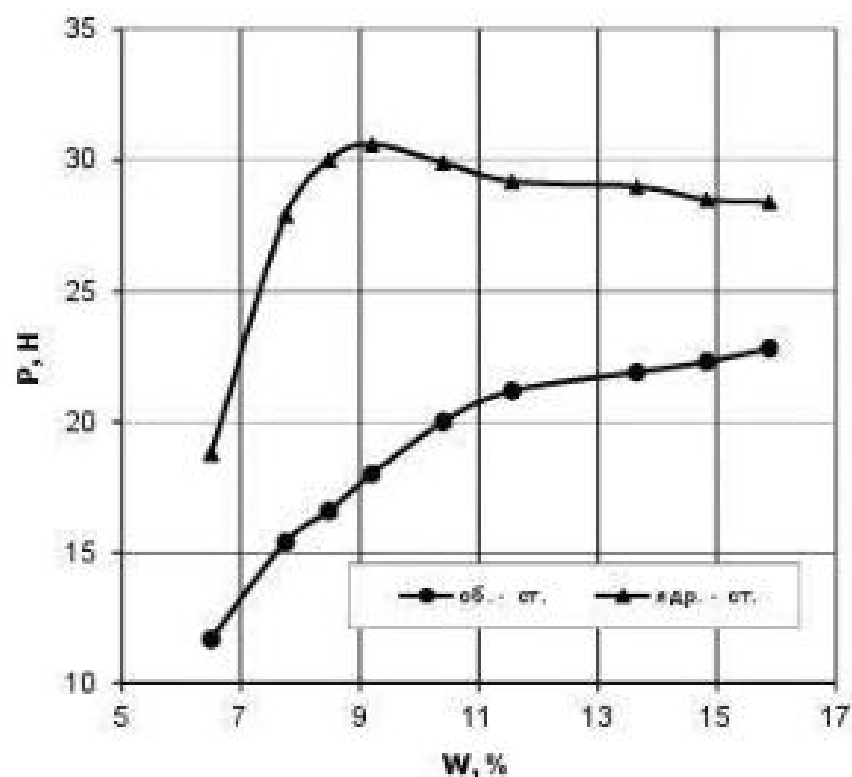


Рисунок 4.3 – Изменение величины усилия разрушения оболочки и ядра зерна гречихи в зависимости от содержания в них влаги при статическом взаимодействии со стальной поверхностью

Анализируя полученные графики, можно отметить, что усилия разрушения оболочки и ядрицы растут по мере увеличения влажности по выпуклой кривой. Причем выпуклость кривой, характеризующей разрушающее усилие ядрицы, выражена более ярко. Область влажности, в пределах которой находится данная выпуклость, и является оптимальной с точки зрения получения максимальной разницы в разрушающих усилиях ядрицы и оболочки. Она находится в пределах 8...10 %.

По мере увеличения влажности указанные кривые сближаются, что свидетельствует о том, что значения разрушающих усилий при повышении влажности примерно одинаковые. Очевидно, это является следствием выравнивания влажности ядрицы и оболочки.

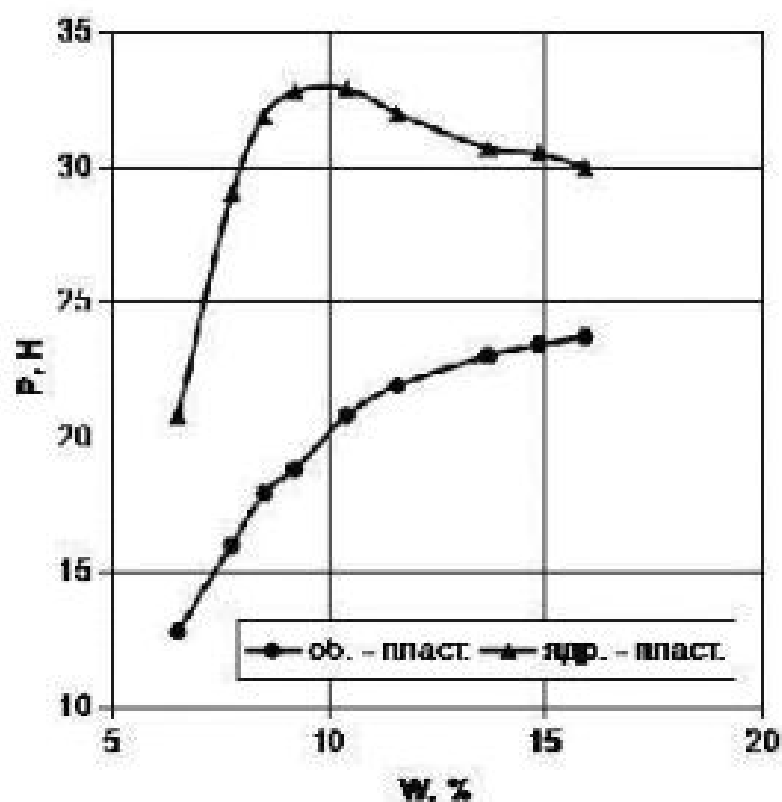


Рисунок 4.4 – Изменение величины усилия разрушения оболочки и ядра зерна гречихи в зависимости от содержания в них влаги при статическом взаимодействии с резиновой поверхностью

Анализируя данные графики, можно также заметить, что усилия разрушения оболочки и ядрицы растут по мере увеличения влажности по выпуклой кривой. Причем выпуклость кривой, характеризующей разрушающее усилие ядрицы, выражена более ярко. Область влажности, в пределах которой находится данная выпуклость, и является оптимальной с точки зрения получения максимальной разницы в разрушающих усилиях ядрицы и оболочки. Она находится в пределах 8...10 %.

По мере увеличения влажности указанные кривые сближаются, что свидетельствует о том, что значения разрушающих усилий при повышении влажности примерно одинаковые. Очевидно, это является следствием выравнивания влажности ядрицы и оболочки.

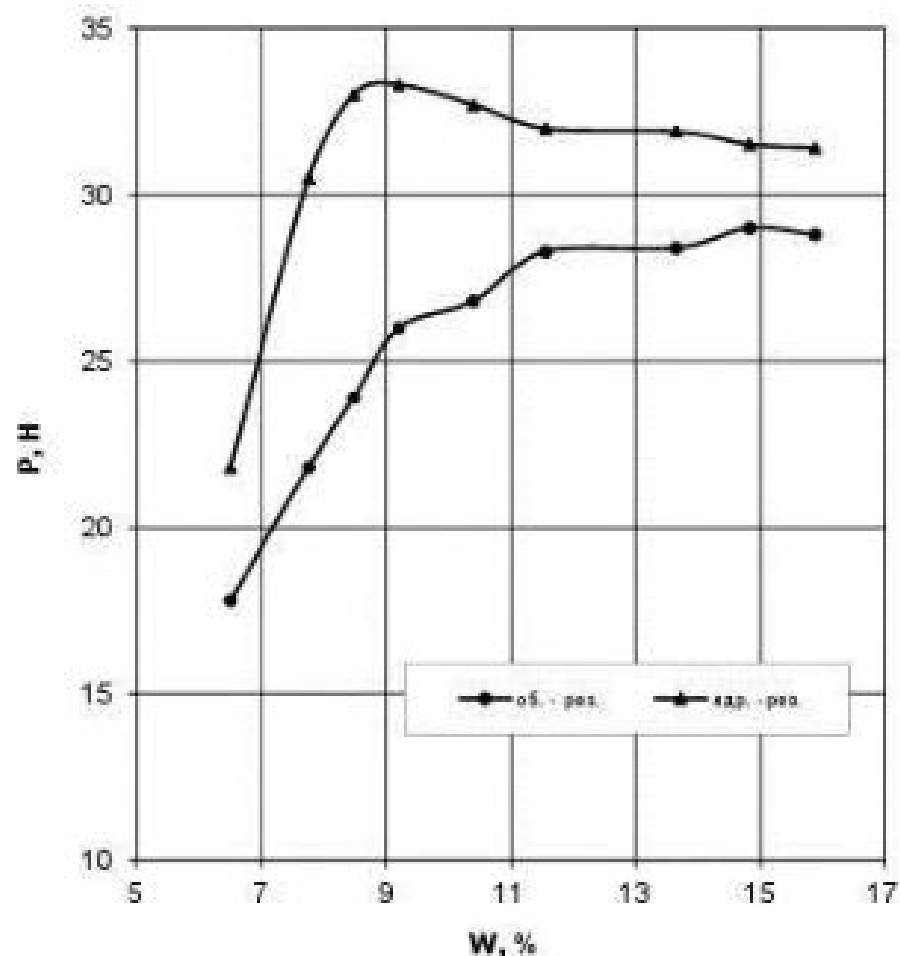


Рисунок 4.6 – Изменение величины усилия разрушения оболочки и ядра зерна гречихи в зависимости от содержания в них влаги при статическом взаимодействии с пластмассовой поверхностью

Анализируя полученные графики, можно видеть, что здесь наблюдается такая же картина, как и в двух предыдущих графиках.

Усилия разрушения оболочки и ядрицы растут по мере увеличения влажности по выпуклой кривой. Причем выпуклость кривой, характеризующей разрушающее усилие ядрицы, выражена более ярко. Область влажности, в пределах которой находится данная выпуклость, и является оптимальной с точки зрения получения максимальной разницы в разрушающих усилиях ядрицы и оболочки. Она находится в пределах 8...10 %.

По мере увеличения влажности указанные кривые сближаются, что свидетельствует о том, что значения разрушающих усилий при повышении влажности примерно одинаковые. Очевидно, это является следствием выравнивания влажности ядрицы и оболочки. Такая картина наблюдается по всем трем поверхностям.

Однако сравнительный анализ данных для трех указанных поверхностей показывает, что наибольшая разница в разрушающих усилиях оболочки и ядрицы в области оптимальной влажности достигается на пластмассовой поверхности – 14,5...15,0 Н, наименьшая по резиновой – 7,6...10 Н.

Таким образом, в результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что наибольшая разница в усилиях разрушения оболочки и ядрицы зерна гречихи имеет место при взаимодействии с пластмассовой поверхностью и влажности 8...10 %. Полученные данные могут быть использованы при проектировании машин для шелушения зерна крупяных культур и при составлении практических рекомендаций по их использованию.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ

5.1 Сравнительные технико-экономические и технологические показатели пневмомеханического шелушителя

С целью определения показателей технико-экономической эффективности разработанного пневмомеханического шелушителя использован метод сравнения и подобия. При этом учтены результаты собственных теоретических и экспериментальных исследований, также научного руководителя.

Для оценки технико-экономических показателей и определения годового экономического эффекта показатели разработанного шелушителя с горизонтальной рабочей камерой сравнивались с показателями шелушителей двух типов: вальцедекового станка 2ДШС-3Б и аэрошелушительной установки АШМ-4. Необходимые исходные данные и составляющие расчетов представлены в таблице 5.1.

Для упрощения расчетов себестоимость шелушения по каждому исследуемому варианту и все элементы затрат приводилось к одному часу работы шелушителей. А затем, после определения часовой производительности шелушителя, определялась себестоимость шелушения 1 т зерна.

Себестоимость шелушения за 1 час работы шелушительных машин исчислялся по следующим пунктам затрат, руб/ч:

$$C_4 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (5.1)$$

где C_1 - заработная плата производственных рабочих, руб/ч;

C_2 - амортизационные отчисления, руб/ч;

C_3 - накладные расходы, руб/ч;

C_4 - затраты на электроэнергию, руб/ч.

Заработная плата производственных рабочих определяется как

$$C_1 = t K_t K_n \quad (5.2)$$

где t - трудоемкость обслуживания шелушильного аппарата за 1 час его работы, чел. ч/;

K_t - средняя тарифная ставки рабочих, руб/чел. ч ($K_t = 0,75$ руб/чел.ч),

K_n - коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате производ-ственных рабочих, ($K_n = 1,03$).

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности пневмомеханического шелушителя

Показатели	Ед. измер.	Предлагаемая конструкция ШП-2	Существующие машины	
			2ДШС-3Б	АШМ-4
Объем годовых работ	т	2218,0	4435,0	739,0
Балансовая стоимость	тыс. р.	1100,0	2770,0	2850,0
Производительность	т/ч	1,8	3,6	0,6
Масса конструкции	кг	670,0	1190,0	355,0
Установленная мощность	кВт	3,0	5,0	43,0
Годовой фонд времени	ч	1232,0	1232,0	1232,0
Себестоимость часовая	руб/ч	2,06	2,28	2,29
а) зарплата оператора	руб/ч	0,77	0,77	0,77
б) амортиз. отчисления	руб/ч	0,14	0,36	0,37
в) накладные расходы	руб/ч	1,14	1,15	1,15
Затраты на эл. энергию	руб/ч	0,14	0,12	6,80

Затраты на силовую электроэнергию, руб/ч:

$$C_2 = \frac{N_y \cdot K_n \cdot K_t \cdot K_n \cdot C_{3,н}}{0,95 \cdot \Pi_y}, \quad (5.3)$$

где N_y – установленная мощность электродвигателей, кВт,

K_M, K_t – средние коэффициенты загрузки электродвигателей по мощности и по времени ($K_M = 0,82, K_t = 0,8$);

K_{Σ} – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сетях предприятия ($K_{\Sigma} = 1,05$);

0,95 – средний КПД электродвигателей;

$C_{э.к}$ – стоимость электроэнергии, руб./кВтч ($C_{э.к}/ч = 0,12$ руб./кВтч).

Амортизационные отчисления определяются по формуле

$$C_a = \frac{C_6 \cdot H_a}{T_r}, \quad (5.4)$$

где C_6 – балансовая стоимость оборудования, руб.;

H_a – коэффициент амортизационных отчислений за год;

T_r – действительный годовой фонд времени, ч

Накладные расходы, руб/ч:

$$C_n = 1,5 C_a \quad (5.5)$$

После расчетов элементов затрат для каждой исследуемой машины, и подстановки их в формулу (5.1) находится себестоимость шелушения за один час работы установки.

Для определения себестоимости шелушения 1 т гречихи по исследуемому варианту используем зависимость:

$$C = \frac{C_n}{P_n} + C_{г.б} + C_c, \quad (5.6)$$

где P_n – часовая производительность шелушителя, т/ч;

$C_{г.б}$ – затраты на гидротермическую обработку, руб/т;

C_c – затраты на сушку зерна, руб/т

Определим остальные технико-экономические показатели сравниваемых шелушильных машин.

Металлоемкость процесса, кг/т.

$$M_s = \frac{M}{A \cdot T_c}, \quad (5.7)$$

где M – масса машины, кг;

T_c – срок службы ($T_c = 5$ лет);

A – объем годовых работ, т.

Энергоемкость процесса, кВт·ч/т.

$$\Xi = \frac{N_{\epsilon}}{\Pi_{\kappa}}, \quad (5.8)$$

где N_{ϵ} – потребляемая мощность, кВт.

Трудоемкость процесса, чел·ч/т.

$$T_{\epsilon} = \frac{n_p}{\Pi_{\kappa}}, \quad (5.9)$$

где n_p – количество рабочих, обслуживающих шелушильную машину.

Фондоемкость процесса, руб/т.

$$\Phi_{\epsilon} = \frac{C_{\epsilon}}{A \cdot T_{\epsilon}}, \quad (5.10)$$

Удельные капитальные вложения, руб/т.

$$K = \frac{C_{\epsilon}}{A}, \quad (5.11)$$

Для определения следующих основных показателей вначале найдем величины приведенных затрат на шелушение 1 т зерна.

$$Z_{\epsilon} = C_{\epsilon} + E_{\kappa} \cdot K, \quad (5.12)$$

где C_{ϵ} – себестоимость шелушения одной тонны зерна по исследуемому варианту, руб/т,

E_{κ} – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,

Годовой экономический эффект определяется как

$$E_{\epsilon} = (Z_1 - Z_2) \Pi_{\kappa} \cdot T_{\epsilon}, \quad (5.13)$$

где Z_1 – приведенные затраты на шелушение 1 т зерна существующими машинами, руб/т,

Z_2 – то же самое для предлагаемой конструкции, руб/т.

Годовая экономия составляет:

$$\mathcal{E} = (C_1' - C_1)P_n \cdot T_n, \quad (5.14)$$

где C_1' - себестоимость шелушения 1 т зерна существующими машинами, руб/т,

C_1 - то же самое для проектируемой установки, руб/т.

Срок окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{C_6}{\mathcal{E}_{год}}. \quad (5.15)$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений:

$$K_{эф} = \frac{1}{T_{ок}}. \quad (5.16)$$

Определенные по формулам (5.1) - (5.16) технико-экономические показатели разработанного пневмомеханического шелушителя в сравнении с существующими представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Сравнительные технико-экономические показатели работы пневмомеханического шелушителя

Показатели	Ед. измер.	ПШ-2	Существующие машины	
			2ДШС-3Б	АШМ-4
Себестоимость	руб/т	1,92	4,11	11,26
Металлоемкость	кг/т	0,06	0,05	0,10
Энергоемкость	кВтч/т	9,00	41,00	78,00
Трудоемкость	челч/т	0,56	0,28	1,66
Фондоёмкость	руб/т	0,10	0,13	0,77
Удельн. капвложения	руб/т	0,50	0,63	3,86
Приведенные затраты	руб/т	2,00	4,20	11,84
Годовой экон. эффект	руб.	4880	x	-
		21825	-	x
Годовая экономия	руб.	4857	x	-
		20716	-	x

Срок окупаемости	год	0,23	x	-
		0,05	-	x

Из таблиц видно, что замена существующих машин на предлагаемые позволяет повысить производительность, при этом существенно снижается металлоемкость и энергоемкость процесса получения крупы

Для оценки преимуществ пневмомеханического шелушителя составлена сводная таблица технико-технологических характеристик разработанного и существующих шелушителей зерна крупяных культур (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Технико-технологические характеристики шелушителей зерна крупяных культур

Показатели	Марки шелушителей				
	2ДШС-3Б	АШМ-4"	МШПТ-2	Шелушитель с горизонтальной рабочей камерой	Шелушитель с вертикальной рабочей камерой
1	2	3	4	5	6
Разработчик	АО «Продмаш»	ВНИЭК И-Продмаш	АО «Иванчеевский завод»	Казанская ГСХА	Казанская ГСХА
Название	Двухдековый шелушильный станок	Аэрошелушильная машина	Машина шелушильная вальцедековая	Шелушитель пневмомеханический с горизонтальной рабочей камерой	Шелушитель пневмомеханический с вертикальной рабочей камерой
Выполняемые технологические операции	Шелушение	Шелушение	Шелушение	Шелушение и сортирование продуктов шелушения	Шелушение и сортирование продуктов шелушения
Предварительная калибровка	Требуется	Не требуется	Требуется	Не требуется	Не требуется

а зерна					
Производ и- тельность (по зерну гречихи)	3,0	0,6	0,2	2	1,8
Степень шелушени я% (по зерну гречихи)	90...95 (для отдельны х фракций)	95...98	85...90 (для отдельны х фракций)	92...95	92...95
Коэффици ент извлечени я ядра	0,35...0,6 5 (в среднем по фракции)		0,5...0,55 (в среднем по фракциям)	0,72...0,76	0,63...0,65

продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6
Засоренно сть продукта шелушени я элементам и износа рабочих органов	Имеется	Отсутст вует	Имеется	Отсутствует	Отсутствует
Установле нная мощность кВт	5,5		1,5	3	1,5
Удельная потребная мощность кВт	1,8		7,5	1,5	0,8
Удельная энергоемк ость процесса с учетом	41	78		9	

подготови тельных операций, кВтч/т					
Масса конструкц ии, кг	1190	355 (без компрес сора)	140	670	560

* Для сравнения использованы данные ВНИЭКИПРОДмаш

Анализ таблицы 5.3 показывает, что пневмомеханический шелушитель по многим параметрам превосходят существующие аналоги.

5.2 Энергетическая оценка пневмомеханического шелушителя

Для сравнительной оценки энергозатрат переработки зерна гречихи, с использованием разработанных пневмомеханического шелушителя была составлена сводная таблица с перечнем основных технологических операций с указанием потребляемой мощности, необходимой каждой группе машин для выполнения этих операций и с использованием пневмомеханического шелушителя и вальцедекового станка 2ДШС-3Б (таблица 5.4).

Измерение потребной мощности технологического оборудования для калибрования объекта переработки и сепарации продуктов шелушения осуществлялись при максимальных значениях показателей оценки их технологической эффективности.

Таблица 5.4 - Потребные мощности технологического оборудования при использовании пневмомеханического шелушителя

Технологи- ческие операции	Наименова- ние технических средств	Существующая технология		Предлагаемая технология	
		марка машины	мощно сть, кВт	марка машины	мощно сть, кВт

Калибровка на фракции	Сепаратор	К-218	1,5	-	-
Шелушение	Шелушитель и	2ДШС-3Б	3,5	ШП-2	3,0
Сортировка продуктов шелушения	Рассевы	ЗРЛ-2	1,4	-	-
ВСЕГО	-	-	6,4	-	3,0

Мощность вальцедекового станка 2ДШС-3Б измерялась при производительности 0,9...1,1 т/ч. Средняя часовая производительность линии при этом составляет 0,8 т/ч. Мощность на валу лопастного колеса броскового вентилятора пневмомеханического шелушителя с горизонтальной рабочей камерой определяют при частоте вращения 1100...1200 мин⁻¹ и секундной подаче 0,5...0,6 кг/с. При этом значения коэффициентов шелушения и извлечения ядра максимальные. Средняя производительность шелушителя составила 1,5 т/ч. После определения суммарных мощностей, подсчитывались энергоемкости технологических линий по формуле. Как показывают расчеты энергоемкость технологического процесса переработки зерна по существующей технологической схеме в общей сумме составляет 8 кВтч на 1 т готового продукта, а энергоемкость переработки зерна этой же культуры с применением пневмомеханического шелушителя с горизонтальной рабочей камерой – 2 кВтч на 1 т.

Таким образом, расчеты энергозатрат при различной компоновке технологической схемы показывают, что использование пневмомеханического шелушителя в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий позволяет существенно снизить энергоемкость технологического процесса переработки зерна гречихи.

5.3 Практические рекомендации по использованию пневмомеханического шелушителя зерна гречихи

Исследования пневмомеханического шелушителя зерна гречихи показали их технологическую и экономическую эффективность, перспективность и преимущества перед существующими конструкциями машин аналогичного назначения. Машины для шелушения зерна крупяных культур пневмомеханического типа просты по конструкции, надежны в эксплуатации. Простота конструкции позволяет изготавливать их в условиях сельскохозяйственных предприятий и легко встраивать в технологические линии крупозаводов, зерноочистительно-сушильных комплексов сельскохозяйственных предприятий, а также использовать автономно в условиях фермерских и лично-подсобных хозяйств.

Машины такого типа универсальны: изменяя частоту вращения лопастного колеса, тип рабочей поверхности, а также угол и дозу подачи зерна в шелушительную камеру можно перерабатывать зерно различных крупяных культур и семян подсолнечника.

Установки такого типа могут быть использованы для шелушения зерна гречихи с проведением гидротермической обработки и без нее, а также зерна других культур (проса, овса, подсолнечника, гороха и др.) с подсушкой до определенной влажности.

Предусмотрена возможность быстрой замены рабочей поверхности.

Соблюдение предлагаемых рекомендаций позволит более эффективно использовать пневмомеханические шелушители в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий при шелушении зерна гречихи.

ВЫВОДЫ

1. Анализ технологий и конструкций технических средств, а также изучение состояния исследований в этой области, что наиболее целесообразным путем повышения эффективности технологического процесса переработки зерна крупяных культур следует считать использование шелушителей основанных на пневмомеханическом способе воздействия на зерно с одновременным использованием воздушного потока для транспортировки и сортирования продуктов шелушения.

2. По результатам выполненных исследований предложена конструктивно-технологическая схема пневмомеханического шелушителя, где шелушение зерна гречихи происходит за счет работы трения с ударом о рабочую поверхность, взаимодействия с винтообразной поверхностью шелушильной камеры и одновременно происходит сепарация продуктов переработки за счёт воздействия воздушного потока.

3. В результате теоретических исследований, предложенной конструктивно-технологической схемы получены теоретические зависимости описывающие процессы взаимодействия предмета шелушения с новыми типами рабочих органов (лопаточное колесо броскового вентилятора, шелушильная камера вертикального исполнения, винтообразный дополнительный рабочий орган) на основании которых получены математические выражения для обоснования конструктивно-технологических параметров и режимов работы шелушителей пневмомеханического типа.

4. Разработана методика экспериментального исследования влияния влажности зерна и типа рабочей поверхности на величину деформирующей силы с модернизацией и тарировкой прибора для определения данного усилия.

5. Экспериментальными исследованиями установлено, что наибольшая разница в усилиях и энергиях разрушения оболочки и ядрицы зерна гречихи достигается по пластмассовой поверхности при влажности 9,5...12 %.

6. Исследования по сравнительной технико-экономической и технологической оценке пневмомеханического шелушителя зерна гречихи показали их технологическую и экономическую эффективность, перспективность и преимущества перед существующими конструкциями машин аналогичного назначения.

Расчеты энергозатрат при различной компоновке технологической схемы показывают, что использование пневмомеханического шелушителя в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий позволяет существенно снизить энергоемкость технологического процесса переработки зерна гречихи.

Пневмомеханические шелушители просты по конструкции, что позволяет изготавливать их в условиях сельскохозяйственных предприятий и легко встраивать в технологические линии крупозаводов, зерноочистительно-сушильных комплексов сельскохозяйственных предприятий, а также использовать автономно в условиях фермерских и лично-подсобных хозяйств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутковский В. А., Мельников Е. М. Технология мукомольного крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). – М.: Агропромиздат, 1989. – 463 с.
2. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатой поверхности сельскохозяйственных машин. – Киев: Издательство украинской академии сельскохозяйственных наук, 1960. – 283 с.
3. Власов Н. С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1982. – 255 с.
4. Гинзбург М. Е. Технология крупяного производства – 4-е изд. доп. и перераб. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
5. Гринберг Е. Н. Производство крупы. – М.: Агропромиздат, 1986. – 174 с.
6. Жислин Я. М. Исследование процесса аэродинамического шелушения зерна и создание аэродинамической шелушильной машины. – Труды ВНИЭКИпродмаш, 1970. Вып. 22.
7. Козымина Е. П. Технологические свойства сортов крупяных и зернобобовых культур. – М.: Колос, 1981. – 176 с.
8. Козымина Е. П. Технологические свойства сортов крупяных и зернобобовых культур. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1981. – 176 с.
9. Колесников А. Е. Ультразвуковые измерения – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248 с.
10. Королев М. В., Карпельсон А. Е. Широкополосные ультразвуковые пьезообразователи. – М.: Машиностроение, 1982. – 157 с.
11. Куликов В. Н., Миловидов М. Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 383 с.
12. Мерко И. Т. Технология мукомольного и крупяного производства – М.: Агропромиздат, 1985. – 288 с.

13. Нуруллин Э.Г. Разработка и обоснование параметров пневмомеханической установки для шелушения зерна гречихи. – Дисс. ... канд техн. наук, – Казань, 1995. – 162 с.
14. Нуруллин Э.Г. Разработка основ теории и машин пневмомеханического шелушения зерна крупяных культур. – Дисс. ... доктора техн. наук, – Казань, 2005. – 391 с.
15. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханические шелушители зерна крупяных культур (теория, конструкция, расчёт). – Казань: Казан. ун-т, 2011. 308 с.
16. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В. Способы шелушения крупяных культур / Информационный листок № 97-99. Татарский центр научно-технической информации – Казань. 1999
17. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В. Основные направления развития машин для шелушения крупяных культур и их классификация // Труды Казанской государственной академии (раздел: технические науки), Том 70. / Центр оперативной печати - Казань. 2002. с. 140-144.
18. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В., Закиров А.И. Определение оптимальной частоты вращения лопастного диска броскового вентилятора пневмомеханического шелушителя // Проблемы механизации сельского хозяйства / Труды Казанской гос. СХА (Материалы юбилейной международной конференции). Том 71. Казань, 2002. - с. 257-261.
19. Нуруллин, Э.Г. Методические предпосылки к разработке математической модели зерновки /Э.Г. Нуруллин // Труды Казанской ГСХА (раздел: технические науки) / Казанская ГСХА – Казань, 2001. – Т 70. – С. 130–132.
20. Нуруллин, Э.Г. Моделирование движения воздушно-зерновой смеси в пневмошелушительной камере /Э.Г. Нуруллин, И.В. Маланичев //Проблемы механизации сельского хозяйства. Материалы междунар. Конф. Труды КГСХА Т. 71. Казань: КГСХА, 2002. С. 250–257.
21. Нуруллин, Э.Г. Моделирование рабочего процесса пневмомеханического шелушителя зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин

//Проблемы механизации сельского хозяйства Сб. материалов юбилейной конференции /Казанская ГСХА. – 2000. – С. 257–260.

22. Нуруллин, Э.Г. Некоторые принципы построения технологических систем переработки продукции растениеводства /Э.Г. Нуруллин // Материалы научной конференции сотрудников ФМСХ, состоявшейся 1 апреля 1998 г. /Сборник научных трудов. – Казань: КГСХА, 1998.
23. Нуруллин, Э.Г. Некоторые энергетические аспекты шелушения зерна /Э.Г. Нуруллин, И.В. Маланичев //Труды Казанской ГСХА (раздел технические науки). /Казанская ГСХА – Казань, 2001. – Том 70. – С. 134–136.
24. Нуруллин, Э.Г. Обоснование некоторых конструктивных и технологических параметров вентилятора /Э.Г. Нуруллин //Сб. науч. тр. Молодых ученых и аспирантов /Казанский СХИ. – 1994. – С. 107–110.
25. Нуруллин, Э.Г. Определение механических характеристик зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин //Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №5. – С. 24–25.
26. Нуруллин, Э.Г. Определение оптимальной частоты вращения лопастного диска броскового вентилятора пневмомеханического шелушителя /Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев, А.И. Закиров //Проблемы механизации сельского хозяйства. Материалы юбил. междунар. конф. Тр. Казанской ГСХА. Т.71. – Казань: Казанская ГСХА, 2002 – С. 257–261.
27. Нуруллин, Э.Г. Переработка зерна гречихи в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя /Э.Г. Нуруллин // Актуальные проблемы с/х производства Материалы межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ЧГСХА. – Чебоксары: ЧГСХА, 2001. – С. 465–470.

28. Нуруллин, Э.Г. Переработка зерна гречихи на новой технологической основе /Э.Г. Нуруллин //Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 4. – С. 35–36.
29. Нуруллин, Э.Г. Разработка и обоснование параметров пневмомеханической установки для шелушения зерна гречихи: Дис. ... канд. техн. наук. /Э.Г. Нуруллин. – Казань, 1995. – 162 с.
30. 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.
31. Нуруллин, Э.Г. Способы шелушения крупяных культур /Э.Г. Нуруллин, А.В. Дмитриев // Информационный листок Татарского ЦНТИ №97–99 – Казань, 1999.
32. Нуруллин, Э.Г. Теоретическое обоснование момента отрыва зерновки с лопасти вентилятора /Э.Г. Нуруллин, И.В. Маланичев // Труды Казанской ГСХА (раздел: технические науки). /Казанская ГСХА – Казань, 2001. – Том 70. – С. 147–149.
33. Нуруллин, Э.Г. Технологические основы повышения эффективности переработки и хранения продукции растениеводства /Э.Г. Нуруллин //Совершенствование конструкции и технологии использования сельскохозяйственной техники. Сбор. науч. тр. СГСХА – Самара, 1999. – С. 244–245.
34. Нуруллин, Э.Г. Шелушитель зерна гречихи /Э.Г. Нуруллин //Нива Татарстана – 2000. – №5–6. – с. 40.
35. Нуруллин, Э.Г. Энергетические аспекты переработки крупяных культур в условиях сельскохозяйственного товаропроизводителя /Э.Г. Нуруллин // Труды 2-го межрегион. симпозиума «Проблемы реализации региональных целевых программ энергосбережения» / Казань: Изд-во Казанск. Гос. технич. университета, 2003. – С. 278–282.

36. Оборудование для производства муки и крупы. Справочное пособие / А.Б. Демский и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 349 с.
37. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля / Под общ. ред. И.Н. Ермолова - М.: Машиностроение, 1986. – 280 с.
38. А.С. 262610 СССР, Устройство для шелушения зерна с помощью воздушной струи сверхзвуковой скорости. / Жислин Я.М., Соколов А.Я., Крикунов А.Е. и др. – опубл. 26.01.70. Бюл. №6.
39. А.С. 13291817 СССР, Шелушильная машина. Солдатенко Л.С., Терехова И.В. – опубл. 15.08.87. Бюл. №30.
40. Патент 2090261 РФ, Устройство для шелушения зерна. / Трусов Н.А., Кравцов С.И., Нюшков Н.В. и др. – опубл. 20.09.97. Бюл. №26.
41. The catalogue of the firm "Buler" (Germany).