

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия

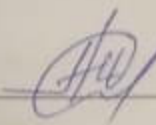
Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского хозяйства

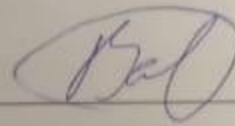
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

Тема: Разработка и исследование молотковой дробилки зерна

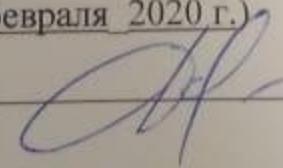
Студент группы М272-02 _____  Зайнуллин Р.Р.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____  Нафиков И.Р.

Рецензент
к.т.н., доцент _____  Вафин Н.Ф.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите

(протокол № 7 от «05» февраля 2020 г.)

Зав. кафедрой, доцент _____  Халиуллин Д.Т.

Казань - 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	
1.1. Требование к качеству кормов.....	
1.2 Тенденции развития способов измельчения и оборудования	
1.3 Анализ существующих конструкций	
1.3.1 Машины для измельчения зерна	
1.3.2 Анализ молотков для дробления.....	
1.4 Анализ теоретических исследований технологического процесса измельчения зерна.....	
1.5 Цель и задачи исследования.....	
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА	
2.1 Устройство и принцип работы разработанной дробилки зерна.....	
2.2 Технологические и конструктивные расчеты дробилки зерна.....	
2.2.1 Расчет осей молотков.....	
2.2.2 Расчет молотков	
2.3 Зоотехнические требования, предъявляемые к измельченным концентрированным кормам.....	
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	
3.1 Программа экспериментальных исследований	
3.2 Методика определения модуля помола	
3.3 Определение производительности	
3.4 Определение окружной скорости молотков.....	
3.5 Определение затрат энергии на измельчение	
3.6 Определение работы при измельчении.....	
3.7 Устройство, материалы и приборы, применяемые в экспериментах	

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1 Влияние окружной скорости на эффективность работы безрешетной молотковой дробилки	
4.1.1 Результаты определения модуля помола.....	
4.1.2 Результаты определения пропускной способности.....	
4.1.3 Результаты определения расхода электроэнергии	
4.2 Образцы измельченного корма.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	
ПРИЛОЖЕНИЕ	

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство принято делить на две большие отрасли — растениеводство и животноводство. Однако это деление порой бывает достаточно условно, поскольку животноводство в значительной степени базируется на растениеводстве, так как именно оно обеспечивает животноводческие комплексы кормами для животных. А без кормов разводить животных было бы просто невозможно. Таким образом, способность страны производить мясо, молоко, шкуры, шерсть и другую продукцию животного происхождения напрямую зависит от того, насколько развитым является растениеводство и в особенности сельскохозяйственное кормопроизводство.

Состояние животноводства взаимосвязано с состоянием кормовой базы, в которой зерновые корма играют большую роль.

Они являются одной из основ кормопроизводства. В научно-технической цепочке подготовки зерновых кормов в разновидности комбикормов операция дробления считается важным и энергоемким процессом. Дробление зерна и иных сыпучих элементов комбикормов, следует осуществлять вплоть до крупности частиц, которая рекомендуется для этого комбикорма с учетом типа, направления и возрастной группы животных.

Одной из популярных разновидностей комбикормового оборудования является дробилка для зерна, которая применяется для дробления зерновых культур. Разные модели этой техники отличаются друг от друга техническими характеристиками, производственными возможностями, ценой и т.д.

Дробилка зерна является незаменимым инструментом в любом фермерском хозяйстве. С ее помощью можно быстро и эффективно перемолоть имеющееся сырье и приготовить разнообразный корм для животных и птиц. Некоторые модели позволяют дробить продукты,

содержащие масло, другие только обычные зерновые культуры (ячмень, рожь, пшеница, гречка). Самые мощные оборудования способны переработать даже небольшие початки кукурузы и корнеплоды. Однако не до конца решены вопросы связанные с энергоемкостью дробления и повышению качества получаемого продукта. В связи с этим целью работы является повышение качества дробления зерна на основе разработки малогабаритной высокоэффективной установки для дробления.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Требования к качеству кормов

Технологии приготовления кормов из зерновых продуктов.

Измельчение зерна считается наиболее эффективным методом при переработке. [15, 16]. Применяются следующие виды разрушения зерна - это дробление, плющение и размол зерна. Измельчение зерна значительно облегчает усваиваемость его животными. Так как увеличивается площадь соприкосновения корма с пищеварительным соком желудочно-кишечного тракта, повышается перевариваемость и воздействие питательных веществ.

Кроме измельчения зерно может подвергаться различным технологическим операциям:

- отшелушивание зерна применяется в молочный период кормления для телят и ягнят, зерно скармливают без пленки. Отсеянная пленка пригодна к скармливанию взрослым жвачным животным. Существуют различные модификации шелушильных машин.

- поджаренные зерна дают для приучения к сухому виду корма, стимуляции слюноотделения и жевания, телятам и ягням дают поджаренное зерно кукурузы, ячменя, гороха. Зерно замачивают, а затем жарят на противне, постоянно помешивая до светло-коричневого цвета. В таком случае оно приобретает хрупкость и сладковатый привкус.

- осолаживание зерна выполняют с целью улучшения вкусовых качеств зернового корма в виде муки и повышения его поедания животными.

Осолаживание происходит в чанах или ящиках. Мукой корм тщательно перемешивают с двухкратным количеством кипятка и оставляют на 3-4 часа, поддерживая температуру в 55-60°C, для ферментации. Полученная смесь приобретает сладкий вкус.

- дрожжевание зерна аналогично приготовлению теста на дрожжах. Сущность процесса заключается в синтезе белков собственных клеток из-за

размножения дрожжей. Такой корм будет содержать больше полноценного белка, витаминов группы В, ферментов и эстрогенов.

- проращивание зерна повышает питательность зерна за счет осахаривания крахмала с увеличением содержания растворимых аминокислот. Зерно замачивают до набухания и проращивают в течение нескольких дней в теплых условиях и с достаточным освещением.

- варка и пропаривание зерна применимы только для зерновых бобовых с целью повышения биологической ценности белка. Пропаривание способствует разрушению ингибиторов, которые препятствуют воздействию ферментов. Так же при пропаривании, повышается перевариваемость протеина в корме.

- экструзия зерна. Данным методом увеличивают в зерне количество сахара, гемицеллюлозы, декстринов и способствуют снижению содержания крахмала и целлюлозы. Повышается биологическая ценность корма.

- микронизация зерна. Зерно поддают тепловой обработке инфракрасными лучами. Микронизация наиболее эффективна для бобовых. Используется для повышения санитарных качеств, а также уменьшает количество вредных микроорганизмов в 5-6 раз.

Высокое качество – самое важное требование, которое предъявляется к кормам. Именно этот критерий обуславливает поедаемость корма, удовлетворение потребностей скота в необходимых полезных веществах, витаминах и микроэлементах. Качество корма устанавливается ГОСТом.

Для полноценной оценки качества корма, с точки зрения их питательности и пользы для животных, проводят многочисленные анализы. В ходе этих исследований определяется соответствие произведенных кормов по запаху, влажности, внешнему виду, прочности, наличию зараженности вредителями и т.д.

Всестороннему анализу подвергают каждую партию корма. Корма, имеющие посторонние запахи или прочие несоответствия подвергаются уничтожению, так как наличие гнилостных, затхлых запахов свидетельствует

об использовании некачественного сырья, оборудования для производства кормов, имеющего технологический брак, а также о неправильном хранении продукции.

Основные требования предъявляемые к кормам следующие:

- уровень влажности кормов-концентратов для КРС – не более 14%;
- влажность корма для с/х птицы – не более 13%;
- влажность кормов для рыб – не более 13,5%;
- влажность корма для прочих видов животных – не более 14,5%;
- наличие вредной примеси — до 0,25%;
- наличие перевариваемого протеина — от 80 до 160 г в 1 корм. ед.;
- наличие сырой клетчатки — от 0,3 до 10%;

По ГОСТу 23445-79 «Дробилки молотковые. Общетехнические условия» оценивают качество корма исходя из остатка на сите, диаметр отверстий которых 3 мм:

- мелкий размол – 5%;
- средний размол – 10%;
- крупный размол – 30%.

При этом наличие целых зерен не допускается. Стандартами на корма (ГОСТ 13299-71, 9267-68, 9268-70, 8770-58) установлены три степени размола, которые характеризуются средними размерами частиц:

- мелкий размол – 0,2...1,0 мм;
- средний размол – 1,0...1,8 мм;
- крупный размол – 1,8...2,6 мм.

Размеры частиц размола зависят от вида и возраста животного.

1.2 Тенденции развития способов измельчения и оборудования

Обобщение приведенной ранее информации позволяет сформулировать ряд тенденций развития способов и аппаратов для измельчения пищевого сырья [21, 24].

Основные тенденции развития способов. В пищевой промышленности нашли применение и получили развитие большинство известных в народном хозяйстве способов измельчения. Тенденции в применении новых и совершенствовании известных будут сохраняться и в перспективе. Стабильность этих тенденций обусловлена повышением качества пищевых продуктов, расширением их ассортимента, снижением энергозатрат на производство и др. Приоритет в развитии способов на ближайшие десятилетия будет отведен сухим механическим способам измельчения.

Последний обосновывается следующим: история измельчения началась с механических методов и до настоящего времени они прочно удерживают свои позиции во всех отраслях народного хозяйства как по объему переработки, так и по технико-экономическим показателям: дефицит питьевой воды, сложность и дороговизна ее очистки, ограниченность применения мокрых методов измельчения пищевого сырья, что обуславливает перспективу применения сухих; более 35 ведущих фирм мира при разработке процессов измельчения отдают предпочтение сухим способам механического измельчения.

Большинство способов механического измельчения основаны на ударе, истирании, сжатии и сдвиге. Они успешно развиваются уже более 180 лет после изобретения вальцового станка и молотковой дробилки. Тенденции в их развитии сохранятся и в будущем. Подтверждением этому является тот факт, что ведущие фирмы мира продолжают создавать и производить оборудование, реализующее эти способы. Превалирующее значение в их развитии имеет способ, основанный на однократном приложении усилий сжатия и сдвига. Однако гранулометрический состав измельченных этим способом продуктов неоднороден, в них преобладают крупные классы. Повышение разрушающих усилий при этом способе ограничивается значительным ростом затрат электроэнергии и металлоемкости, что не позволяет относить этот способ к разряду перспективных. Развитие и интенсификация технологий пищевых производств способствует

укреплению тенденций на повышение избирательности измельчения, дисперсности и выравнинности по крупности продуктов помола, возможности генерирования разрушающих усилий инерционными силами в широком диапазоне. Перспективным, с точки зрения достижения приведенных показателей, является способ измельчения в слое в процессе качения относительно друг друга рабочих поверхностей и генерирования разрушающих усилий инерционными силами в широком диапазоне при многократном воздействии на разрушаемый продукт. Многократность нагружения продукта должна согласовываться с его реологическими свойствами, а рост дисперсности сопровождаться повышением избирательности измельчения фаз (оболочка-эндосперм). Организация процесса должна предусматривать интенсивный отвод мелких частиц из зоны разрушения.

Основные тенденции и перспективные направления развития измельчителей. Разнообразие физико-механических свойств пищевых продуктов способствовало разработке, развитию, применению практически всех видов измельчительного оборудования. В их развитии и совершенствовании сформировались следующие основные тенденции: повышение энергонасыщенности рабочего объема; снижение удельной металлоемкости и габаритов; повышение единичной производительности; снижение удельных затрат электроэнергии; повышение надежности работы; создание разрушающих усилий без жестких кинематических связей между рабочими органами; повышение этапности измельчения без вывода продукта за пределы рабочего объема; увеличение производительности на единицу производственной площади; повышение технологичности изготовления и снижения стоимости; снижение трудоемкости ремонта и обслуживания; минимизация риска загрязнения измельчаемого продукта; повышение однородности помола; снижение квалификации обслуживания; снижение уровня шума и вибрации; повышение санитарной безопасности и эргономики.

Эффективность использования пищевых продуктов в значительной мере повышается при переводе их в грубо- или тонкодисперсное состояние. При этом наблюдаются существенный рост поверхности раздела фаз, свободной поверхностной энергии, разрыв анатомических связей, перераспределение микроэлементов, химические, биохимические, структурные и другие преобразования, которые позволяют вскрыть и извлечь потенциальные питательные, энергетические и техногенные ресурсы пищевого сырья.

Наиболее широко применяемым и экономически выгодным технологическим приемом дезинтеграции пищевого сырья и в настоящее время остается механическое измельчение. Оно получило широкое распространение в современных пищевых производствах, а во многих составило их основу. Поэтому уровень развития и совершенства процессов измельчения оказывает определяющее влияние на качественно-количественные и технико-экономические показатели производства. Так, отклонение от оптимальных режимов измельчения, особенно первичного, зерна пшеницы при сортовых помолах приводит к снижению качества и выхода продукта, повышенному расходу электроэнергии и снижению технико-экономических показателей работы в целом. То же характерно и для смежных отраслей промышленности. В частности в технологии производства кормов несовершенство процессов измельчения приводит к нерациональному использованию 20...30 % грубых кормов и 15...20 % зернофуража, на измельчение 1 тонны которых соответственно расходуется 1...7 и 2...17 кВт·ч/т электроэнергии, что составляет в среднем 30 % общих затрат на производство кормов.

1.3 Анализ существующих конструкций

Рассмотренные ранее способы измельчения показывают, что наибольшее распространение в практике получили механические способы измельчения. Большинство немеханических способов применяются для предварительного разупрочнения материалов, т. е. образования и развития

трещин, пор и других нарушений сплошности. Поэтому содержание данного подраздела ограничивается рассмотрением оборудования, реализующего механические способы измельчения, в порядке изложения способов ранее.

Измельчители, принцип действия которых основан на приложении ударных усилий к измельчаемому материалу.

Молотковые дробилки. В подавляющем большинстве имеют цилиндрический корпус с горизонтально установленным в нем ротором. На роторе шарнирно закреплены измельчающие молотки различной формы и конфигурации. Внутри корпуса по его образующей установлены шарнирно или жестко отражательные плиты. Рабочая зона дробилки в нижней разгрузочной части может быть разомкнутой или замкнутой цилиндрической просеивающей поверхностью. Просеивающая поверхность может иметь режущие грани различного исполнения, установленные перпендикулярно направлению движения молотков. В этом случае разрушение материала в нижней части дробилки осуществляется срезом. При отсутствии режущих граней материал истирается в зазоре между молотками и просеивающей поверхностью с интенсивностью, пропорциональной уменьшению зазора. Известно выполнение просеивающей поверхности с выступами, расположенными по взаимно пересекающимся спиральям под углом $50-180^\circ$. Угол наклона выступов обеспечивает превышение результирующей силы от воздействия молотков над силами трения. Наличие выступов увеличивает на 30 % выход проходовой фракции. Интенсификация процесса достигается и за счет выполнения на рабочей поверхности деки корпуса макрорельефа в виде выступов различной конфигурации. Наиболее предпочтительной формой выступов является усеченный шаровый сегмент или конус.

Наличие сытовой поверхности, замыкающей рабочую зону, снижает надежность дробилок. Этот недостаток устранен в бесситовых дробилках с двумя соосно расположенными роторами, представляющими собой диски с молотками. Дальнейшее рассмотрение известных в молотковых дробилках конструктивных решений нецелесообразно ввиду их многочисленности.

подчиненности основным решениям и специфичности, определяемой областью использования.

Применение молотковых дробилок широко известно в различных отраслях народного хозяйства: горной, строительной, химической, энергетической, пищевой, в сельском хозяйстве, в комбикормовой промышленности и т. д. Простота конструкции, надежность в работе, широкий спектр производительности, компактность, универсальность, малые габариты и металлоемкость, высокая степень измельчения делают их незаменимыми в комбикормовой и зерноперерабатывающей промышленности.

Процесс дробления — самая распространенная и очень энергоемкая операция при приготовлении кормов, обусловленная требованиями физиологии животных [1, 3, 4]. Выбор оптимальных режимов измельчения и подбор измельчающих машин является основной из задач в процессе приготовления кормов. Разработка новых энергосберегающих технологий и технических средств позволит повысить эффективность, как отдельного фермерского хозяйства, так и сельскохозяйственного производства в целом.

Измельчающие машины применяются для улучшения однородности смесей, ускорения и повышения глубины протекания химических реакций, повышения интенсивности технологических процессов (перемешивание, сушка, обжиг, химические реакции), снижения применяемых температур и давлений (например, при варке стекла), улучшения физико-механических свойств и структуры материалов и изделий (твёрдые сплавы, бетон, керамика и др.), повышения красящей способности пигментов и красителей, активности адсорбентов и катализаторов, переработки полимерных композиций, включающих высокодисперсные наполнители (например: сажу, слюду, химические волокна и др.), переработки отходов производства, бракованных и изношенных изделий.

Эффективность работы измельчителя оценивается по производительности, качеству измельчения, удельной энергоемкости и

материалоемкости. Эти показатели в значительной мере обуславливаются их конструктивными параметрами. По размеру получаемого продукта измельчение разделяют на два типа: дробление и помол. Несмотря на то, что граница между помолом и дроблением условна механическое оборудование для измельчения делится на дробилки и мельницы (рисунок 1.1).

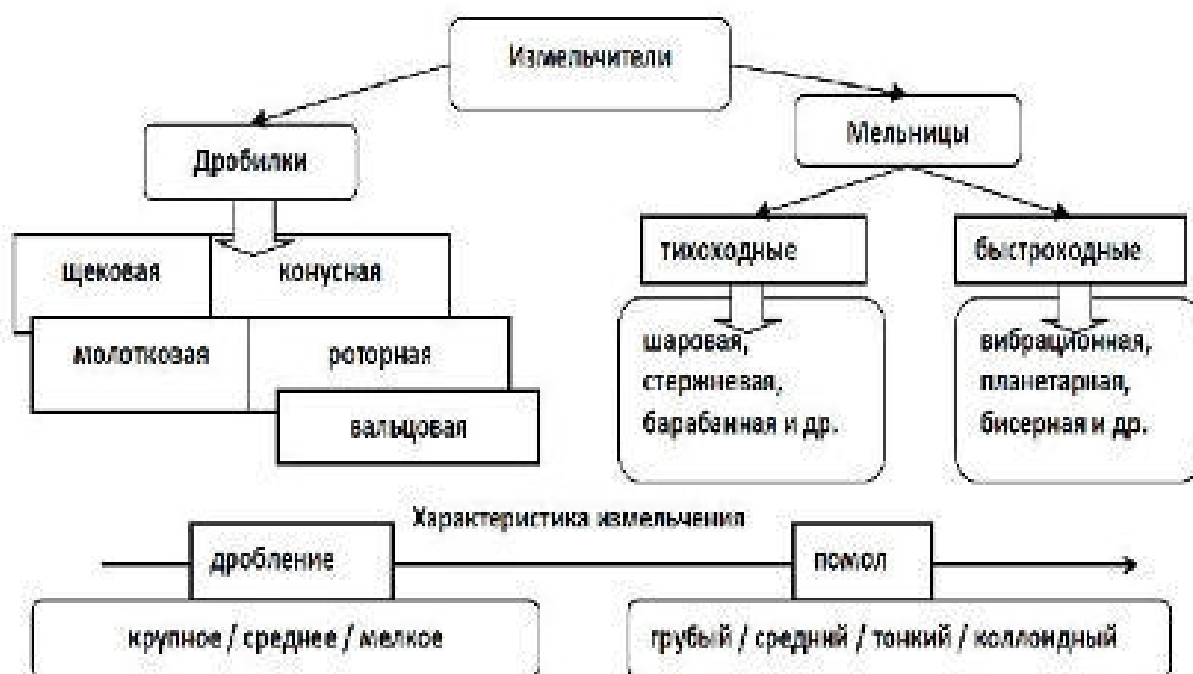
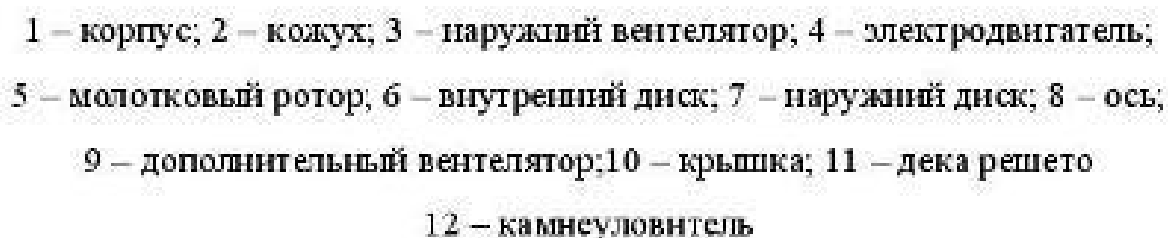


Рисунок 1.1 - Виды машин и характеристика процесса измельчения

Возрастающая потребность населения в продуктах питания обуславливает необходимость к производству малогабаритных, высокоэффективных дробилок, которые возможно использовать в фермерских и личных подсобных хозяйствах. Наибольшее распространение среди таких дробилок кормов получили дробилки ударно-стирающего действия — молотковые и роторные дробилки [2, 5].

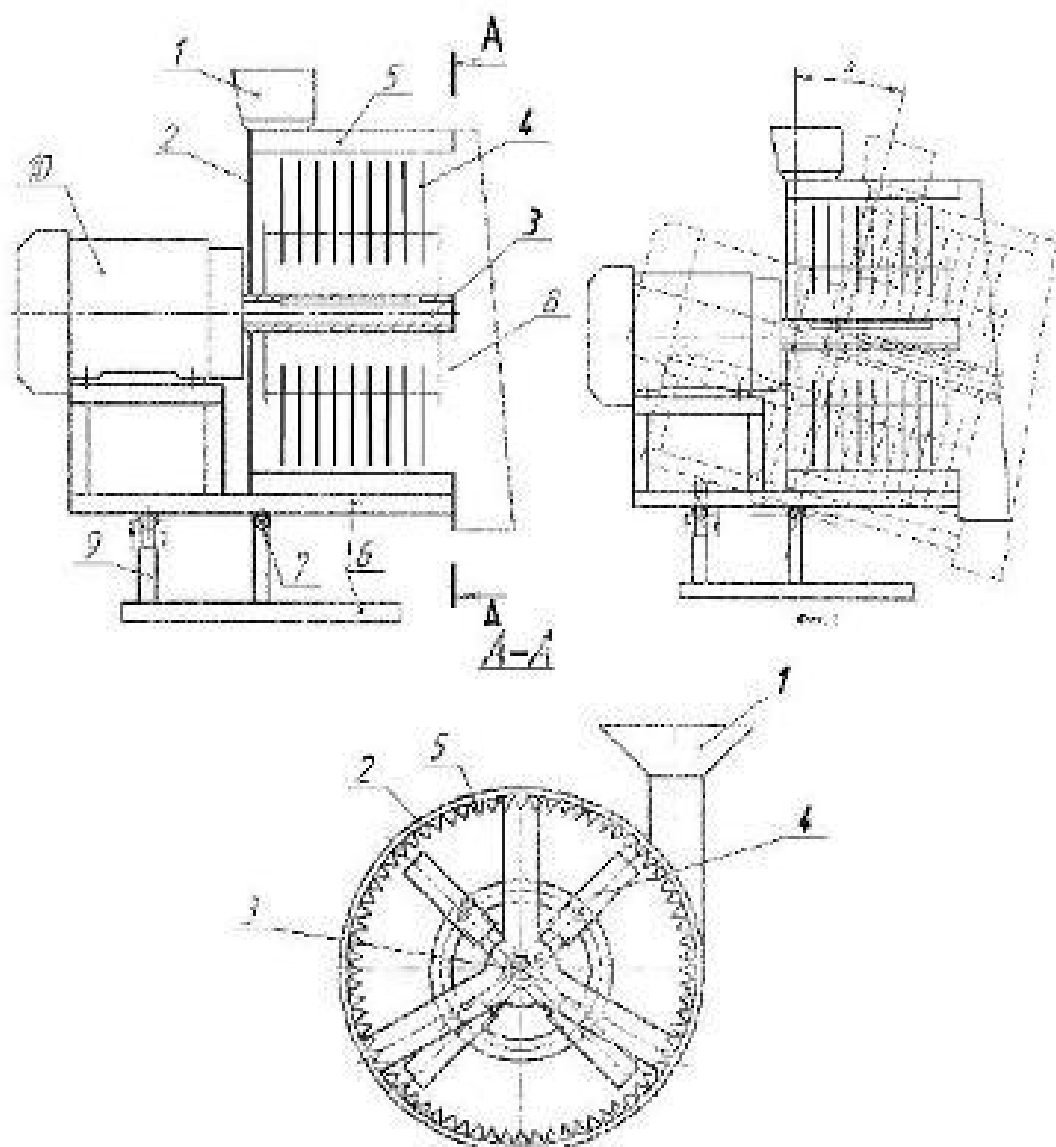
1.3.1 Машины для измельчения зерна.

Молотковая дробилка представленная на рисунке 1.2 состоит из корпуса 1, внутри которого смонтирован съемный кожух 2 наружного вентилятора 3 [9, 22, 24,].



Недостатком данной конструкции является большая металло- и энергоемкость, низкая пропускная способность, большие габариты корпуса дробилки.

Молотоковая дробилка с изменяемым углом наклона (рисунок 1.3), работает следующим образом [6]. Зерно из приемного устройства 1 самотеком поступает в дробильную камеру 2, где, попадая под удары молотков 4 дробильного ротора 3, частично измельчается и отбрасывается на деку 5, при соударении с которой также происходит измельчение. Рама 6 за счет подвижного соединения 7 позволяет изменять угол наклона α молотковой дробилки относительно вертикали. Выход материала из зоны измельчения происходит через выходное отверстие 8. Устройство 9 фиксации служит для фиксации молотковой дробилки в заданном положении.



- 1 – приемное устройство; 2 – дробильная камера; 3 – ротор; 4 – молотки;
 5 – дека; 6 – рама; 7 – подвижное соединение; 8 – выходное отверстие;
 9 – устройство фиксации; 10 – электродвигатель

Рисунок 1.3 – Молотковая дробилка

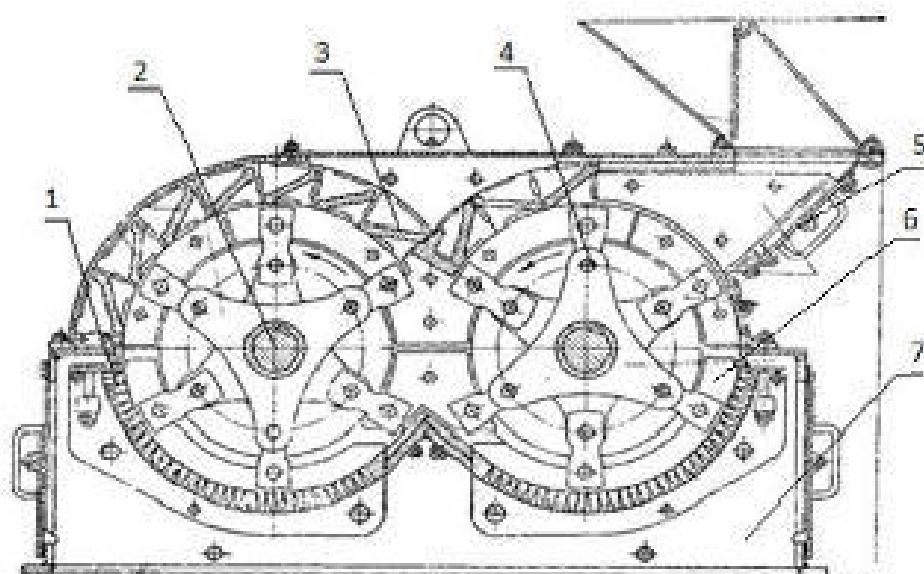
Изменение угла наклона α молотковой дробилки относительно вертикали позволяет изменять время нахождения измельчаемого материала в дробильной камере, а следовательно, и интенсивность воздействия рабочих органов молотковой дробилки на измельчаемый материал. При уменьшении

угла наклона α молотковой дробилки модуль помола увеличивается, а при увеличении угла наклона α , соответственно, уменьшается.

Недостатками этой дробилки являются низкая пропускная способность, повышенный износ деталей, а также большая энергоемкость при малой производительности.

Дробилка молотковая С-599 предназначена для измельчения различных хрупких материалов с пределом прочности при сжатии до 1000 кГ/см.

Благодаря высокой степени измельчения дробилка может использоваться для получения известняковой, фосфоритной муки, применяемой в сельском хозяйстве.



1 – дека; 2 – ротор; 3 – отбойные плиты; 4 – треугольных диски;
5 – закрываемая крышка; 6 – дробильная камера; 7 – рама

Рисунок 1.4 - Дробилка С-599

В разъемной станине дробилки помещены два ротора одинаковой конструкции. Под роторами установлены две колосниковые решетки. По высоте станция состоит из двух частей, соединяемых болтами; стенки ее внутри футерованы плитами. В верхней части укреплены отбойные плиты. В

передней и задней торцовых стенках нижней части станины сделаны дверцы для осмотра и очистки колосниковых решеток. Сверху имеется загрузочная воронка с шарнирно подвешенной заслонкой. Из воронки материал направляется к первому ротору по лотку. На дне лотка, равно как и в верхней части станины, сделаны закрываемые крышками отверстия, обеспечивающие доступ в камеру дробления для осмотра и замены брони, молотков, их перестановки и других операций.

На валу ротора укреплены двенадцать треугольных дисков и две концевые шайбы; между дисками помещены дистанционные кольца. Диски расположены с относительным сдвигом их вершин на 60° . Через отверстия в вершинах дисков пропущены шесть осей, на которых шарнирно подвешены молотки. Вал ротора вращается в двух роликовых подшипниках, установленных на кронштейнах, приваренных к боковым стенкам станины.

Каркас колосниковой решетки собран из двух дугообразных щек и приваренных к ним двух соединительных круглых стержней. На каркасе установлены колосники трапецидального сечения. Каждая решетка подвешена на двух осях, пропущенных через щеки каркаса. С помощью направляющего устройства концы осей можно поднимать или опускать в прорезях, сделанных в стенках станины. Оси фиксируются в определенном положении верхним и нижним установочными винтами. Зазор между молотками и колосниками не должен превышать 5 мм.

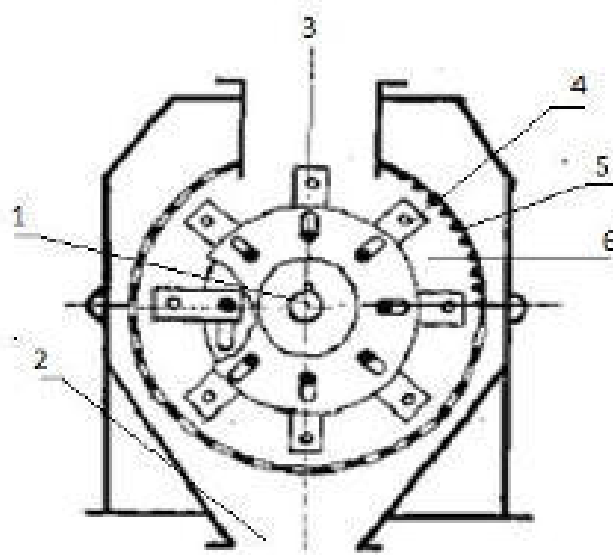
Привод дробилки осуществляется от отдельно устанавливаемого электродвигателя клиноременной передачей (8 ремней В-2360) через шкив второго ротора. Шкив вала ротора имеет 12 ручьев (для передачи вращения шкиву вала первого ротора используется четыре ремня). Оба ротора вращаются в одном направлении, в сторону отбойных плит.

Электродвигатель устанавливается на салазках. Для натяжения ремней передачи от одного ротора к другому служит чугунный ролик, перемещаемый посредством установочного винта в направляющих,

приваренных к боковым стенкам станины. Для крепления к фундаменту во фланцах нижней части станины сделаны четыре болтовых отверстия.

Недостатками этой дробилки являются большая металлоемкость, повышенный износ деталей, а также большая энергоемкость

Решетная молотковая дробилка, предназначенная для использования в мукомольной и комбикормовой промышленности, представлена на рисунке 1.5. [17, 18, 19].



1 – ротор; 2 – выходное отверстие; 3 – приемное устройство; 4 – молотки;
5 – дека; 6 – дробильная камера

Рисунок 1.5 - Конструктивно-технологическая схема решетной молотковой дробилки (А.С. 321283)

Работа дробилки происходит следующим образом. Исходный продукт подается через загрузочное окно в дробильную камеру. Измельченный под действием молотков продукт проходит через отверстия сита и удаляется из рабочей камеры. Для обеспечения возможности регулирования рабочего зазора между молотками и поверхностью рабочей камеры, и, тем самым повышения эффективности дробления, предусмотрено специальное устройство. Для этого ротор дробилки снабжен регулировочными кольцами,

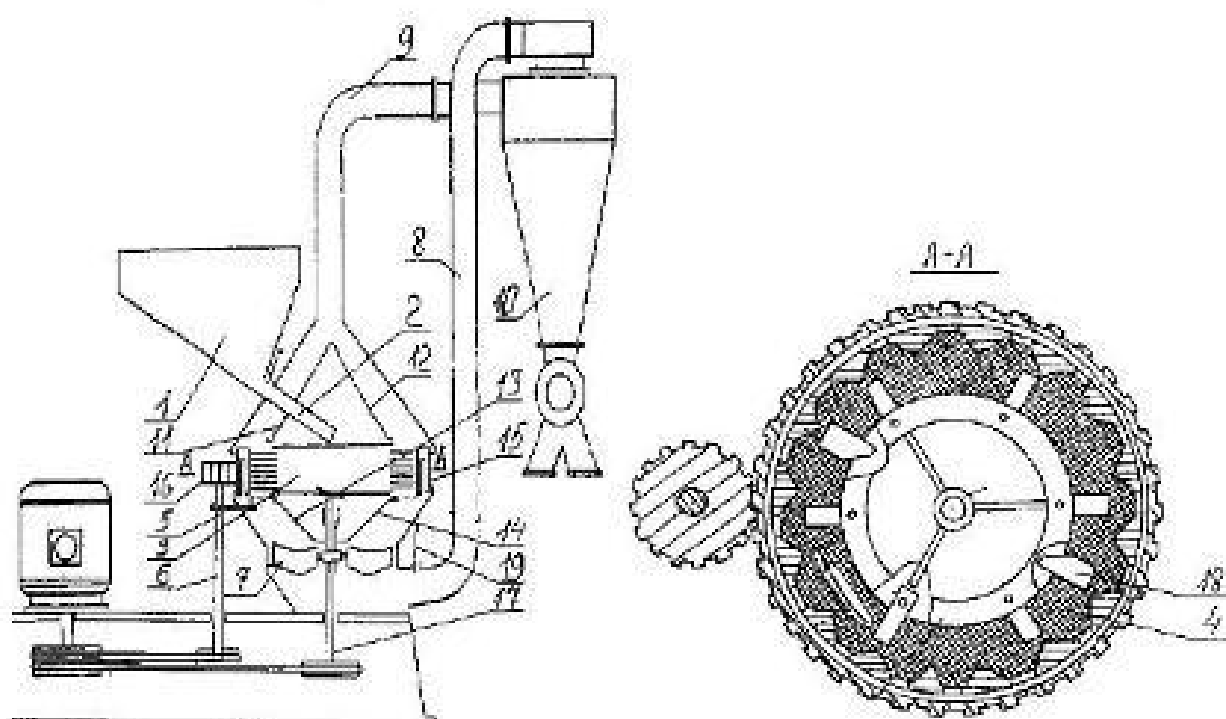
установленными с торцов. При этом кольца имеют возможность перемещаться относительно ротора вокруг оси. В дисках ротора и регулировочных кольцах выполнены пазы, в которых установлены оси с молотками. При этом пазы регулировочных колец и дисков ротора направлены под углом друг к другу. Для регулирования рабочего зазора ослабляют болты крепления регулировочных колец и одновременно поворачивают их относительно крайних дисков ротора дробилки вокруг оси вращения. При этом оси с молотками перемещаются в пазах дисков и тем самым изменяют рабочий зазор. После установки зазора регулировочные кольца затягиваются болтом на крайних дисках ротора.

Недостатком данной дробилки является то, что изменение рабочего зазора в дробильной камере не столь существенно влияет на размер конечного продукта, как в случае применения для этих целей решет. Поэтому экономически нецелесообразно в данной конструкции применять такое устройство.

Молотковая дробилка зерна представленная на рисунке 1.6. работает следующим образом. Поданное из бункера 1 в дробильную камеру зерно отбрасывается центробежной силой к периферии и измельчается под воздействием молотков ротора 3 и деки 15, дека 15 имеет пустотелую полость и зубчатый венец с внешней стороны, который входит в зацепления с шестерней. Вентилятор 7 отсасывает из циклона воздух, непрерывно нагнетает его в зону дробления.

Поскольку коэффициент парусности частиц измельчаемого материала увеличивается с уменьшением их размеров, то под воздействием воздушного потока более мелкие частички материала, находящиеся в дробильной камере, интенсивно выбираются из общей массы и по отводящему каналу 9 уносятся в циклон 10. Так как крупным частичкам и целым зернам соответствует более высокая критическая скорость, то они остаются в воздушно-продуктовом кольце, пока не измельчатся до более мелких размеров. Решето 4 предотвращает выпадение отдельных зерен из зоны дробления. Решето 4

имеет колебания, что улучшает просыпания измельченного материала. С поверхности решета зерно подхватывается отбойными щитками 18 ротора и вновь направляется в зону действия молотков и деки. При таком устройстве дробилки повышается производительность, и продукт получается более выровненным по фракционному составу, а его качество регулируется изменением расхода воздуха с помощью заслонки 19.



- 1 – бункер; 2 – приемное устройство; 3 – молотки ротора; 4 – решето;
 5 – шатун; 6 – вал; 7 – вентилятор; 8 – трубопровод; 9 – канал; 10 – циклон;
 11, 12 – направляющая; 13, 14 – барабан; 15 – дека; 16 – ведущая шестерня;
 17 – вал; 18 – щитки; 19 – заслонка

Рисунок 1.6 – Молотковая дробилка

Недостатком данной конструкции является большая металло- и энергоемкость, низкая пропускная способность, большие габариты корпуса дробилки.

На современном этапе многих исследователей интересует проблема применения измельчителей, конструктивно и технологически отличающихся от молотковых, в частности - центробежных дробилок. В основе их действия

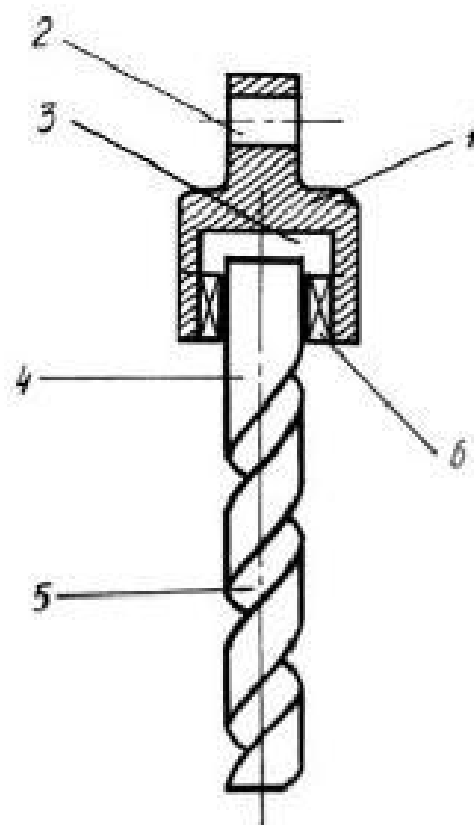
- принцип разгона зерновки при воздействии центробежных сил инерции, с ударом о преграду. Однако, большинство измельчителей характеризует низкая энерго и металлоемкость, среднее качество полученного продукта, пониженный уровень шумового воздействия и вибрации, и др. В настоящее время использование данного вида измельчителей определяется низким исследованием конструктивных параметров, а также отсутствием принятых методик расчета параметров и режимов работы их основных рабочих органов.

Проведенный анализ существующих конструкций указывает на перспективность разработки новых рабочих органов для дробилок зерна, которые отвечали бы следующим требованиям: высокая пропускная способность с минимальными затратами энергии, высокое качество помола, простота технического обслуживания и ремонта.

1.3.2. Анализ молотков для дробления

Для измельчения зерна в молотковых дробилках применяются молотки различного исполнения, в основном они изготавливаются в виде прямоугольных пластин с отверстиями для крепежа. Но есть молотки и других исполнений, некоторые из которых приведены ниже.

Молоток молотковой дробилки выполнен в виде подвеса (рисунок 1.7). Молоток молотковой дробилки выполнен в виде подвеса 1, имеющего отверстие 2 для крепления на роторе. При этом он снабжен отверстием 3, перпендикулярным отверстию 2, в котором установлен стержень 4 с возможностью вращения, причем стержень 4 имеет спиралевидные канавки 5. Стержень 4 соединен с отверстием 3 посредством подшипника качения 6. В качестве стержня 4 использовано спиралевидное сверло [10].



1 - подвес; 2 - отверстие; 3 - отверстие; 4 - стержень; 5 - спиралевидные канавки; 6 - подшипник

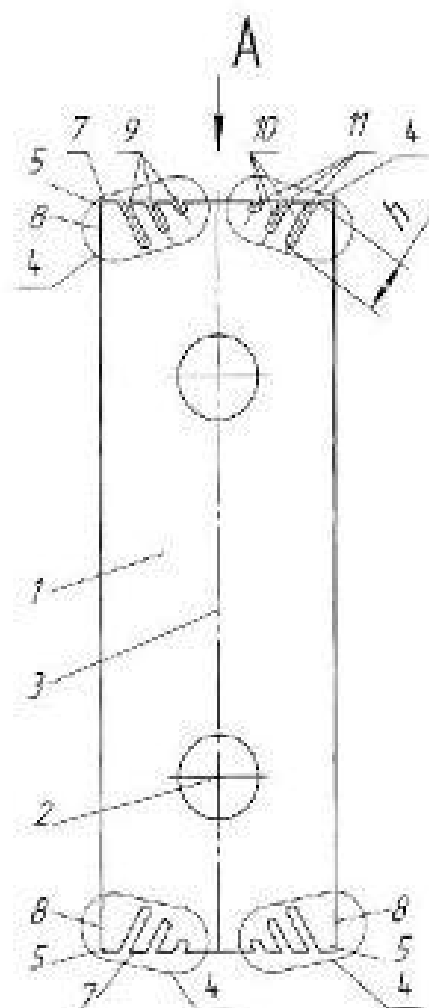
Рисунок 1.7 - Молоток

При вращении ротора дробилки молоток наносит эффективные удары по размалываемому материалу и благодаря спиралевидным канавкам 5, нанесенным на стержень 4, обеспечивается отскок значительной части раздробленных частиц вбок под углом к плоскости вращения молотка при перемещении размалываемого материала вдоль оси ротора дробилки. Этому способствует и воздушный поток, создаваемый спиралевидными канавками 5 стержня 4.

Благодаря тому, что стержень 4 соединен с отверстием 3 посредством подшипника 6, он вращается вокруг своей оси, что дает возможность равномерному износу всей рабочей поверхности молотка, тем самым повышается его износостойкость.

Вызывает интерес молоток дробилки прямоугольной формы с отверстиями на продольной оси симметрии и рабочими участками по углам

прямоугольника с упрочненными торцовыми и лобовыми гранями (рисунок 1.8) [11].



1 - молоток; 2 - отверстие; 3 - ось симметрии; 4 - рабочие участки; 5 - углы прямоугольника; 6 - торцовые грани; 7 - лобовые грани; 8 - ось симметрии; 9 - прорези; 10,11 - стенки

Рисунок 1.8 - Молоток дробилки прямоугольной формы с упрочненными торцовыми и лобовыми гранями

Молоток 1 дробилки прямоугольной формы содержит отверстия 2 на продольной оси симметрии 3 и рабочие участки 4 по углам 5 прямоугольника с упрочненными торцовыми 6 и лобовыми гранями 7 и 8. На лобовых гранях 7 выполнены прорези 9, стенки 10 и 11 которых образуют дополнительные лобовые грани.

Данное исполнение позволяет увеличить ресурс молотка за счет создания дополнительных упрочненных лобовых граней, вступающих в контакт с измельчаемым материалом по мере износа основных граней.

Использование таких молотков, конечно, увеличивает ресурс, но технология изготовления данных типов усложняется.

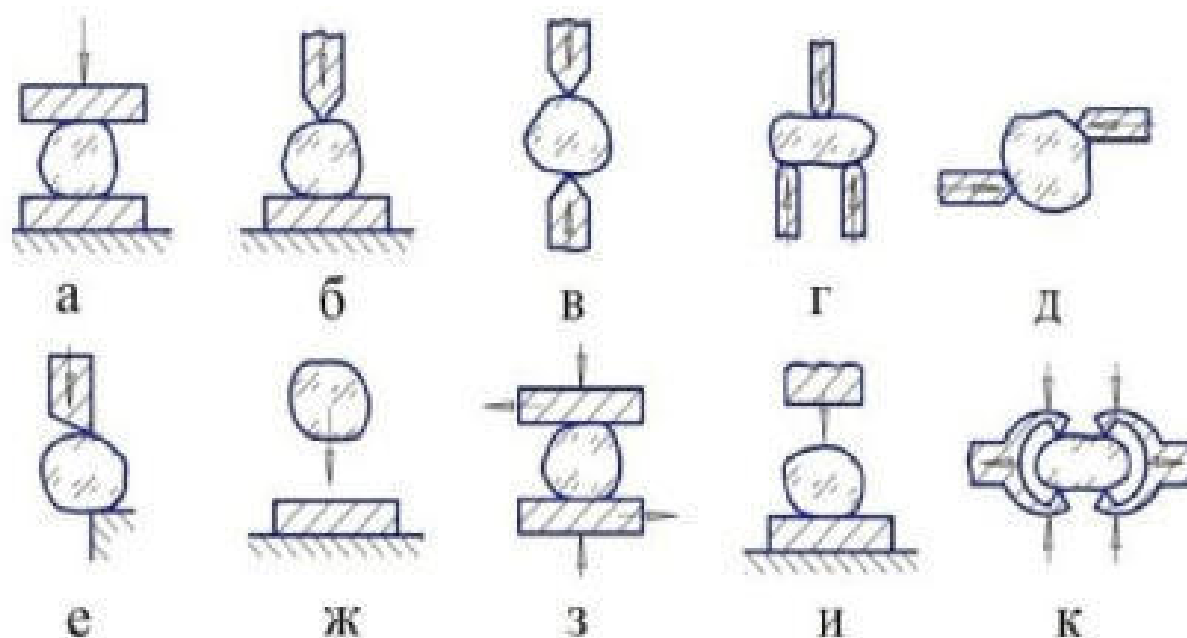
1.4 Анализ теоретических исследований технологического процесса измельчения зерна

Способы воздействия на материал при измельчении.

Подбор лучшего способа дробления кормов влияет не только на равномерность состава, но и на качество готовой продукции, а кроме того на наличие в ней значительного числа мелких фракций. Отталкиваясь из рассмотренных концепций, дробление материала - это разделение тела на две либо более двух частей, совершающееся при приложении постоянного или медленно меняющегося во времени напряжения. Данные напряжения могут быть нормальными $[\sigma]$ и касательными $[\tau]$, при этом к нормальным относятся растяжение и сжатие, а к касательным сдвиг [13, 23].

Таким образом, все без исключения методы влияния на использованный материал считаются производными пары ключевых напряжений и, по сути, отличаются лишь разностью их появления и находятся в зависимости от формы действующих на разрушаемый материал рабочих органов. При этом в наибольшей степени подходящий (в меньшей степени энергозатратный, не трудоемкий, легко осуществимый) метод для разных типов использованных материалов будет неодинаков.

Измельчение материалов либо их разрушение со стороны рабочих органов измельчителей осуществляется согласно показанным на рисунке 1.9 схемам и их комбинациям [11, 12, 20, 21].



а - сжатие; б - раскалывание; в - разламывание; г - изгиб; д - сдвиг; е - срез;
ж - свободный удар; з - истирание; и - стесненный удар; к - растяжение

Рисунок 1.9 - Тип воздействия

Сжатие (рисунок 1.9 а) производится между двумя поверхностями, которые сжимают продукт до потери им упругости, вследствие чего последний размельчается. Его производные: свободный и стесненный удар, раскалывание, разламывание являются самыми распространенными способами разделения материала на части, в том числе и в сельском хозяйстве. Тело деформируется под действием нагрузки и когда внутренние напряжения в нем превысят предел прочности сжатию, разрушается.

Удар, в результате которого тело распадается на части под действием динамической нагрузки, бывает стесненным и свободным. При *стесненном* ударе (рисунок 1.9 и) тело разрушается между двумя рабочими органами измельчителя.

Эффект такого разрушения зависит от кинетической энергии ударяющего тела.

При *свободном* ударе (рисунок 1.9 ж) разрушение тела наступает в результате столкновения его с рабочим органом измельчителя или другими телами в полете. Эффект такого разрушения определяется скоростью их столкновения независимо от того, движется разрушаемое тело или рабочий

орган. Это придает измельчению случайный характер, а также отсутствует возможность по управлению за размером получаемого материала. При резании энергия тратится, с одной стороны, на преодоление силы сцепления разрезаемых частиц, а с другой стороны — на трение поверхности резца о продукт. Сопротивление трения при резании является вредным, поэтому коэффициент трения резца должен быть наименьшим.

Раскалывание (рисунок 1.9 б) и *растамывание* (рисунок 1.9 в) происходят в местах сосредоточения больших нагрузок, передаваемых клинообразными рабочими веществами, за счет чего получают более однородный по гранулометрическому составу материал, чем при ударе. Измельчение скалыванием производится при воздействии на продукт двух поверхностей, движущихся с определенной скоростью одна относительно другой. Такое же скалывание произойдет, если в движении находится только одна поверхность, а другая неподвижна, и даже тогда, когда обе поверхности двигаются в одну сторону, но с разной скоростью.

Процесс скалывания происходит вне зависимости от того, будут ли эти поверхности находиться в горизонтальном или вертикальном положении.

Ввиду того что при скалывании измельчающим усилием является сила трения, увеличение коэффициента трения между рабочей поверхностью и измельчаемым продуктом желательно.

Сдвиг (рисунок 1.9 д) и его производные скол и срез сопровождаются воздействием касательных напряжений и когда эти напряжения становятся критическими объект дробления разрушается за счет смещения одной его части относительно второй. Деформация сдвига, доведенная до разрушения материала, именуется срезом (применительно к металлам) или же скалыванием (применительно к неметаллам).

При *срезе* или *скалывании* (рисунок 1.9 е) материал делится на части заранее заданных размеров и формы путем последовательного срезания (скола) частей основного куска материала. Измельчение резанием осуществляется рабочими частями, сделанными в виде резцов, которые при

движении в противоположных направлениях разрезают продукт. Такие способы воздействия на материал зачастую менее энергоемки и позволяют более эффективно прогнозировать размерные характеристики готового измельченного продукта. При резании энергия тратится, с одной стороны, на преодоление силы сцепления разрезаемых частиц, а с другой стороны — на трение поверхности реза о продукт. Сопротивление трения при резании является вредным, поэтому коэффициент трения реза должен быть наименьшим. При резании энергия тратится, с одной стороны, на преодоление силы сцепления разрезаемых частиц, а с другой стороны — на трение поверхности реза о продукт. Сопротивление трения при резании является вредным, поэтому коэффициент трения реза должен быть наименьшим. В качестве примера измельчающих машин, работающих по принципу удара, можно указать на дезинтеграторы и молотковые дробилки.

Растяжение (рисунок 1.9 к) основано на эффекте необратимой деформации, поэтому процесс разрушения основан на предельной прочности разделяемого материала при отрицательном нормальном напряжении. Это такой способ воздействия, при котором сила создает напряжение в материале и вызывает его удлинение до того момента, когда величина напряжения превысит прочность материала, т. е. происходит его разрыв.

Примером комбинации нескольких напряжений (нормальных и касательных) являются *изгиб* (рисунок 1.9 г) и *истирание* (рисунок 1.9 з). При истирании материал измельчается между двумя поверхностями, а сопровождается такое разрушение сдвиговыми, растягивающими и иногда сжимающими деформациями.

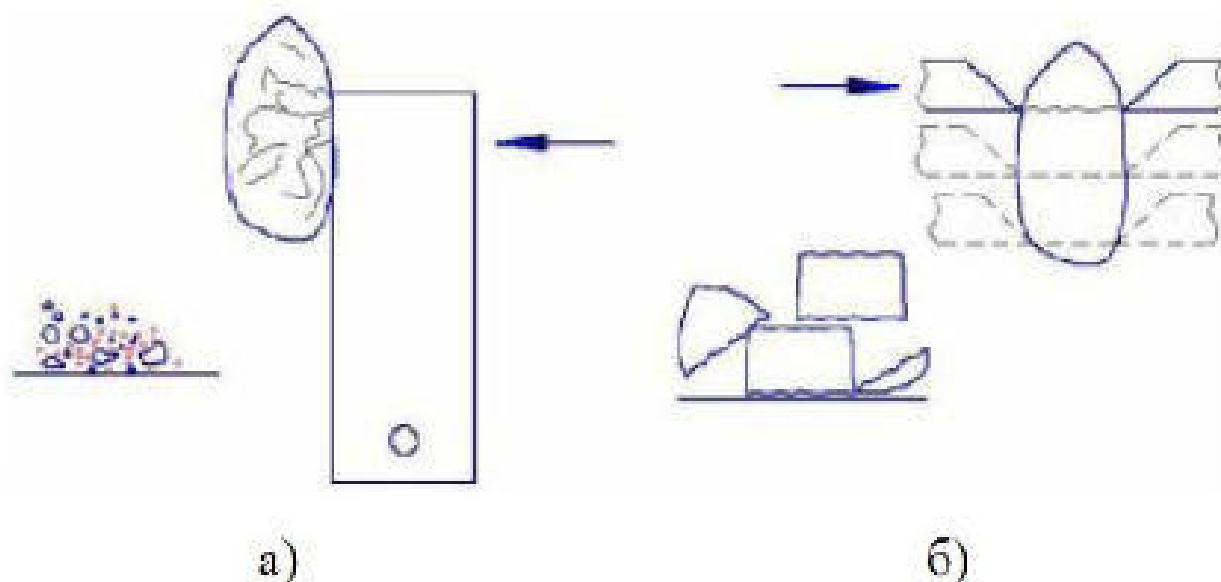
При изгибе, как правило, происходит приложение к телу растягивающих и сжимающих напряжений.

В целях получения готового продукта в дробилках применяются разнообразные принципы разрушения: сжатие, сдвиг, истирание, удар, скалывание, резание, а кроме того различные их комбинации. Использование

этого либо другого принципа оказывает значительное воздействие в энергоемкость процесса и гранулометрический состав готового продукта. Предсказать объем элементов, получаемых в ходе дробления материала, возможно только лишь при срезе. Во время раскалывания и разламывания форма элементов переменчива, но однородна по размерам, в других вариантах, к примеру, при ударном, разделении материала на части получают частицы разного объема и формы.

Согласно сведениям проведенных исследований прочностных качеств зерновых материалов разных сельскохозяйственных культур, проведенных Я. Н. Купришом, В. Я. Гиршсоном, В. А. Елнессвым и остальными учеными, разрушающие действия для твердой и мягкой пшеницы влажностью от 13,1% вплоть до 14,3% составляют на сжатие 6,08...12,75 МПа, в скалывание 4,32...10,84 МПа, и на срез 3,04...9,22 МПа. При этом, значение имеют не только физико-механические качества, но и ориентация в период разрушающего влияния, расположение бороздки и прочие условия, связанные с анизотропностью и биологической структурой зерновок, а кроме того с динамикой процесса.

При измельчении «твердых», «хрупких» зерновых материалов, когда влажность не превышает 14,5...17%, срез и растяжение являются менее энергоемкими среди перечисленных способов разрушения. Однако, принцип растяжения, как и чистый сдвиг (срез) сложно организовать в современных технических условиях, а при широко распространенном измельчении зерна ударом влет образуется одна или несколько ветвящихся трещин, что и обуславливает большой разброс продукта по размерам и его переизмельчение. В данной ситуации наиболее оригинальным и эффективным является разрушение зерновок способом «скалывание-срез», когда по ней наносится удар двух лезвий, при этом формируется прямолинейная трещина, развивающаяся, как правило, без ветвления. Это и приводит к тому, что способ «скалывание-срез» дает более выровненный по размерам и фракционному составу измельченный продукт (рисунок 1.10).



а - измельчение ударом влет; б - измельчение способом «скалывание-срез»
 Рисунок 1.10 – Схемы измельчения зерновок и получаемый продукт
 измельчения

Измельчители, реализующие измельчение использованного материала последовательным срезанием и скалыванием его элементов сводят к минимуму количество формирования мелких фракций, не удовлетворяющих зоотехническим условиям, дают возможность корректировать объем частиц готового продукта и уменьшают потребление электроэнергии.

Из исторически сложившихся способов приложения разрушающих усилий к измельчаемому материалу можно выделить основные: сжатие, сдвиг, срез как частный случай сдвига, истирание и удар. Эти способы широко применяются в современных измельчительных машинах. Однако вследствие непрерывности процесса и неупорядоченности расположения частиц измельчаемого материала в рабочих объемах машин и между их основными рабочими органами процесс разрушения, как правило, осуществляется при комбинированном воздействии нескольких способов. При этом преобладающую роль всегда играет тот способ, который наиболее эффективен для данных физико-механических свойств.

Широкое разнообразие физико-механических свойств, традиционных и вновь разработанных пищевых продуктов, необходимость получения

продуктов со специфическими свойствами для новых технологий стимулировало развитие и создание многочисленных способов измельчения и аппаратов, реализующих их.

В современной практике измельчения многие способы носят научный или препаративный характер и их практическое применение определяется и будет определяться экономической целесообразностью. Актуальность такого подхода обуславливается тем, что измельчение относится к самым энергоемким и металлоемким процессам. Поэтому в сформулированном в последние десятилетия направлении по созданию ресурсо- и энергосберегающих технологий приоритет принадлежит разработке, созданию и развитию новых способов измельчения.

В работах по изучению прочности и механического разрушения зерна в машинах пищевой промышленности основной акцент направлен на разработку теории его прочности, механизм разрушения – кинетику молекулярных связей при упруго-вязких деформациях, образование и рост трещин, релаксацию напряжений в результате длительных механических деформаций сжатия, сдвига и изгиба, приводящих к постепенному заданному измельчению.

Исходя из биологических особенностей строения зерновки (рисунок 1.11), она рассматривается как комплексная конструкция, прочность которой определяется множеством факторов – это: свойства структурных тканей оболочек и эндосперма, совокупности «конструкции» в целом и продуктов помола.

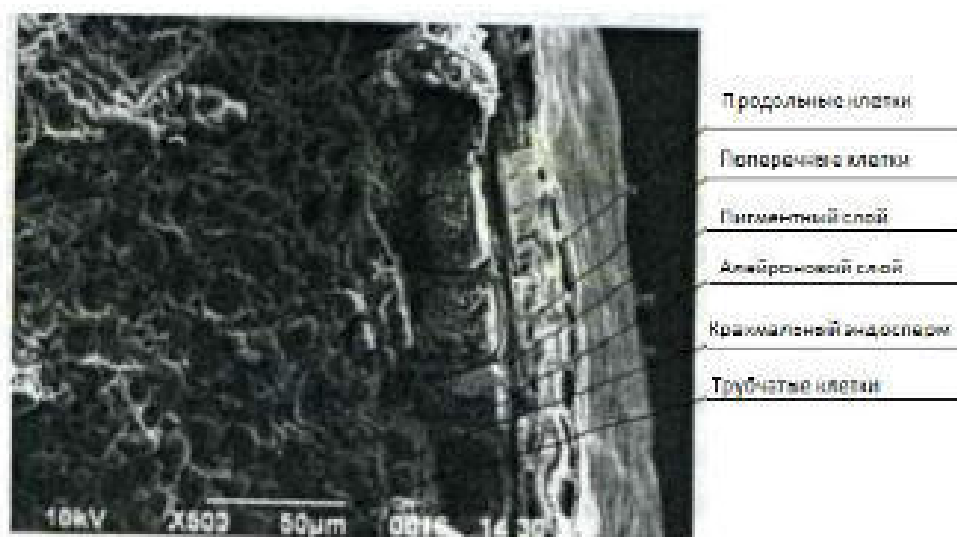


Рисунок 1.11 – Строение зерновки пшеницы

Авторы исследований обращают внимание на различные пределы прочности оболочки в целом 209,9 кгс/см² (эпикарпий, мезокарпий и пигментный слой) и эндосперм (айлероновый слой), крахмалистый эндосперм и трубчатые клетки – эндокарпий – 133, кгс/см². Такое строение характерно для большинства зерновок семейства мятликовых (рисунок 1.12)



1 – твердая пшеница; 2 – мягкая пшеница; 3 – рожь; 4 – кукуруза; 5 – рис;
 6 – ячмень; 7 – овёс

Рисунок 1.12– Зерновки семейства мятликовых

Поэтому измельчение зерновки рекомендуют производить по ее толщине, когда ее скелет занимает необходимую ориентацию относительно поверхностей рабочих органов измельчителя. При такой ориентации зерновки, бороздка способствует ее раскрытию, «развертыванию» прочностных оболочек, высвобождая эндосперм для прямого воздействия на него рабочих органов измельчителя, росту неравновесных границ диспергирования и снижению затрат энергии на измельчение. Для описания параметров процесса авторы определяют следующие характеристики зерновок: модуль сдвига, коэффициент Пуассона, плотность совокупной структуры и коэффициент смещения, рассматривая процесс в статике без учета влияния кинематических параметров рабочих органов на упруго-вязкие (пластические) особенности материалов растительного происхождения.

Следуя, в целом, объединенной теории измельчения, энергию γ разрушения целлюлозного скелета, затрачиваемую на образование новых поверхностей, предлагается определять по формуле (1.1):

$$\gamma = GK^2 \rho \ln\left(\frac{D_{ср}}{2K}\right) / 4\pi(1 - \mu), \quad (1.1)$$

в которой G – модуль сдвига; μ – коэффициент Пуассона; K – коэффициент смещения; ρ – плотность зерновки; $D_{ср}$ – средневзвешенный размер частиц помола.

Следует отметить, что коэффициент Пуассона μ (ν), модуль продольной упругости E , модуль сдвига G , являются константами материалов с решетнокристаллической структурой, подчиняющихся закону Гука. Применение их для описания упруго-вязких материалов растительного происхождения является допущением, требующим обоснования.

Исследованиями процессов приготовления и переработки в технологиях сельскохозяйственного производства установлены функциональные зависимости напряжений и деформаций от времени и скорости воздействия с учетом упруговязких особенностей элементов, в

основу которых принят основной упрощенный закон линейного деформирования, решение которого относительно напряжения для деформации с некоторой скоростью ω имеет вид:

$$\sigma = E\omega t + n(H - E)\omega \left(1 - \frac{t}{\omega}\right), \quad (1.2)$$

где t – время нарастания деформаций – продолжительность нагружения, ϵ , а величина $n(H - E)\omega$ представляет собой опережение напряжений по сравнению со статической величиной $E\omega t$.

Графически изменение напряжения во времени для такого режима представлено на рисунке (1.13) из которого следует, что скорость деформации оказывает влияние на величину и структуру напряжений в упруго-вязких системах.

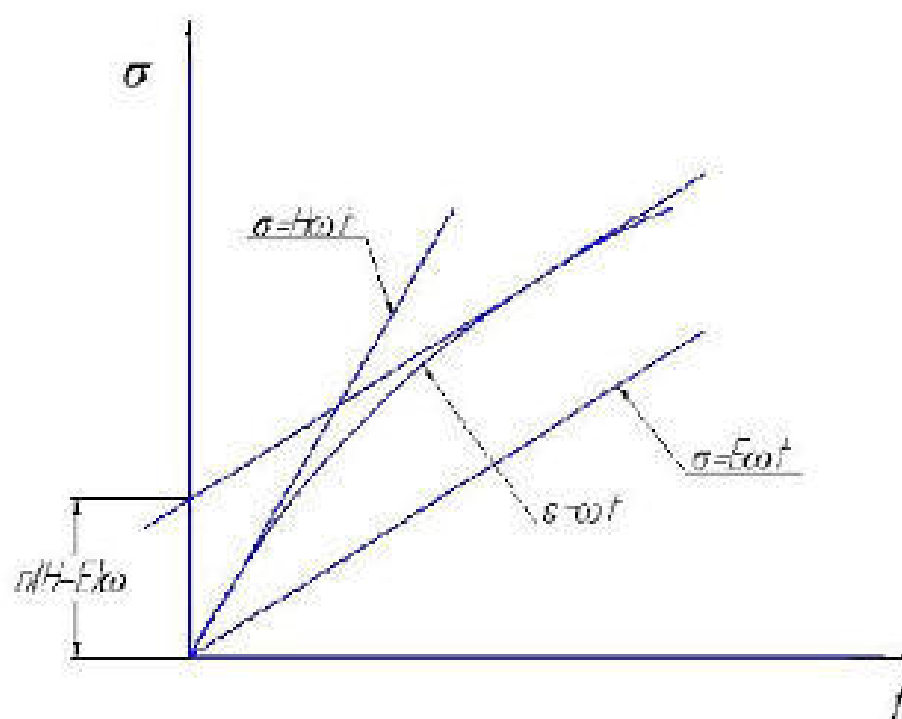


Рисунок 1.13 – График изменения напряжения в функции времени

Таким образом, длительность нахождения зерновки в рабочем пространстве измельчителей, продолжительность воздействия рабочих органов машины на исходный объект и продукты разделения на части определяют характер и энергетику процесса в целом (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики некоторых измельчителей зерна

Марка, модель	Производительность, т/ч	Мощность привода, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Линейная скорость работы органов, м·с ⁻¹	Время деформации зерна, с·10 ⁻⁵	Удельная Энергоемкость, кВт·ч/т	Примечания
КДМ-5	До 5	30	2940	73,5	5,5	6,0*	молотковая
ДМВ	9-18	75-132	1500		2,6	8,33-7,33*	вертикальная
КД-2А	До 3	22	2725	68,1	4,8	7,33	90 молотков
УФИ(ГПУ ВНИИМЖ)	3-4	30	-	-	-	10-7,5	**
Ф-1М	До 2	23,1	2950	73,5	5,5	11,55	54 молотка
КДМ-2	До 2	30	2725	68,125	4,9	15*	90 молотков
ЗС25х80	До 4	18	678	8,475	180	4,5	Нарезн. валцы
ЗМ25х80	2,0	14	430/350	5,375/4,375	220	7	Нарезн/глад валцы
Skiold SK-2500	05,2-2,8	5,5-22	-3000	-	-620	11-2,75***	дисковая

SK-5000	13,5		3000		620	7,25- 2,93***	
Skiold-Prof 10T	6,8- 13,5	55	3000	-	620	8,08- 4,07** *	дисковая

* – содержание пылевидных частиц до 40%

** – снижает содержание пылевидных частиц на 8-11%

*** – содержание частиц размером менее 1 мм – около 50%

Из данных таблицы следует, что уровень удельной энергоемкости процесса коррелирует с временным параметром и требует установления функциональной зависимости.

Результаты исследования дисковой дробилки (по патенту РФ 2511291), рабочие диски которой имеют элементы деформации и релаксации, обеспечивающие постепенное наращивание напряжений в зерновках и частицах измельчения, подтверждают перспективу энергосбережения и улучшения фракционного состава помола.

Скорость относительной деформации обеспечивается геометрическими параметрами бороздок подающего и модульного поясов дисков, частотой вращения и определяется зависимостью (1.3) :

$$\omega_{\text{псд}} = \omega_0 R_l \operatorname{tg} \alpha' / (h_n + \delta_m), \quad (1.3)$$

где ω_0 – угловая скорость диска, с^{-1} ; R_l – расстояние от оси вращения диска до произвольной точки на плоскости подающей бороздки, м; α' – угол подъема дна бороздки в аксиальном сечении, град; h_n – суммарная высота приемных конусов подвижного и неподвижного дисков; δ_m – модульный зазор между дисками.

На площадках релаксации частицы, не достигшие размеров требуемых регулировкой, деформации не подвергаются – энергия деформации

накапливается в их структуре. Частицы заданных размеров, независимо от точки их отделения от частей зерновки беспрепятственно попадают в междисковое рабочее пространство под действием центробежных сил.

Однако все выше представленные разработки не решают проблемы кардинального снижения энергетикки процесса дробления и повышения качества помола. Основываясь на трудах академика В.П. Горячкина, следует предположить, что эта задача может быть решена совершенствованием технологического процесса дробления зерна. Разработкой подобной машины посвящена данная работа.

1.5 Цель и задачи исследования

Цель исследования – повышение качества дробления на основе разработки установки для дробления зерна.

Задачи исследования:

1. На основе проведенного анализа конструкций машин для дробления зерна и их классификации, разработать схему и конструкцию дробилки зерна молоткового типа.
2. Установить рациональные конструктивные параметры и режимы работы дробилки.
3. Провести исследования процесса дробления зерна на разработанной дробилке молоткового типа в лабораторных условиях.

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА

2.1 Устройство и принцип работы разработанной дробилки зерна

Для проведения исследований была разработана и изготовлена опытная безрешетная молотковая дробилка кормов (рисунки 2.1, 2.2).

Дробилка состоит из рамы (5), корпуса дробильной камеры (2) с горизонтальным ротором, представляющего собой барабан с неподвижно закрепленными молотками, установленный на горизонтальном валу, который вращается в подшипниковом узле. Привод осуществляется от электродвигателя (3) через клиноременную передачу (6). Имеется приемный бункер (1), загрузочная (10) и выгрузная (11) горловины с регулировочной заслонкой (9). На внутренней поверхности рабочей камеры установлены бичи.

Рабочий процесс осуществляется следующим образом. Исходный материал (зерно) загружается в определенном количестве в приемный бункер (1). При открытии заслонки (9) зерно через загрузочную горловину (10) поступает в рабочую камеру дробилки, где происходит измельчение за счет ударных действий неподвижных молотков, удара о внутреннюю поверхность рабочей камеры, истирания в воздушно-продуктовом слое. Измельченный материал удаляется из камеры через выгрузную горловину (11). С помощью заслонки (9) изменяется производительность дробилки.

Регулирование степени измельчения λ осуществляется изменением времени пребывания t материала в рабочей камере дробилки. Это достигается за счет перемещения загрузочной горловины вместе с приемным бункером вверх - вниз по корпусу дробильной камеры. При расположении загрузочной горловины с приемным бункером в крайнем верхнем положении и заслонки на выгрузной горловине в крайнем нижнем положении основная масса измельчаемого материала совершает несколько оборотов в рабочей камере и, следовательно, находится там максимальное время, при этом степень измельчения λ будет максимальной. А когда загрузочная горловина с бункером находится в крайнем нижнем положении,

а заслонка в крайнем верхнем - основная масса измельчаемого материала совершает один неполный оборот, то есть находится в рабочей камере дробилки минимальное время, и поэтому степень измельчения будет минимальной. Перемещая загрузочную горловину с бункером и заслонку между двумя крайними положениями добиваемся получения различной степени измельчения. Регулирование степени измельчения становится возможным благодаря тому, что высота выгрузного канала, считая от нижней плоскости рабочей камеры, меньше длины молоткового барабана.

Для проведения исследований процесса дробления в безрешетной молотковой дробилке, согласно программы экспериментальных исследований, была разработана и создана экспериментальная установка. Установка предназначена для исследования процесса дробления с целью определения влияния конструктивных и технологических параметров на основные технико-экономические показатели безрешетной молотковой дробилки вертикального типа.

Конструкция установки позволяет:

- изменять:

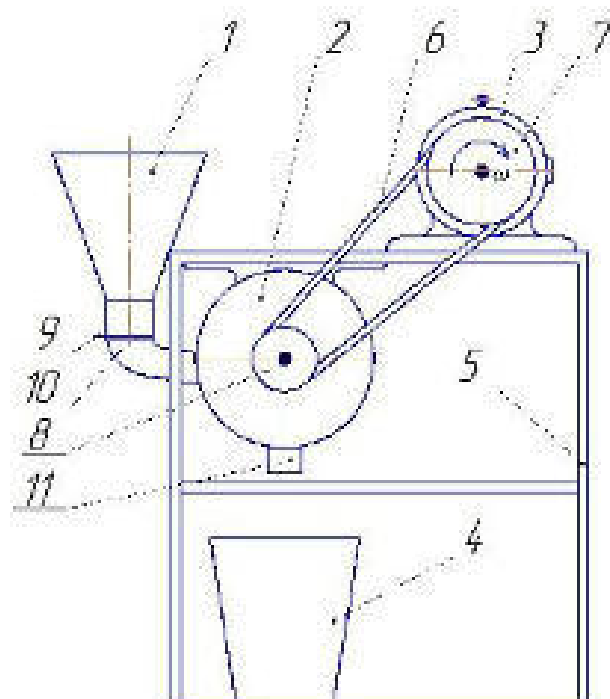
- а) производительность дробилки;
- б) модуль помола измельчаемого продукта;
- в) время пребывания материала в рабочей камере;

- измерять:

- а) среднюю скорость воздушно-продуктового слоя;
- б) затраты энергии на процесс дробления;

- проводить:

- а) отбор измельченного материала в зависимости от частоты вращения барабана;
- б) ситовый анализ измельченного продукта.



1 – загрузочный бункер, 2 – корпус дробильной камеры,
 3 – электродвигатель, 4 – приемная емкость, 5 – рама, 6 – ремень клинновой, 7,
 8 – ведущий и ведомый шкив соответственно, 9 – заслонка, 10 – загрузная
 горловина, 11 – выгрузная горловина

Рисунок 2.1– Схема опытной безрешетной молотковой дробилки



Рисунок 2.2 – Общий вид безрешетной молотковой дробилки



Рисунок 2.3 – Расположение бичей в безрешетной молотковой дробилке



Рисунок 2.4 – Ротор дробилки кормов

2.2 Технологические и конструктивные расчеты дробилки зерна

Измельчением называется процесс механического разделения твердого тела на части. При этом действующие на тело внешние силы превосходят силы молекулярного сцепления.

Технологический результат работы дробильной машины оценивают тремя основными характеристиками:

- 1) размер раздробленных частиц;
- 2) их форма;
- 3) распределение частиц по размерным классам.

Несмотря на широкое распространение в технике и науке, процесс дробления теоретически мало изучен и еще недостаточно практически освоен. На современных измельчающих машинах производственного типа нельзя достичь точных размеров, определенной формы и наперед заданного распределения по размерным классам частиц раздробленного материала. Объясняется это прежде всего тем, что процесс дробления зависит от очень многих причин, частично совершенно случайных, поэтому по своему характеру весьма сложен.

Основные факторы, влияющие на процесс дробления, сводятся к следующему:

- 1) свойства материала: прочность, твердость, вязкость, однородность, состояние и вид поверхности, степень влажности, размеры, форма и взаимное расположение дробимых кусков, коэффициент трения между частицами материала и другие;
- 2) свойства дробильной машины: форма и состояние дробящей поверхности, ее скорость и характер движения, масса рабочего органа

(соотношение масс рабочего органа и материала), коэффициент трения рабочей поверхности по материалу и другие.

Дробление не только по количеству затрачиваемой энергии, но и по износу рабочих частей машины относительно весьма дорогой технологический процесс, и поэтому основной принцип дробления во всех отраслях, где измельчение материалов производят в производственных масштабах, — не дробить ничего лишнего.

Выполнением этого требования достигают:

- 1) уменьшения расхода энергии;
- 2) увеличения производительности;
- 3) уменьшения износа рабочих частей машины.

Возможно более точное дробление до заданных размеров уменьшает преобразование. Пыль нежелательна в техническом, гигиеническом и экономическом отношениях. Она повышает износ машины, а также и расход энергии, так как увеличивает трение, затрудняет обслуживание и вредна для людей и животных, так как засоряет их дыхательные пути. Пыль представляет собой в значительной степени потери продукта. Мучная, сахарная, угольная, алюминиевая пыль также, как и пыль многих других материалов, не способных к легкому воспламенению, взрывоопасна. Например, алюминиевая, магниевая и другая металлическая пыль также, как и мучная, может при взаимодействии с кислородом воздуха воспламеняться и взрываться от нагревательных приборов, электрической искры рубильника и других. Взрывы пыли чрезвычайно разрушительны, предупреждение их основано на эффективной вентиляции и правильной организации производства.

Ни одно из современных измельчающих устройств не может сообщить измельченному продукту монодисперсное состояние, и количество слишком крупных и чрезмерно измельченных частиц продукта доходит обычно до 25%. Количество пыли составляет 2% и больше.

Дробление может быть не только сухое, но и мокрое (смачивание дробимого материала водой). При мокром дроблении вместо пыли образуется шлам, условия работы благодаря этому более гигиеничны и безопасны, так как устраняется запыление воздуха и исключается возможность взрывов.

Для достижения более точного дробления применяют сортирующие устройства, при помощи которых направляют слишком крупные куски обратно в дробильную машину (дробление замкнутым циклом).

Современное состояние теорий еще не дает оснований к аналитическому расчету пропускной способности дробильных устройств.

С некоторым приближением можно рассчитывать часовую производительность молотковой дробилки по следующей эмпирической формуле:

$$Q = \frac{3,6 \cdot \kappa \cdot \rho \cdot D^2 \cdot L \cdot n}{60}, \quad (2.1)$$

где ρ — плотность кг/м³;

D — диаметр ротора, по окружности концов молотков в м;

L — длина ротора в м;

n — число оборотов в минуту;

κ — эмпирический безразмерный коэффициент;

$$Q = \frac{3,6 \cdot 0,00085 \cdot 850 \cdot 0,327184 \cdot 0,27 \cdot 300}{60} = 5 \text{ т/ч.} \quad (2.2)$$

2.2.1 Расчет осей молотков

Во время вращения барабана оси нагружены центробежными силами, действующими на молотки:

$$Q_0 = m\omega^2 r, \quad (2.3)$$

где m - масса молотка, кг;

ω - угловая скорость вращения, 1/с;

r - радиус окружностей центров масс молотков, м.

Ось проходит через три диска (рисунок 2.3), которые служат опорами.

На нагруженную ось действуют 18 сил Q_0 , т.к. на ней расположены 18 молотков.

Ось рассчитывается как балка на двух опорах (рисунок 2.4). Действие третьей, средней опоры заменяется силой R , которая определяется из условий равенства нулю прогиба в этом сечении. Нагрузка при этом принимается равномерно распределенной:

$$q = \frac{18Q_0}{l}, \quad (2.4)$$

где Q_0 - сила, действующая на ось, Н;

l - длина балки, м.

Прогиб в центре балки под равномерно распределенной нагрузкой q и моментом M определяется из выражения:



Рисунок 2.5. Схема расположения неподвижных молотков барабана.

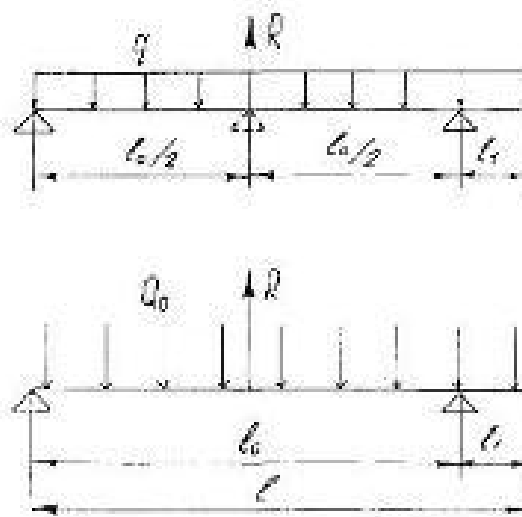


Рисунок 2.6. Расчетная схема оси молотков.

$$f_q = \frac{5ql^4}{384EI} - \frac{Ml_0^2}{16EI}, \quad (2.5)$$

где l_0 - расстояние между опорами, м;

q - распределенная нагрузка, Н/м.

Прогиб под действием силы R в этом сечении (нагрузка на консоли заменяется изгибающим моментом M) определяется:

$$f_R = \frac{Rl_0^3}{48EI}; \quad (2.6)$$

Отсюда

$$f_q - f_R = \frac{5ql_0^4}{384EI} - \frac{Ml_0^3}{16EI} - \frac{Rl_0^3}{48EI} = 0. \quad (2.7)$$

Прогобы и напряжения для балки (рисунок 2.4) определяются как для балки на 2-х опорах, нагруженной рядом сосредоточенных сил.

В результате проведенных расчетов для молотков массой 0,15 кг, при частоте вращения вала 3500 мин^{-1} , максимальной угловой скорости $366,5 \text{ с}^{-1}$, радиусе окружности центров масс молотков 0,2 м был определен диаметр оси молотков d_{oc} равной 20 мм.

Ось молотков рекомендуется изготавливать из стали 40 X с HRC 40...45.

Запас прочности оси по пределу текучести определяется выражением:

$$k_1 = \frac{[\sigma_s]}{\sigma_{sp}}, \quad (2.8)$$

где $[\sigma_s]$ - допустимый предел текучести, МПа;

σ_{sp} - расчетный предел текучести, МПа.

$$k_1 = \frac{[\sigma_B]}{\sigma_{Bp}}, \quad (2.9)$$

где $[\sigma_B]$ - допустимый предел прочности, МПа,

σ_{Bp} - расчетный предел прочности, МПа.

Запас прочности по пределу текучести k_1 равен 1,6, по пределу прочности k_2 равен 2,06.

Полученное значение запаса прочности больше нормативного значения минимально-допустимого значения запаса прочности $[h_{\text{дм}}] = 1,5 \dots 2,0$.

Делаем вывод, что прочность оси обеспечивается.

2.2.2 Расчет молотков

На молоток действует сила Q_0 (рисунок 2.6).

Предел прочности определяется из выражения [41]:

$$\tau = \frac{Q_0}{2c\delta}, \quad (2.10)$$

где Q_0 - действующая на молоток, Н;

δ - толщина молотка, м;

c - расстояние от кромки до отверстия молотка, м.

Предел прочности на срез определяется из выражения:

$$\tau_s = 0,4[\sigma_s], \quad (2.11)$$

где $[\sigma_s]$ - допустимый предел текучести, МПа.

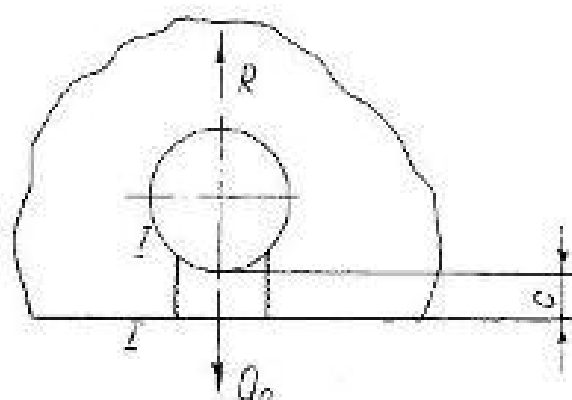


Рисунок 2.7. Схема сил, действующих на диск барабана.

Исходя из конструктивных особенностей и условий работы выбираем материал молотка сталь 20. При $\delta = 0,04$ м, $c=0,022$ запас прочности равен 6,7.

Таким образом при работе ротора молотковой дробилки при максимальной угловой скорости $\omega=366,5$ с⁻¹, запас прочности отдельных деталей молоткового барабана обеспечивает надежную их работу. С учетом возможности появления экстремальных условий нагрузки, которые могут возникнуть во время эксплуатации дробилки, принимаем номинальную угловую скорость ротора дробилки равной $\omega=300$ с⁻¹, что позволит повысить запас прочности.

2.3 Зоотехнические требования, предъявляемые к измельченным концентрированным кормам

В процессе подготовки кормов к скармливанию их необходимо измельчать. За счет измельчения зерна продуктивность животных повышается на 10...15%. Кроме того, необходимость измельчения кормов обусловлена технологическими условиями, так как измельченные корма

легче смешивать при приготовлении кормосмесей. Известно, что чем ближе корма по своему гранулометрическому составу, тем выше качество получаемой смеси и меньше время смешивания.

Измельченные корма также легче дозировать. При хранении и транспортировке они занимают меньший объем. Измельченный корм легче движется внутри технологических линий (в нориях, транспортерах, дозаторах, смесителях и т.д.) и не нарушает технологический процесс.

Зоотехническими требованиями также предусматривается очистка кормов от камней, земли, семян сорных растений, металла и других возможных включений.

К подготовленному зерновому корму зоотехнические требования предусматривают следующие размеры частиц:

до 3 мм – для крупно-рогатого скота;

до 1 мм – для свиней;

до 2...3 мм – для птицы при сухом кормлении и до 1 мм при кормлении влажными мешанками.

Для зерновых кормов однородность смеси должна быть не менее 90 ... 95%.

При измельчении соломы и сена размер резки должен быть следующим: – для крупного рогатого скота 40...50 мм, лошадей –30...40 мм, овец – 20...30 мм. При смешивании с сочными кормами готовят более мелкую резку – 5...10 мм.

Заготовку силоса для крупного рогатого скота целесообразно производить из кукурузы восковой спелости, когда средняя влажность массы всего растения составляет 60...65 %, а зерна – 40...50%. Качество измельчения массы должно быть таким, чтобы стебли были разрезаны на части 20...30 мм и расщеплены вдоль волокон, а зерно – раздроблено на частицы до 3 мм, кочерыжки – до 5...10 мм, оберточные листья – на 40...50 мм. Для свиней и птицы концентрированный корм может приготавливаться из зерно-кочерыжковой смеси, в которой содержится зерно влажностью 35...42

% и 50...60 % кочерыжки. Зерно должно быть измельчено на частицы до 2 мм в количестве не менее 80 %, остальное – на 3...5 мм.

Мелкое измельчение зерна требуется не столько для обеспечения процесса силосования (оно хорошо силосуется и при более крупном измельчении), сколько для хорошего усвоения его животными. Поэтому консервированное крупноизмельченное зерно перед скармливанием необходимо доизмельчать, что приводит к дополнительным затратам.

В ожидании измельчения початки могут храниться на площадке не более двух дней, а зерно – четырех часов.

Согласно ГОСТу 23445-79 «Дробилки молотковые. Общетехнические условия» качество измельченного корма оценивается по остатку на сите диаметром отверстий 3 мм:

- мелкий размол – 5 %;
- средний размол – 10 %;
- крупный размол – 30 %.

При этом наличие неизмельченных, целых зерен не допускается.

Стандартами на комбикорма (ГОСТ 13299-71, 9267-68, 9268-70, 8770-58) установлены три степени размола, которые характеризуются средними размерами частиц:

- мелкий размол – 0,2...1,0 мм;
- средний размол – 1,0...1,8 мм;
- крупный размол – 1,8...2,6 мм.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований .

Программа лабораторных экспериментов предусматривала следующие задачи :

- 1.Разработку и изготовление молотковой кормодробилки;
- 2.Исследование влияния модуля помола M от скорости вращения молотков V ;
3. Исследование влияния зависимости пропускной способности Q от скорости вращения молотков V .
4. Исследование по определению затрат энергии на измельчение.

3.2 Методика определения модуля помола

О качестве продукта, полученного при измельчении, судят по результатам ситового анализа, выполняемого на решетном классификаторе.

Показатель, с помощью которого можно оценить тонкость помола в соответствии с ГОСТом 8770-58, является средневзвешенный диаметр частиц (модуль), определяемый по формуле [16]:

$$M = \frac{0,5 \cdot G_0 + 1,5 G_1 + 2,5 G_2 + 3,5 G_3}{100}, \quad (3.1)$$

где M – модуль помола, мм;

G_0 – масса навески на дне классификатора, г;

G_1, G_2, G_3 – масса навесок на ситах с отверстиями диаметром соответственно 1, 2 и 3 мм, г.

Помол считается:

- тонким при $M = 0,2 \dots 1$ мм;
- средним при $M = 1 \dots 1,2$ мм;
- крупным при $M = 1,8 \dots 2,6$ мм.

О работе дробилки можно судить по степени измельчения зерна, определяемой из выражения:

$$\lambda = \frac{D_z}{d_{cp}}, \quad (3.2)$$

где d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц (модуль) измельченного зерна, мм;

D_z – диаметр шара объемом, равным объему одного зерна, называемый эквивалентным диаметром зерна,

По данным С.В. Мельникова, для расчета можно принять значение D_z для ячменя равным 4,2 мм; овса — 3,7 мм; ржи — 3,3 мм; пшеницы — 3,8 мм.

Определить удельную площадь поверхности зерна из-за сложной его формы довольно затруднительно. Поэтому определение удельной площади поверхности зерна основывается на использовании понятия эквивалентного диаметра D_z .

Определяют эквивалентный диаметр зерна следующим образом.

Из партии зерна отбирают навеску массой 0,5 кг, руководствуясь методикой ГОСТ 3040-55 «Зерно. Методы определения качества».

Из пробы выделяют две навески зерна по 5 г и от каждой из них отобрать по 100 зерен. Взвешивают отобранные 100 зерен и определяют среднюю массу одного зерна.

В наполненный керосином мерный цилиндр (в мензурку) помещают 100 отобранных зерен и по разнице отметок уровня керосина до и после погружения зерен находят средний объем зерна V_3 , см³.

Опыт по определению среднего объема одного зерна V_3 повторяют еще раз на другой партии из 100 зерен и для дальнейших расчетов принимают среднее значение из двух определений.

По полученному значению объема зерна вычисляют эквивалентный диаметр зерна D_z по формуле:

$$D_s = 1.24 \sqrt[3]{V_3} \quad , \quad (3.3)$$

По полученному значению D_s определяют удельную площадь поверхности S_H , $\text{см}^2/\text{г}$ исходного (начального) зернового материала по формуле:

$$S_H = \frac{6}{\rho D_s}, \quad (3.4)$$

где ρ – плотность зерна, $\text{г}/\text{см}^3$.

3.3 Определение производительности

Одним из основных показателей работы машины, является ее производительность.

Производительность определяют в момент установившегося движения. Под установившемся режимом работы дробилки понимается такой период работы, при котором количество зерна, поступающего в камеру на измельчение, равно количеству выходящего продукта в единицу времени. Время определяется исходя из показателей амперметра и индикатора. После установления стрелки прибора на заданном делении включались соответствующие приборы и замерялись показания рабочего процесса.

Часовую производительность определяют по формуле

$$Q = 3600M/t, \quad (3.5)$$

где Q - производительность кормодробилки, $\text{кг}/\text{ч}$;

M - масса отобранной пробы, кг ,

t - время отбора пробы, с .

Взвешивание отобранных проб производили на весах ВП-50 с точностью до 0,01кг.

Относительная ошибка взвешивания была в пределах 0,2...0,3%. Каждый опыт повторяли в 3-х кратной повторности.

3.4 Определение окружной скорости молотков

Окружную скорость молотков можно определить по формуле:

$$V = \pi \cdot R \cdot n / 30, \quad (3.6)$$

где V -окружная скорость, м/с;

R – расстояние от вершины молотка до оси ротора;

n -частота вращения диска, мин^{-1} .

Частоту вращения ротора определяли с помощью тахометра, при установившемся режиме работы дробилки.

Частоту вращения ротора дробилки варьировали, изменяя частоту вращения электродвигателя с помощью векторного преобразователя частоты тока MFC 710 .

3.5 Определение затрат энергии на измельчение

При замере расхода электроэнергии использовали трехфазный счетчик и последовательно подключенный измерительный прибор К-50, которые включались в момент отбора проб. Мощность затрачиваемую на привод дробилки определяли с учетом КПД электродвигателя и его характеристики.

$$\eta = f(P_0), \quad (3.7)$$

где η - К.П.Д. электродвигателя;

P_0 -подводимая мощность, кВт.

Для определения мощности, расходуемой на привод рабочих органов дробилки, применяли формулу

$$N = \frac{3600 \cdot (n_1 - n_2) \cdot C \cdot K_t \cdot \eta}{t}, \quad (3.8)$$

где N - мощность расходуемая на привод в кВт;

n_1, n_2 - показания счетчика в начале и конце замера;

C - постоянная счетчика (цена деления) $C=0.001$ кВт;

K_t - коэффициент трансформации, $K_t=2,5$;

η - КПД привода электродвигателя подводимой мощности.

Так же применяли формулу при определении мощности с помощью прибора К-50

$$N = (N_a + N_b + N_c) \cdot K_t \cdot \eta, \quad (3.9)$$

где $\underline{N}$ - расходуемая на привод дробилки мощность, кВт;

$\underline{N_a}, \underline{N_b}, \underline{N_c}$ - показания ваттметра прибора по фазам А, В, С, Вт;

$\underline{K_t}$ - коэффициент трансформации прибора;

η - КПД электродвигателя.

Для оценки работы молотковой дробилки в качестве критерия оптимизации выбрана величина энергозатрат, отнесенная к единице степени измельчения, т.к. эта зависимость более полно отражает связь энергозатрат качества продукта. Она определяется по формуле:

$$\text{Эп} = (1000 \cdot N_{\text{шм}}) / Q \cdot \lambda, \quad (3.10)$$

где $N_{\text{шм}}$ - мощность, затраченная на измельчение материала, кВт;

Q - подача материала в дробилку, кг/ч;

λ - степень измельчения материала.

3.6 Определение работы при измельчении

Определение работы при измельчении продуктов затрачивается на:

- 1) отделение внутренних поверхностей измельчаемых частиц;
- 2) внутреннее трение частиц при их измельчении;
- 3) трение, возникающее между рабочими поверхностями и продуктом;
- 4) трение движущихся частей машин и другие механические сопротивления.

Ввиду разнообразности направлений, по которым расходуется энергия при измельчении, является почти невозможным дать единую формулу для подсчета энергии при этой процессе.

Однако крошившиеся в течение продолжительного времени исследования в этой области выявили в основном две теории дробления, разработанные Киком и Риттингером.

Как в своей теории исходит из расчета работы, необходимой для деформации измельчаемого продукта.

Из теории упругости известно, что работа деформации при сжатии равна:

$$A = \frac{V \cdot \sigma}{2 \cdot \epsilon}, \quad (3.11)$$

где (σ) — возникающее при деформации напряжение;

(ϵ) — модуль упругости (для зерна 1000—5000 кг/см²);

(V) — объем измельчаемого тем.

Усилие, необходимое для измельчения, согласно теории Кика определяется следующим образом.

Из приведенной формулы (3.13) следует, что отношение работы, потребной для измельчения пропорционального объему измельчаемой частицы продукта:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{a_1}{a_2}, \quad (3.12)$$

где (a_1) и (a_2) — линейные размеры частицы.

С другой стороны, работа равняется произведению силы на путь, поэтому

$$\frac{A_1}{A^2} = \frac{P_1 \cdot S_1}{P_2 \cdot S_2}, \quad (3.13)$$

где (P_1) и (P_2) — усилия измельчения;

(S_1) и (S_2) — соответствующие абсолютные деформации.

По закону Гука деформация тела пропорциональна его линейным размерам:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1}{a_2}, \quad (3.14)$$

Подставляя в равенство (23) вместо отношения деформаций отношение линейных размеров, получаем:

$$\frac{A_1}{A^2} = \frac{P_1 \cdot a_1}{P_2 \cdot a_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (3.15)$$

откуда

$$\frac{P_1}{P^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (3.16)$$

Таким образом, по теории Кика, работа на измельчение пропорциональна объему измельчаемого продукта, а усилия измельчения пропорциональны площади поперечного сечения этого продукта.

Теория Кика более правильна при дроблении крупных продуктов.

3.7 Устройство, материалы и приборы, применяемые в экспериментах

В соответствии с методикой экспериментальной исследований была изготовлена экспериментальная установка общего вида, которого представлен на рисунке 3.1.

Описание экспериментальной установки приведена в подразделе 2.1.

Для регулировки частоты вращения ротора кормодробилки используется векторный преобразователь частоты тока MFC 710. Частоту вращения ротора измеряли с помощью лазерного тахометра. При исследовании влияния частоты вращения на модуль помола использовали векторный преобразователь частоты тока, который менял частоту вращения двигателя тем самым менял и частоту вращения ротора. При установлении

необходимой частоты вращения, открывается задвижка, и начинается процесс дробления зерна.



Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка дробилки зерна

Для определения модуля помола использовали ситовый анализатор марки А20.



Рисунок 3.2 – Анализатор ситовый А20

Используя экспериментальную установку (рисунок 3.1) можно определить рациональные параметры молотковой кормодробилки, частоту вращения ротора, степень открытия задвижки для достижения более качественного помола зерна при минимальных энергозатратах.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Влияние окружной скорости на эффективность работы безрешетной молотковой дробилки

Окружная скорость молотков является существенным фактором, влияющим на основные показатели рабочего процесса. Рассматривая технические характеристики современных молотковых дробилок видно, что окружная скорость варьируется в широких пределах. С целью проверки правильности предпосылок и определения степени влияния окружной скорости на процесс измельчения, был проведен анализ данных полученных экспериментальным путем. Для определения влияния окружной скорости на процесс измельчения в безрешетной молотковой дробилке в качестве основных показателей были приняты модуль помола M , производительность Q и расход энергии N_e .

Эксперименты проводили на молотковой безрешетной дробилке, схема которой представлена на рисунке 3.1. Конструкция экспериментальной дробилки позволяла изменять частоту вращения ротора за счет преобразователя частоты тока и тем самым изменялся скоростной режим работы молотков в широких пределах. Подачу материала осуществляли с помощью заслонки. В качестве измельчаемого материала применяли пшеницу, рожь и горох.

4.1.1 Результаты определения модуля помола

Отличительной особенностью исследуемой безрешетной молотковой дробилки является работа по открытому циклу измельчения с углом обхвата рабочей камеры до 300° и окружной скоростью молотков до 95 м/с.

Исследования проводились с целью расширения технологических возможностей и получения возможности регулирования степени измельчения в безрешетных молотковых дробилках.

Известно, что на степень измельчения оказывают влияние различные факторы. В безрешетных молотковых дробилках к ним относятся: зазор

между молотками и декой или бичами, профиль дробильной камеры, влажность исходного материала, окружная скорость молотков, время пребывания материала в рабочей камере, месторасположение загрузочной горловины, степень открытия выгрузной горловины, положение поворотных жалюзи и т.д.

На основании полученных и обработанных по известной методике данных, были построены зависимости модуля помола M от частоты вращения ротора для различных культур (пшеница, рожь и горох) (рисунок 4.1).

M , мм

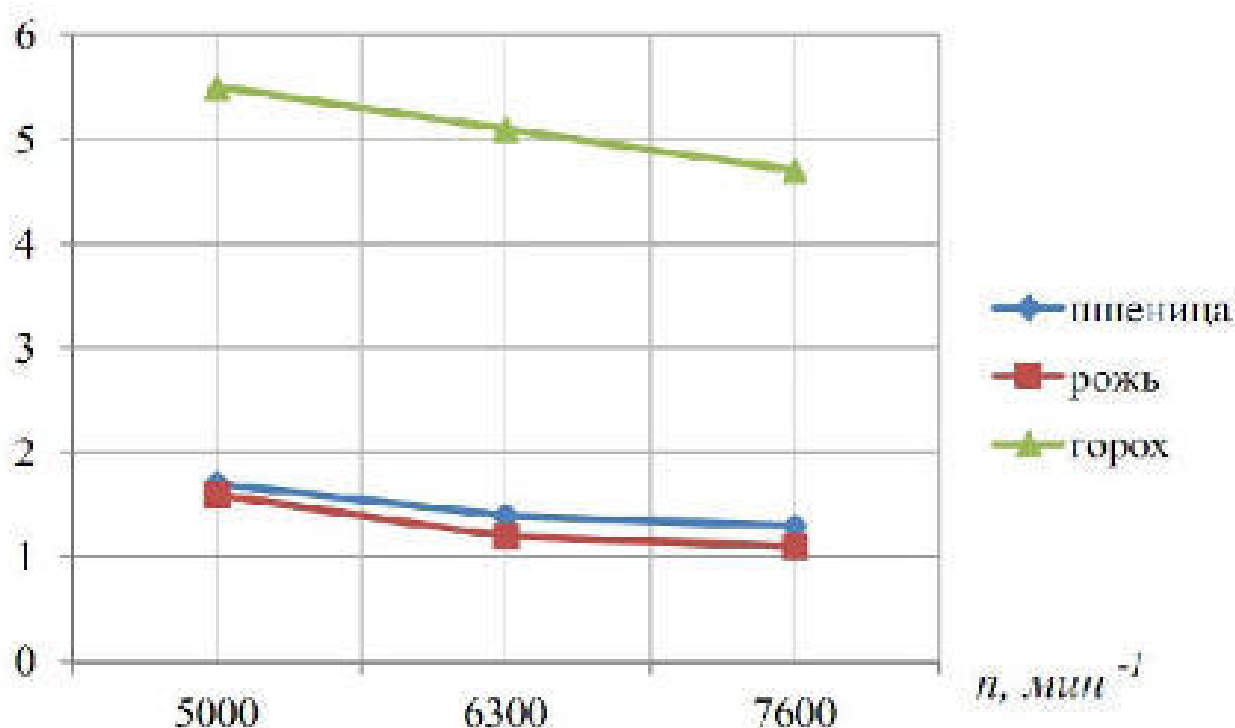


Рисунок 4.1 – Зависимости модуля помола M от частоты вращения ротора n

Как видно из графиков, при увеличении частоты вращения ротора ведет к уменьшению модуля помола культур. Культура горох в отличие от ржи, и пшеницы имеет существенное отличие по модулю помола, это объясняется свойством данной культуры относительно долго препятствовать разрушению.

4.1.2 Результаты определения пропускной способности

Частота вращения ротора так же существенно влияет и на производительность дробилки Q . На рисунке 4.2 представлена зависимость производительности от окружной скорости молотков.

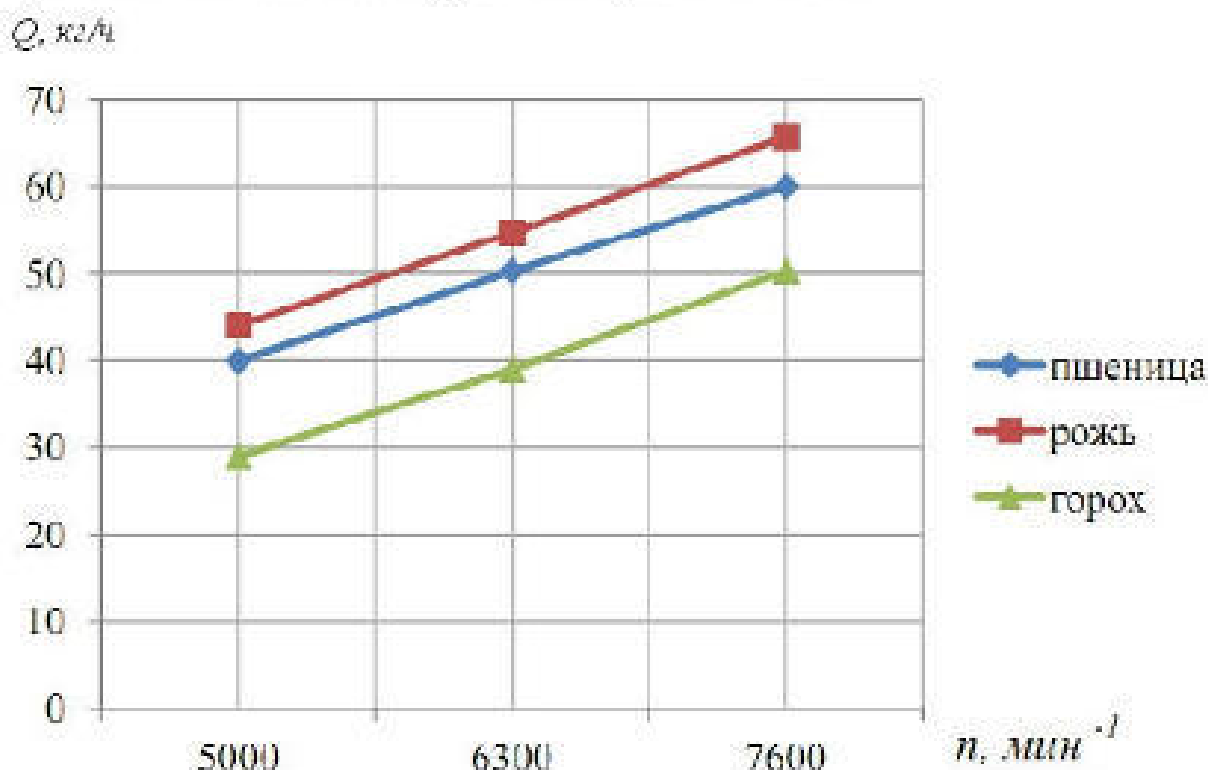


Рисунок 4.2 – Зависимость пропускной способности Q от частоты вращения ротора n

Анализируя полученную зависимость, можно отметить, что увеличение окружной скорости молотков способствует увеличению производительности. Объяснение этому - повышение интенсивности взаимодействия измельчаемого материала с активными и пассивными рабочими органами молотками и отражательными пластинами. В виду того, что процесс работы воздушно-продуктового слоя в данной конструкции осуществляется в циклично пульсирующем режиме, осуществляется разгон и торможение материала, повышение окружной скорости молотков ведет к увеличению скорости взаимного соударения молотков и измельчаемого продукта, а также увеличению скорости и силы удара частиц об отражательные пластины, что непосредственно способствует увеличению производительности.

4.1.3 Результаты определения расхода электроэнергии

Окружная скорость молотков так же существенно влияет на расход энергии. Для выявления рекомендуемого диапазона рабочих скоростей была получена зависимость расхода энергии от окружной скорости молотков, представленная на рисунке 4.3.

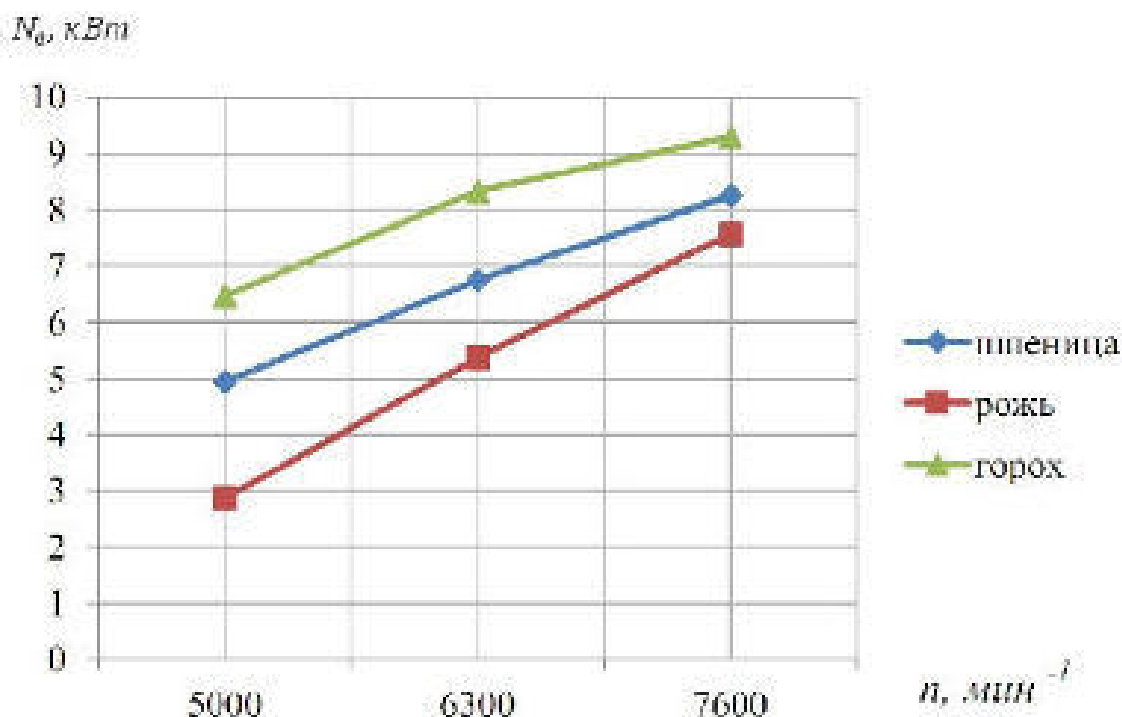


Рисунок 4.3 – Зависимость расхода энергии $N_{\text{в}}$ от частоты вращения ротора n

Анализируя полученные зависимости, можно отметить увеличение расхода энергии с увеличением частоты вращения ротора. Объяснение тому находит следующие: согласно теоретическим предпосылкам работа экспериментальной дробилки, наблюдается соответствие между временем удара, временем соударения и временем цикличности, что способствует увеличению непроизводительных затрат и соответственно увеличению расхода энергии.

4.2 Образцы измельченного корма

На рисунке 4.4 представлены некоторые образцы различных измельченных кормов и материалов.



а)



б)



в)

а) пшеница б) горох в) рожь

Рисунок 4.4 – Измельченные корма

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что предложенная безрешетная молотковая дробилка кормов имеет возможность измельчать широкий спектр кормов различной влажности, в том числе и повышенной (более 17%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках мирового удорожания энергоресурсов и кормовых, в т. ч. зерновых материалов, требуется более детальный подход к переработке сырья и получению качественных питательных кормов с минимальными затратами. При кормлении животных такими кормами значительно возрастает их продуктивность и снижаются производственные риски предприятий и малых хозяйств. Получение кормовых материалов заданного гранулометрического состава с минимизацией некондиционных фракций является самой актуальной задачей в общей проблеме измельчения зерновых материалов.

Эффективность скармливания можно повысить за счет оптимизации размеров частиц измельченного зерна для каждого вида животных в соответствии с зоотехническими требованиями. Переземельчение корма негативно сказывается на здоровье и продуктивность животных, увеличивает энергоемкость процесса, ухудшает условия труда человека. Процесс измельчения зерна сложное и недостаточно изученное явление. Сложившиеся полученные знания не позволяют однозначно ответить на многие принципиальные вопросы, например о числе и скорости удара, необходимых для полного разрушения зерновки.

По результатам экспериментальных исследований определены рациональные значения исследуемых параметров, при которых обеспечиваются тонкий, средний и крупный помол.

Получение животными качественных питательных концентрированных кормов возможно при использовании роторной дробилки, работающей на принципе среза (скалывания) материала, поэтому исследования по разработке такой конструкции позволит получать выровненный по размеру частиц готовый продукт соответствующий зоотехническим требованиям, при минимальных затратах энергии, времени и труда.

В данной работе была приведена лишь часть разработок, применяемых в агропромышленном производстве. На замену устаревшим технологиям приходят более усовершенствованные технологии, которые позволят увеличить качество кормов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.С. 1634171 МКП³ А 01 F 29/00 /Измельчитель кормов/ И.Е. Волков, В. С. Комиссаров - Опубл. 15.03.91 Бюл. №10.
2. Зиганшин Б.Г., Волков И.Е., Хисметов Н.З. Устройство для плавного регулирования модуля помола в безрешетной молотковой дробилке кормов / Патент России № 2120726 Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный аграрный университет". Подача заявки: 29.01.1997. Опубликовано: 27.10.1998 Бюл. № 5.
3. Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Халиуллин Д.Т. Разработка способа определения механических микроповреждений зерна. / Журнал: Фундаментальные исследования 264-267 с.
4. Зиганшин Б.Г., Мустафин А.А., Фролов В.Ф., Волков И.Е. Дробилка молотковая / Патент России № 2236297. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный аграрный университет". Подача заявки: 28.11.2001. Опубликовано: 28.11.2001 Бюл. № 5.
5. Коношин И.В., Муртазин В. М. Молотковая дробилка / Патент России №2542121 Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Орловский государственный аграрный университет". Подача заявки: 22.10.2013. Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5.
6. Лукманов Р.Р., Дмитриев А.В., Зиганшин Б.Г., Валиев А.Р., Сафин Р.И., Миникаев Р.В. Способ определения механических микроповреждений зерна / Патент России № 2536061. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный аграрный университет". Подача заявки: 2013-08-28 Опубликовано: 20.12.2014 Бюл.

7. Пугачев А.Н. Повреждение зерна машинами / А.Н. Пугачев. - М.: Колос, 1976. - 320 с.
8. Савиных П.А., Сыгатов Ю.В., Турубанов Н.В., Касьянов В.Л. Молотковая дробилка / Патент России №2317146 патентообладатель: Государственное учреждение Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. Опубликовано: 20.02.2008 Бюл. № 5.
9. Филатов М.И., Петров А.А. Молотковая дробилка / Патент России № 229424 патентообладатель: «Оренбургский государственный аграрный университет». Опубликовано : 27.02.2007 Бюл. №6
10. Кулаковский И. В., Кирпичников Ф. С., Резник Е. И. Машины и оборудование для приготовления кормов : справочник часть 1. М.: Россельхозиздат, 1987. С. 285.,
11. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. / Л.: Колос, Ленинградское отделение. – 1978. – 560с.
12. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. 311 с.
13. Мельников С.В., Плохов Ф.Г. Определение скорости удара при разрушении зерна. - Труды, ЧИМЭСХ, 1966, Вып. 21. - С.113-117.
14. Мельников С.В., Плохов Ф.Г. Исследование процесса разрушения зерна ударом // Механизация и электрификация сельского хозяйства:- Зап. Ленинградского СХИ.- Л., 1967.- т.108.- Вып.2.- С.212-219.
15. Зиганшин Б.Г. Технологии и технические средства приготовления кормов / Б.Г. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2003. – 188с.
16. Семenov Е.В., Коробицын А.А., Карамзин В.А. Расчет производительности молотковой дробилки // Хранение и переработка сельхозсырья.- 1996. - № 1. - с.18.
17. Сыроватка В.И. Исследование процесса измельчения зерна ударом // Тракторы и сельхозмашины. - 1962. - № 11. - С.27-29.

18. Мельников С.В. Моделирование рабочего процесса в молотковой кормодробилке // Механизация сельскохозяйственного производства: - Зап. Ленинградского СХИ. - Л., 1968. - т.119 -Вып.1. - С.113 - 117.
19. Зиганшин Б.Г. Разработка и обоснование параметров безрешетной молотковой дробилки кормов вертикального типа / Зиганшин Б.Г. // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Казанская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 1998.
20. Зиганшин Б.Г. Повышение эффективности технологических средств приготовления кормов в животноводстве на основе расширения технологических возможностей измельчителей / Зиганшин Б.Г. // диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Казанская государственная сельскохозяйственная академия. Казань, 2004
21. Архипов С.М., Волков И.Е., Зиганшин Б.Г. Некоторые особенности моделирования рабочего процесса безрешетной молотковой дробилки// Механизация технологических процессов в растениеводстве и животноводстве: Сб.науч.тр. Казанской ГСХА. - Казань, 1996.- С.8-10.
22. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов: Автор. дис. д-ра техн. наук. - Санкт-Петербург - Пушкин, 1995. - 38 с.
23. Алешкин В.Р. Планирование эксперимента при моделировании рабочего процесса кормоприготовительных машин // Интенсификация сельскохозяйственного производства Кировской области: Тр.Киров. с.х. ин-та. - Пермь, 1980. - т.68.- С.102-106.
24. А.с. 173521 СССР Кл. 45е, 3524, МПК А 01 f. Молотковая дробилка /В.И.Сыроватка (СССР). - № 747237/30-15; Заявлено 30.09.61; Опубл. 14.09.65; Бюл. № 15.