

**МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАНА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**На основе рукописи**

**Лазарев Игорь Валерьевич**

**Усовершенствование мукомолки для измельчения зерна и  
промежуточных продуктов в муку**

**Специальность: 5А630104 – Эксплуатация и техническое сервисное  
обслуживание оборудования для переработки сельскохозяйственных  
продуктов**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**Диссертационная работа  
рассмотрен на заседании  
кафедры «Сельскохозяйственные  
машины, эксплуатация и ремонт»  
Протокол № 9 от 21 мая  
2007 г. Заведующий кафедры  
доц. Д.А.Алижанов \_\_\_\_\_**

**Научный руководитель:  
Заведующий кафедры  
«Сельскохозяйственные  
машины, эксплуатация  
и ремонт» доц.  
Д.А.Алижанов \_\_\_\_\_**

**Ташкент – 2007**

## Оглавления

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>7</b>
<b>II. Место и условия проведения исследований.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Условия проведения исследований.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Цель и задачи экспериментальных исследований.....</b>	<b>17</b>
<b>2. 2. 1. Исследуемые материалы.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Цель и задачи исследования.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4. Методика исследования .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1.Обзор и анализ конструкций измельчающего оборудования для зерновых материалов.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.2. Измельчители ударно-центробежного действия.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.3. Обзор и анализ существующих малогабаритных измельчающих устройств для зерновых материалов.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.4. Технологическая и энергетическая оценка процесса измельчения...34</b>	
<b>2.4.5. Функции, задачи и направления измельчающих устройств для зерновых материалов.....</b>	<b>42</b>
<b>III Результаты исследований .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Исследование процесса предварительного измельчения.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.Исследование процесса окончательного измельчения.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. Статистические данные исследования и анализ .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.1. Анализ результатов определения максимальной пропускной способности рабочей камеры и производительности входного отверстия .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.2. Статистические данные результатов предварительного измельчения и результаты анализа .....</b>	<b>55</b>
<b>IV. Теоретическое и технико-экономическое обоснование .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1. Теоретическое обоснование .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Технико-экономическое обоснование роторной дробилки зернового материала для фермерских хозяйств .....</b>	<b>67</b>

<b>4.2.1. Определение цены единицы обоснование роторной дробилки зернового материала .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.2. Расчет экономического эффекта от внедрения роторной дробилки зернового материала .....</b>	<b>70</b>
<b>Выводы и рекомендации .....</b>	<b>74</b>
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>76</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Достижение устойчивого роста производства продукции животноводства – одна из основных задач сельского хозяйства.

В указе Президента Республики Узбекистан «О важнейших направлениях углубления реформ в сельском хозяйстве» [1] указано что «... сохранение организационно-правовых форм хозяйствования за фермерскими и дехканскими хозяйствами, определив в качестве приоритета развитие фермерских хозяйств, которые в перспективе должны стать основным субъектом – производителем сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время в Республике Узбекистан фермерские хозяйства интенсивно развиваются, совершенствуются формы и методы их деятельности. Стабилизируются связи с рынком, поставщиками и потребителями продукции фермеров. Значительно упрощена система их кредитования и взаиморасчетов с банками.

Поэтому разработка и создание средств малой механизации для фермерских хозяйств в настоящее время имеет очень важное значение.

В настоящее время в народном хозяйстве используется следующая схема производства муки и комбикормов. Заготавливаемая в хозяйствах пшеница и фуражное зерно транспортируется на мукомольные предприятия, где производится ее измельчение, а обеспечение населения хлебопродуктами и животноводства комбикормами ведется через торговые сети. Основными недостатками такой схемы является неизбежные потери при транспортировке и хранении, причем убытки несут и хозяйства, и население, и государство.

Вместе с тем, имеется ряд актуальных проблем для фермерских хозяйств. Одна из них электромеханизация и автоматизация трудоёмких процессов на фермах. Она связана с отсутствием на внутреннем рынке соответствующих машин и оборудования. Они выпускаются за рубежом для животноводческих ферм, рассчитанных в основном на фермерские хозяйства промышленного типа с большим поголовьем скота и объёмом производства и, конечно, применение

этого высокопроизводительного и энергоёмкого оборудования для малых ферм нерентабельно или просто невозможно.

В настоящее время для измельчения зерна на фуражные цели и в муку применяются различные типы молотковых дробилок, центробежные мельницы, а также режущие и вальцовые устройства, характеризующиеся с высокими энергозатратами и ограниченным диапазоном физико-механических свойств измельчаемого материала. Поиски путей повышения эффективности процесса измельчения ведутся в направлении усовершенствования существующей традиционной техники. Однако, традиционные методы измельчения энергоёмки, их КПД не более 3 %, и измельчающие устройства имеют высокий уровень износа в силу конструктивных особенностей.

Радикальное улучшение технико-экономических показателей процесса измельчения возможно лишь на основе новых, эффективных принципов.

Анализ существующих измельчающих устройств, а также опыт проведенных исследований по проблемам измельчения показывает, что наиболее эффективно зерно измельчается истиранием и сдвигом, а также представляет интерес разрушение зерновых материалов в вибрационном силовом поле.

Дополнительным источником интенсификации процесса помола зерновых является введение операции предварительного измельчения. Это является оправданным с технологической и энергетической точек зрения: во-первых, уменьшается число циклов измельчения и измельчающих систем; во-вторых, за счет повышения дисперсности получаемого продукта увеличивается произведение удельной поверхностной энергии на приращение поверхности ( $\delta \cdot \Delta S$ ).

Эти преимущества достигаются в следующих измельчителях: роторных дробилках с вертикальными и горизонтальными валами роторов, вибрационных дробилках, машинах с трехступенчатой обработкой зернового материала.

В условиях рыночной экономики, интерес представляет создание конструкционно-универсальных измельчителей зернового материала с

небольшими габаритами и малой потребляемой мощностью, которые обеспечивали бы наряду с надежностью работы получения муки и комбикорма необходимой фракции.

Для малых фермерских хозяйств перспективной является дробилка позволяющая:

1. Измельчать основные виды зерновых кормов;
2. Получить заданный модуль помола;
3. Получать муку на пищевые нужды;
4. Возможность работы на однофазным и трехфазным электроприводом малой мощности;
5. Иметь регулируемую производительность.

Одним из перспективных направлений в решении этой задачи является создание малогабаритной вертикально-роторной машины для обработки зернового материала, которая дает возможность получения дробленого зерна с различной модулью помола для скота, а также получения муки для пищевых целей фермера.

Разработка конструкций вертикально-роторной машины для обработки зернового материала и обоснование ее основных параметров представляет определенную народно-хозяйственную и научно-техническую задачу.

Роторные дробилки с горизонтальным и вертикальным расположением роторов имеют рабочую камеру с пазами прямоугольного сечения, служащими для перемещения и измельчения зернового материала. Для этой же цели имеются пазы на верхнем диске. Доизмельчение зерна в случае необходимости до тонкого помола (помол в муку) производится на кольцевых поверхностях ротора и диска имеющих накатку с мелким шагом.

Цель работы - повысить эффективность работы малых животноводческих ферм фермерских хозяйств за счёт применение вертикально-роторной дробилки зерновых материалов с низкой энергоёмкостью, которая даёт возможность обеспечить получить измельченного зерна с различной модулью помола для животных, а также получения муки для пищевых целей фермеров.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Измельчение материалов является одной из наиболее распространенных операций во всех сферах человеческой жизнедеятельности.

Разработка технических средств измельчения берет начало с доисторических времен, когда впервые встала необходимость порошкообразных веществ.

Жерновая мельница – это первый представитель мукомольного оборудования, начавший эру современных измельчителей. Эти мельницы сквозь столетия трансформировались сначала в ветряную, а позднее в используемый в настоящее время жерновой постав с электрическим приводом и автоматической загрузкой зерна.

Изобретались все новые и новые более эффективные устройства, совершенствовались материалы жерновов, их формы и кинематика.

Решением проблемы эффективного измельчения занялись авторитетные научно-исследовательские организации и мукомольные заводы [Галкина Л.С. 1987 г.].

Ударно-центробежные измельчители нашли довольно широкое применение в размольном процессе сортовых помолов пшеницы за рубежом. Внедряются они также и на отечественных предприятиях. Известно несколько конструкций такого оборудования, в том числе предложенного изобретателями и рационализаторами.

Ударно-центробежные измельчители, как правило, используют в дополнение к вальцовым станкам; они служат для до измельчения, разрыхления продукта, способствуя в значительной мере стабилизации размольного процесса

Штифтовой измельчитель – дезинтегратор, имеет два стальных диска, закрепленных на горизонтальных валах, расположенные соосно и вращающиеся в противоположных направлениях каждый со скоростью 80 м/с [Дезинтегратор А.С. №1042744].

Измельчающими органами машины являются цилиндрические штифты, расположенные на поверхностях дисков по окружностям с разным радиусом и общим центром, совпадающим с осью вала. Шаг штифтов в каждом последующем ряду уменьшается по мере удаления ряда от центра к периферии дисков. Первый диск имеет два ряда штифтов, а на другом диске – три. Таким образом, образуется четыре зоны измельчения между пятью кругами рядами штифтов.

Диспергирование происходит благодаря неоднократному столкновению частиц со штифтами в пределах каждой зоны измельчения, образованной двумя смежными движущимися навстречу друг другу рядами штифтов [Арро А.И., Варанцова Г.Н., Сапожников Ю.А.1985 г., Хинт И.А.1962 г.].

Поступивший через приемный патрубок продукт подхватывается бичами ротора и отбрасывается к внутренней поверхности цилиндра. Частицы продукта, попадая в рабочую камеру, подвергаются ударным нагрузкам, скалыванию и истиранию.

В технологии приготовления кормов основными машинами являются измельчители ударного действия – молотковые дробилки. Простота устройства, высокая надежность в работе, компактность установки, динамичность рабочих режимов, высокие скорости рабочих органов и непосредственное соединение вала машины с электродвигателем обусловили возможность широкого применения их во всех отраслях народного хозяйства [Мельников С.В.1978 г.].

Основные рабочие органы лопастного энтолейтора – это лопастное колесо с вертикальной осью вращения и деки, изготовленная из металлической сетки. Продукт, поступающий в машину через приемный патрубок отбрасывается лопастным колесом на деку. Главное назначение – сообщить частицам продукта необходимую скорость для удара о деку.

Ротор дискового энтолейтора изготовлен из двух стальных дисков с общей вертикальной осью вращения, соединенных между собой пальцами, которые расположены по окружностям двумя рядами. Продукт, попадая на

нижний диск, отбрасывается на ребристую деку измельчение происходит от ударов и частично от истирания.

Наряду с уникальным высокопроизводительным оборудованием разработан ряд измельчающих устройств для переработки небольших партий материалов. Они широко применяются для получения порошков на предприятиях порошковой металлургии [Кипарисов С.С. и др. 2000 г.]

Во – первых, ведется поиск путей повышения износостойкости мелющих органов или использование для их изготовления специальных материалов, на фоне очевидных решений по упрочнению рабочих органов поверхностей, оригинальным является выполнение дисков с различными значениями твердости. В рабочие зоны дисков заделаны частицы абразивного материала, которые образуют зубцы, обеспечивающие измельчение микрорезанием.

Во – вторых, разрабатываются дисковые мельницы, работающие в дезинтеграторном и десмембраторном режимах. Принципы работы, преимущества и недостатки таких измельчителей приведены выше.

В – третьих, варьируются геометрия мелющих органов, на рабочих поверхностях которых выполняются различные пазы, выступы, канавки, позволяющие интенсифицировать процесс измельчения. [Хинт И.А. 1962 г., Шахидзе В.И.1988 г.]

Мельницы предназначены для измельчения объемных и мягких материалов средней твердости, волокнистых и целлюлозных материалов без переизмельчения. Применяются при переработке отходов пластмасс, текстиля, бумаги, растительного сырья.

Прежде всего перейти к конструированию малогабаритных мельниц для измельчения сельскохозяйственных материалов необходимо было провести подробный анализ существующих устройств. Для этого они были условно развиты на четыре группы: шнековые устройства, вибрационные и инерционные дробилки, лабораторные измельчающие аппараты, дисковые мельницы.

Основным недостатком шнековых устройств, а также дробилок является характер воздействий на частицы, который не обеспечивает эффективного помола зерновых. Кроме того в некоторых мельницах шнек предназначен лишь для транспортирования материала [Юрков С.Г. и др. 1988 г., Юров Н.С. 1987 г.].

Дисковые мельницы, основные на истирании частиц материала, наиболее эффективны при измельчении зерновых. За длительный период, начавшийся с применением металла для изготовления дисков, были подобраны специальные высоколегированные стали, разработаны режимы их термообработки. Это однако является одновременно и недостатком существующих мельниц – входит в противоречие с конструкторскими разработками. Геометрия рабочих поверхностей дисков чрезмерно усложнена, что делает дорогостоящим механическую обработку трудно обрабатываемых материалов. Невозможно применение твердых сплавов (например, ВК8, Т15К10 и др.), обладающих высокими твердостью, прочностью и износостойкостью.

Еще более эффективно производится измельчение абразивными зубцами в мельнице с дисками неравной прочности. Однако интенсивный износ менее прочного диска и, как следствие повышения засорения муки продуктами износа является непреодолимым препятствием при разработке МГМ.

Технологическую оценку эффективности процесса измельчения проводят одновременно по двум показателям: количественным и качественным:

К количественным показателем относят общую (суммарную) производительность или частное извлечение через определенный номер сита [Бутковский В.А. 1981 г.].

В плющильном станке зерна измельчаются между двумя цилиндрическими барабанами, строго параллельными между собой и вращающийся на встречу друг другу с одинаковой скоростью. Так как поверхности барабанов гладкие, на частицы продукта действует только сжимающая сила.

В зависимости от вида помола, характеризующегося простым или избирательным измельчением, от особенностей технологии, определяющих конкретную задачу вальцового станка в линии последовательной переработки продукта, а также от нагрузки на станок на поверхность вальца наносят рифли или шероховатость с оптимальными параметрами, подбирают соответствующие кинематические характеристики основных органов и устанавливают определенный рабочий зазор между вальцами.

Работа вальцовых станков находится в определенной связи между собой и с другим оборудованием в общем процессе, в котором выход из строя даже одного станка может вызвать нарушение технологического режима или остановки всего процесса. Для обеспечения надежности вальцовые станки состоят из двух автономно работающих половин, которые монтируются на общей основе.

Каждая из половин состоит из следующих основных частей: пары мелющих вальцов, подшипниковых соединений вальцов, приводов с ограждениями или капотами, меж вальцовой передачи, питающего механизма, механизма настройки на параллельность и параллельного сближения вальцов, устройство управления. Каждая половина станка приводится в движение преимущественно от самостоятельного электродвигателя (меж вальцовая передача шестеренчатая или цепная).

На рабочих поверхностях вальцов электроэрозионным или абразивным способом наносятся рифли. В зависимости от взаиморасположения граней острия и спинки рифлей парно работающих вальцов в зоне измельчения различают четыре положения. [Аренков А.Б. 1967 г.].

Вымольные машины применяют в качестве дополнительного оборудования к вальцовым станкам в начальной стадии сортового помола пшеницы —драном процессе. Основные органы — бичевой ротор ситовой цилиндр. Ударное воздействие бичей в совокупности с взаимотрением частиц, а также трением о ситовую поверхность приводит к измельчению, прессование через ситовой цилиндр разделяет продукт на две фракции.

Основные механико – технологические параметры вымольных машин – скорость бичевого ротора и размер отверстий ситового цилиндра. Они определяют степень измельчения и избирательность при сортировании частиц. Большое значение имеет также продолжительность обработки продукта и степень использования поверхности ситового цилиндра, которые зависят от протяжности в рабочей зоне машины и ее конструктивных особенностей.

Все вымольные бичевые машины в зависимости от положения ротора и ситового цилиндра можно разделить на две группы: с вертикальным и горизонтальным расположением основных рабочих органов. Машины каждой из этих групп могут иметь ротор с радиально или продольно расположенными бичами.

Кроме того принципиальное отличие машин с вертикальным ротором может заключаться в направлении движения продукта.

Созданная Я.Е. Айзиковичем в 1955 году радиально - бичевая машина и до настоящего времени одна из лучших вымольных машин [Айзикович Л.Е, Хорцев Б.Н. 1968 г.].

Ударно-центробежные измельчители нашли довольно широкое применение в размольном процессе сортовых помолов пшеницы за рубежом. Внедряются они также и на отечественных предприятиях. Известно несколько конструкций такого оборудования, в том числе предложенного изобретателями и рационализаторами.

Ударно-центробежные измельчители, как правило, используют в дополнение к вальцовым станкам; они служат для до измельчения, разрыхления продукта, способствуя в значительной мере стабилизации размольного процесса

Штифтовой измельчитель – дезинтегратор, представленный на имеет два стальных диска, закрепленных на горизонтальных валах, расположенные соосно и вращающиеся в противоположных направлениях каждый со скоростью 80 м/с.

Измельчающими органами машины являются цилиндрические штифты, расположенные на поверхностях дисков по окружностям с разным радиусом и общим центром, совпадающим с осью вала. Шаг штифтов в каждом последующем ряду уменьшается по мере удаления ряда от центра к периферии дисков. Первый диск имеет два ряда штифтов, а на другом диске – три. Таким образом, образуется четыре зоны измельчения между пятью кругами рядами штифтов. [ Денисов Т.А. и др. 1985 г.].

Поступивший через приемный патрубок продукт подхватывается бичами ротора и отбрасывается к внутренней поверхности цилиндра. Частицы продукта, попадая в рабочую камеру, подвергаются ударным нагрузкам, скалыванию и истиранию.

В технологии приготовления кормов основными машинами являются измельчители ударного действия – молотковые дробилки. Простота устройства, высокая надежность в работе, компактность установки, динамичность рабочих режимов, высокие скорости рабочих органов и непосредственное соединение вала машины с электродвигателем обусловили возможность широкого применения их во всех отраслях народного хозяйства.

Наряду с этим молотковым дробилкам свойственны существенные недостатки: высокая энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава получаемого продукта с повышенным содержанием переизмельченных частиц, интенсивный износ рабочих органов.

Типичные схемы молотковых дробилок сельскохозяйственного назначения представлены на рис.2.5. Дробилка состоит из корпуса с загрузочной горловиной, молоткового барабана, с шарнирно – подвешенными молотками, решета и дек.

В зависимости от организации рабочего процесса в рабочей камере следует различать дробилки открытого или закрытого типов. В дробилках открытого типа материал из дробильной камеры быстро удаляется, не замыкая при своем перемещении окружности. В таких дробилках измельчается главным образом крупно – кусковой, хрупкий, сухой и не мажущийся материал

(гранулы, мел, ракушки, соль). Основным механическим фактором процесса является свободный удар молотка по кускам значительной массы.

В дробилках закрытого типа решето деки охватывают собой весь барабан, и материал, поступивший в дробильную камеру, при своем перемещении совершает многократные круговые движения, располагаясь в камере в виде рыхлого продукта – воздушного слоя. Здесь материал измельчается путем многократного ударного воздействия молотков и истирания при проходе их в среде движущегося слоя.

В молотковых дробилках зерна во время свободного падения в результате удара по ним стальных молотков (бичей) распадаются на мелкие частицы. Дальнейшее разрушение частиц происходит главным образом в результате трения их о поверхность стального штампованного сита [Барабашкин В.Н. 1973 г.].

Анализ существующих измельчающих устройств, а также опыт проведенных исследований по проблемам измельчения показывает, что наиболее эффективно зерно измельчается истиранием.

Вибрационные дробилки в настоящее время имеют большое распространение для измельчения разнообразных твердых материалов. Перспективность этого типа машин определяется возможностью получать различную степень измельчения при относительно невысоких показателях удельных энергозатрат. Вместе с тем эти машины отличаются сложностью конструктивных исполнения при большом их разнообразии, что обуславливается различием физико-механических свойств измельчаемых материалов [Алижанов Д.А., Тожибаев А.Б., Гиясхужаев Х. 2003й. 1-кисм, Алижанов Д.А. Гуломов М., Маттиев А.А. 2004 г.].

Достижение устойчивого роста производства продукции животноводства одно из основных задач сельского хозяйства.

В указе Президента Республики Узбекистан «О важнейших направлениях углубления реформ в сельском хозяйстве» указано что «... сохранение организационно-правовых форм хозяйствования за фермерскими и

дехканскими хозяйствами, определив в качестве приоритета развитие фермерских хозяйств, которые в перспективе должны стать основным субъектом – производителем сельскохозяйственной продукции.

Поэтому разработка и создание средств малой механизации для фермерских хозяйств в настоящее время имеет очень важное значение.

В настоящее время в народном хозяйстве используется следующая схема производства муки и комбикормов. Заготавливаемая в хозяйствах пшеница и фуражное зерно транспортируется на мукомольные предприятия, где производится ее измельчение, а обеспечение населения хлебопродуктами и животноводства комбикормами ведется через торговые сети. Основными недостатками такой схемы является неизбежные потери при транспортировке и хранении, причем убытки несут и хозяйства, и население, и государство.

В условиях рыночной экономики, интерес представляет создание конструкционно-универсальных измельчителей зернового материала с небольшими габаритами и малой потребляемой мощностью, которые обеспечивали бы наряду с надежностью работы получения муки и комбикорма необходимой фракции.

## II. Место и условия проведения исследований

### 2.1 Условия проведения исследований.

Для исследования процесса измельчения в 2006 году по чертежам разработанным на кафедре «СХМ, эксплуатация и ремонт» была изготовлена лабораторная установка [27,31]. Разработка и изготовление измельчителя производились с целью создание машины производительностью 50 –80 кг/ч при модуле помола 1 –1,8 мм на фуражном зерне. Внедрение машины такой производительности в производство позволило бы обеспечить фермерские хозяйства с небольшим поголовьем (15-30 коров), а также личные подсобные хозяйства молотым зерном.

При проектировании ставились также задача обеспечить некоторую универсальность машины (обеспечение тонкого помола в муку, очистка зерна от оболочки). При этом учитывались результаты предыдущих испытаний измельчителя с горизонтальным плоским ротором  $D_0 = 200$  мм производительностью 70 – 90 кг/ч при среднем помоле.

Вертикально-роторная дробилка для обработки зернового материала имела следующие параметры:

Диаметр ротора, мм	- 40
Высота ротора, мм	- 100
Емкость бункера, л	- 4
Ширина и высота выгрузного окна, мм	- 50,20
Величина рабочего зазора между ротором и статором, мм	- 0,1
Частота вращения ротора, мм <sup>-1</sup>	- 435-540

## **2.2. Цель и задачи экспериментальных исследований**

Опытная проверка и установление оптимальных параметров измельчающих органов и частоты вращения, обеспечивающих высокую производительность и качества измельчения являлись основными целями экспериментальных исследований. В связи с этим в программу лабораторных исследований включено следующее:

- изучение влияния отдельных конструктивных элементов на процесс измельчения;
- влияние частоты вращения на производительность работы вертикально--ротаторной дробилки для измельчения зернового материала и качество дробленого зерна;
- определение энергетических параметров процесса измельчения.

### **2. 2. 1. Исследуемые материалы**

Выбор материалов для экспериментальных исследований обусловлен рядом требований. Материалы для исследований должны обладать относительно простым химическим строением, высокой изученностью, доступностью. Главным требованием является однородность перерабатываемых материалов, так как необходимо с высокой точностью определять некоторые их параметры: изотермические размеры и форму частиц, свободную поверхность.

В качестве основного материала выбрана пшеница, ячмень и кукуруза, изотермические размеры зерен которой приведены в таблице 2.1, технологические показатели качества – в таблице 2.2.

Таблица 2.1

## Физико – механические свойства зерен

№	Культура	Пшеница	Ячмень	Кукуруза
	Параметры			
1.	Изометрические размеры, мм:			
	длина	4,8 – 8,0	5,0 – 7,0	
	ширина	1,6 – 4,0	1,4 – 3,6	
	толщина	1,5 – 3,3	1,2 – 3,5	
2.	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2 – 1,5	1,2 – 1,5	
3.	Масса 1000 зерен продукта, г	20 - 40	13 - 32	

Таблица.2.2

## Технологические показатели качества зерна

№	Культура	Пшеница	Ячмень	Кукуруза
	Параметры			
1.	Натура, г/л	730 – 840	680 – 750	
2.	Объемная масса, кг/дм <sup>3</sup>	0,76	0,73	
3.	Скважистость	54	38	
4.	Коэффициент внутреннего трения	0,47	0,49	
5.	Коэффициент внешнего трения	0,37	0,37	

### 2.3. Цель и задачи исследования

Анализ существующих измельчающих устройств, а также опыт проведенных исследований по проблемам измельчения показывает, что наиболее эффективно зерно измельчается истиранием.

Дополнительным источником интенсификации процесса помола зерновых является введение операции предварительного измельчения. Это является оправданным с технологической и энергетической точек зрения: во – первых, уменьшается число циклов измельчения и измельчающих систем; во – вторых, за счет повышения дисперсности получаемого продукта увеличивается значение  $\sigma \cdot \Delta S$ .

Все эти преимущества достигаются на вертикально-роторной дробилки для обработки зерновых материалов[5,6]. Проведенные исследования по созданию и совершенствованию измельчителей зернового материала малой производительности (25-150кг/ч) различных конструктивных исполнении выявили ряд недостатков, снижающих возможности по использованию их для мелкого помола или получения муки для пищевых целей фермеров. Все испытанные машины с вертикальными валами роторов достаточно качественно выполняют технологический процесс. Дробленая масса отличается высокой однородностью по модулю помола и имеют высокую плотность распределения размерных характеристик измельченных частиц. Причем удельная энергоемкость при  $M \geq 1,5\text{мм}$  соответствуют мировому стандарту и не превышает 0,005кВт час/кг. С уменьшением зазора между ротором и статорам рабочей камеры удельные затраты возрастают и достигают 60-70<sup>0</sup>С уже через 10-15 минут работы. Поэтому нами разработана и исследована вертикально-роторная дробилка для обработки зернового материала.

Сотрудники кафедры "СХМ, Э и Р" Таш ГАУ на протяжении последних лет ведут работы по созданию конструкции машин для малой механизации с соответствующим теоретическим обоснованием.

В настоящей работе рассматривается одна из конструктивно-технологических схем измельчителя фуражного зерна, отличающаяся простотой устройства и изготовления.

На рисунке 1 приведена технологическая схема измельчителя с поперечным сечением рабочей камеры.

Устройство машины ясно из схемы. Процесс работы осуществляется следующим образом. Зерно поступает в бункер 1, а затем самотеком поступает в полость рабочей камеры, состоящей из ротора (4) с нарезанными пазами, где измельчается по своей тяжести попадает к выгрузному лотку (9). Для получения тонкого помола ротор и статор имеют зону накатки (8). Статор установлен на корпусе на резьбе, что позволяет бесступенчато регулировать зазор в рабочей камере, т.е. степень измельчения продукта. Производительность впускного со стороны бункера отверстия может регулироваться заслонкой в зависимости от пропускной способности рабочей камеры, которая, в свою очередь, зависит от величины устанавливаемого зазора.

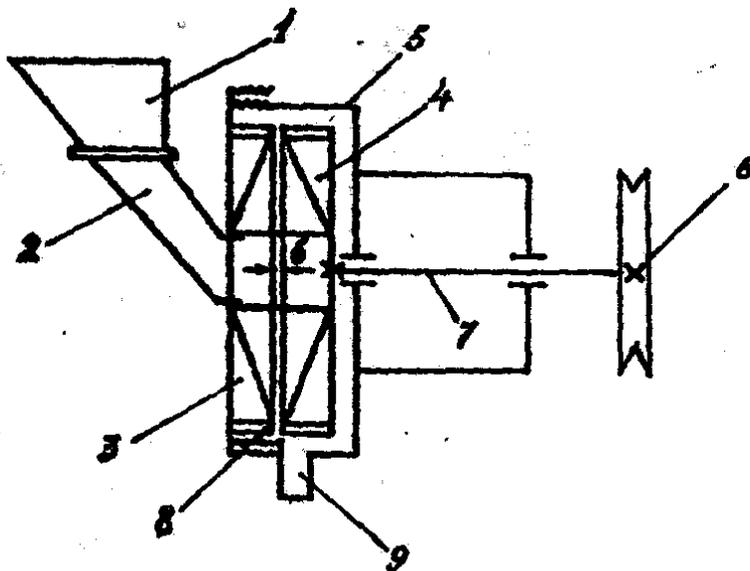


Рис. 2.1. Схема измельчителя:

1-загрузочный бункер; 2-патрубок; 3-статор; 4-ротор; 5-корпус выгрузной камеры; 6-шкив привода; 7-вал; 8-зона накатки ротора; 9-выгрузной лоток.

Уравнение производительности в виде функции зависящей от параметров и режимов работы машины в аналитическом виде получить не удалось. При проведении экспериментов установлено, что производительность в виде функции зависящей от частоты вращения ротора описывается кривой, близкой к параболе. Также установлено, что удельная энергоемкость процесса колеблется в пределах 0,003 - 0,005 кВт\*ч/кг из которой 10-15% -потери на трение в процессе разрушения и перемещения частиц измельчаемого зерна.

#### **Задачи работы:**

1. Оценить ожидаемую эффективность использования на малых фермах вертикально-роторной дробилки.
2. Обосновать некоторые основные параметры и режимы работы машины.
3. Разработать конструктивную схему.
4. Провести экспериментальные испытания макета машины, уточнить конструктивную схему и параметры.
5. Определить экономическую эффективность.

### **2.4. Методика исследования**

Измельчение материалов является одной из наиболее распространенных операций во всех сферах человеческой жизнедеятельности.

Разработка технических средств измельчения берет начало с доисторических времен, когда впервые встала необходимость порошкообразных веществ.

Жерновая мельница – это первый представитель мукомольного оборудования, начавший эру современных измельчителей. Эти мельницы сквозь столетия трансформировались сначала в ветряную, а позднее в используемый в настоящее время жерновой постав с электрическим приводом и автоматической загрузкой зерна.

Изобретались все новые и новые более эффективные устройства, совершенствовались материалы жерновов, их формы и кинематика.

Решением проблемы эффективного измельчения занялись авторитетные научно-исследовательские организации и мукомольные заводы [20].

Именно на таких предприятиях производится основная масса работы по диспергированию.

Однако еще много задач ждут своего решения. На очереди такие актуальные проблемы как интенсификация процесса измельчения, снижение энергозатрат, упрочнение рабочих органов. Среди организационных проблем отметим необходимость обеспечения фермеров компактными измельчителями.

Частичному решению этих задач и посвящается эта работа.

#### **2.4.1. Обзор и анализ конструкций измельчающего оборудования для зерновых материалов**

На предприятиях мукомольной промышленности измельчающие машины являются основным видом технологического оборудования.

По принципу воздействия на зерно его можно условно разделить на три группы: вальцовые измельчающие машины, вымольные машины и измельчители ударно-центробежного действия [16, 40].

#### **2.4.2. Измельчители ударно-центробежного действия**

Ударно-центробежные измельчители нашли довольно широкое применение в размольном процессе сортовых помолов пшеницы за рубежом. Внедряются они также и на отечественных предприятиях. Известно несколько конструкций такого оборудования, в том числе предложенного изобретателями и рационализаторами.

Ударно-центробежные измельчители, как правило, используют в дополнение к вальцовым станкам; они служат для доизмельчения, разрыхления продукта, способствуя в значительной мере стабилизации размольного процесса [20].

Штифтовой измельчитель – дезинтегратор, представленный на рис. 1.3 имеет два стальных диска, закрепленных на горизонтальных валах, расположенные соосно и вращающиеся в противоположных направлениях каждый со скоростью 80 м/с [23].

Измельчающими органами машины являются цилиндрические штифты, расположенные на поверхностях дисков по окружностям с разным радиусом и общим центром, совпадающим с осью вала. Шаг штифтов в каждом последующем ряду уменьшается по мере удаления ряда от центра к периферии дисков. Первый диск имеет два ряда штифтов, а на другом диске – три. Таким образом, образуется четыре зоны измельчения между пятью кругами рядами штифтов.

Диспергирование происходит благодаря неоднократному столкновению частиц со штифтами в пределах каждой зоны измельчения, образованной двумя смежными движущимися навстречу друг другу рядами штифтов [9, 39].

Распространенной разновидностью ударно-центробежных измельчителей являются детамеры. Они в основном применяются для разрыхления продукта после обработки его на гладких вальцах вальцовых станков, для доизмельчения продуктов второго качества, а также для вымола оболочек.

Основные рабочие органы бичевого детамера (рис.1.4) – это продольные бичи, закрепленные на горизонтальном валу, причем ребра бичей развернуты под углом  $30^{\circ}$  к оси ротора и, являясь ударным элементом, служат одновре-

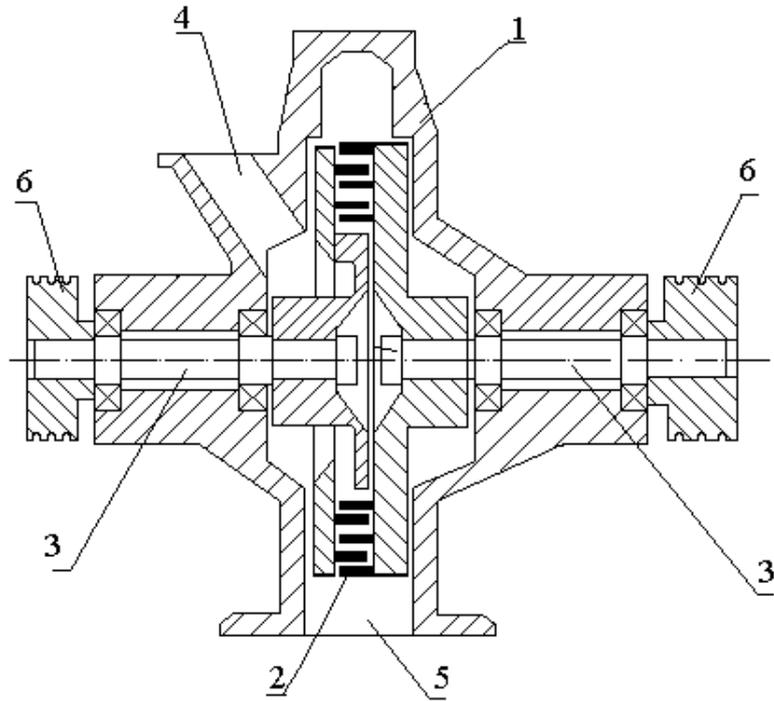


Рис.2.2 Шпифтовой измельчитель – дезинтегратор:

1-корпус дезинтегратора; 2-штифты; 3-валы дезинтегратора; 4-входной патрубков; 5-выгрузной патрубков; 6- шкивы ременной передачи.

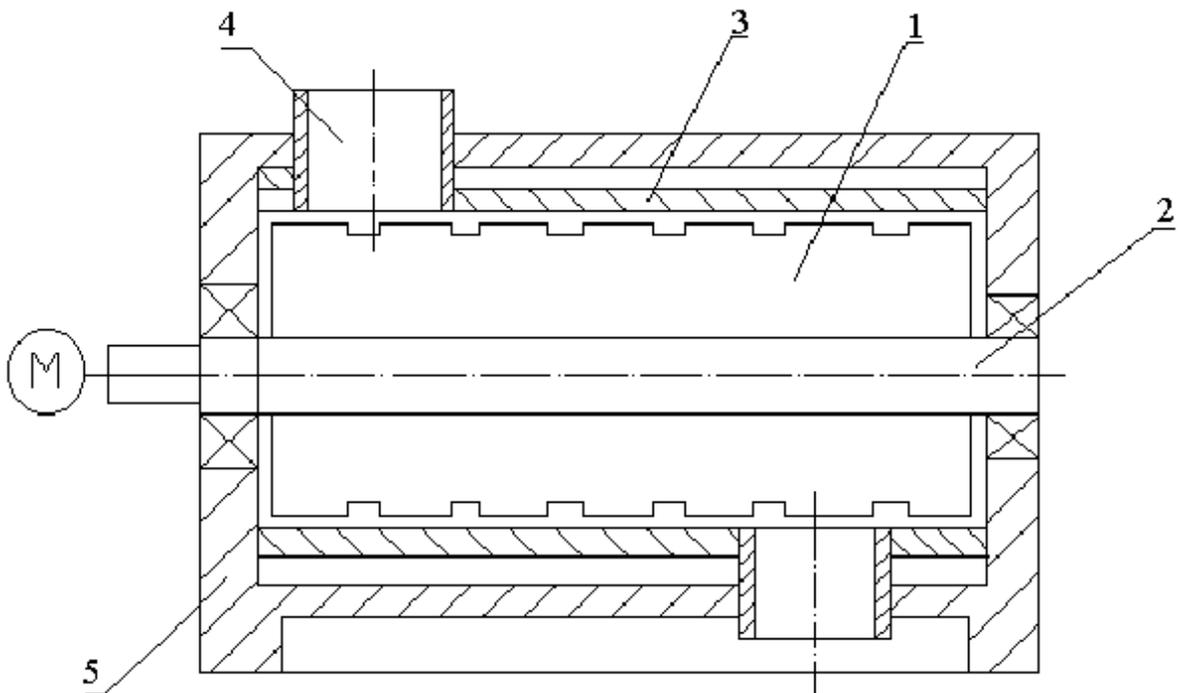


Рис.2.3 Бичевой детамер:

1-бичи; 2-вал; 3-цилиндр; 4-приемный патрубков; 5-корпус детамера.

менно гонками, способствующими перемещению обрабатываемого материала по спирали.

Поступивший через приемный патрубок продукт подхватывается бичами ротора и отбрасывается к внутренней поверхности цилиндра. Частицы продукта, попадая в рабочую камеру, подвергаются ударным нагрузкам, скалыванию и истиранию.

В технологии приготовления кормов основными машинами являются измельчители ударного действия – молотковые дробилки. Простота устройства, высокая надежность в работе, компактность установки, динамичность рабочих режимов, высокие скорости рабочих органов и непосредственное соединение вала машины с электродвигателем обусловили возможность широкого применения их во всех отраслях народного хозяйства [31].

Наряду с этим молотковым дробилкам свойственны существенные недостатки: высокая энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава получаемого продукта с повышенным содержанием переизмельченных частиц, интенсивный износ рабочих органов.

Типичные схемы молотковых дробилок сельскохозяйственного назначения представлены на рис. 2.5. Дробилка состоит из корпуса с загрузочной горловиной, молоткового барабана, с шарнирно – подвешенными молотками, решета и дек.

В зависимости от организации рабочего процесса в рабочей камере следует различать дробилки открытого (рис. 2.5, а) или закрытого (рис. 2.5, б) типов. В дробилках открытого типа материал из дробильной камеры быстро удаляется, не замыкая при своем перемещении окружности. В таких дробилках измельчается главным образом крупно – кусковой, хрупкий, сухой и не мажущийся материал (гранулы, мел, ракушки, соль). Основным механическим фактором процесса является свободный удар молотка по кускам значительной массы.

В дробилках закрытого типа решето деки охватывают собой весь барабан, и материал, поступивший в дробильную камеру, при своем перемещении со-

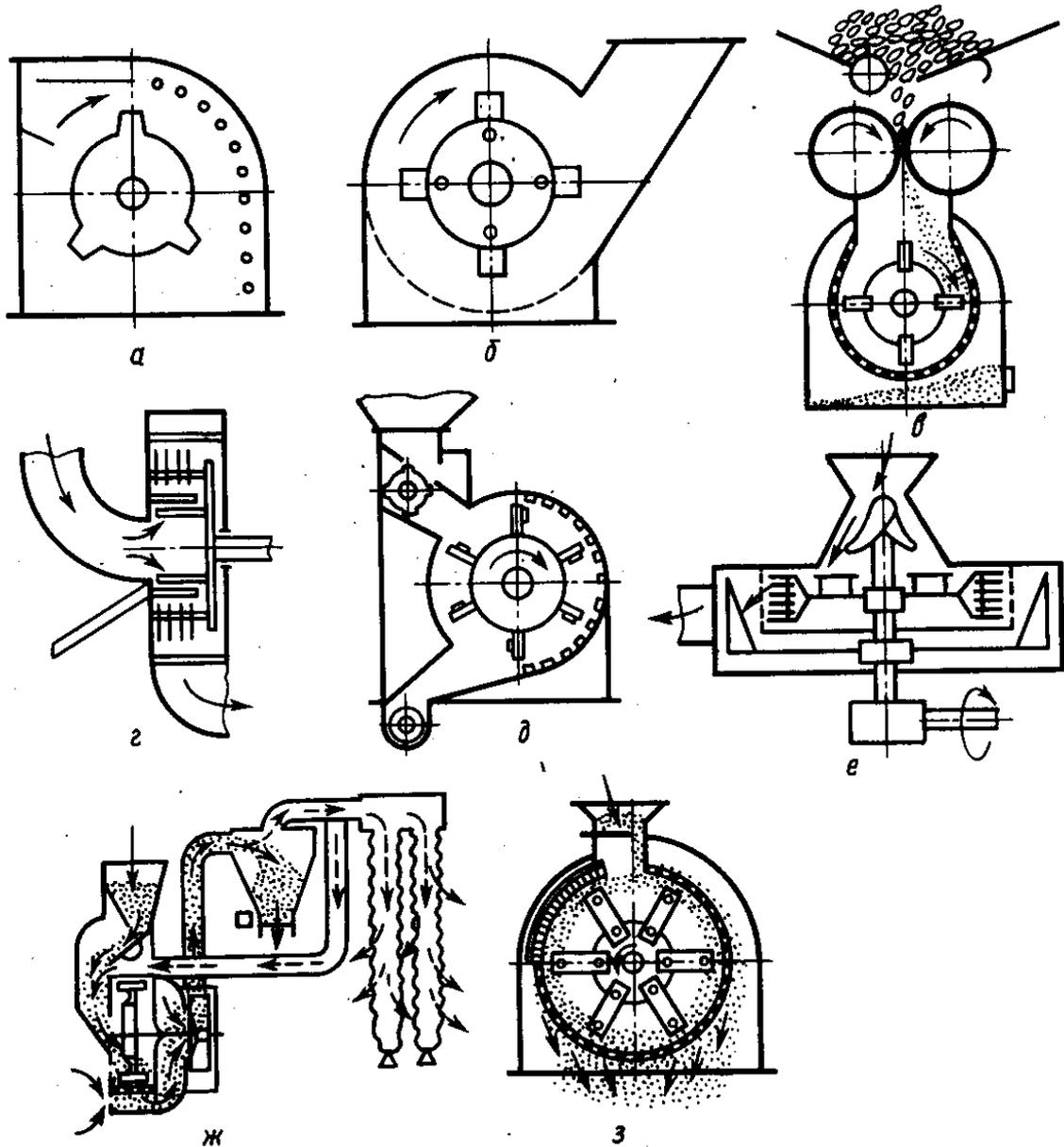


Рис.2.5 Конструктивно – технологические схемы молотковых дробилок сельскохозяйственного назначения [31]:

а- открытого типа; б- закрытого типа; в, г- двухстадийные; д- с жестким креплением рабочих органов; е- горизонтальная; ж- с замкнутым воздушным потоком; з- с шарнирным креплением рабочих органов.

вершает многократные круговые движения, располагаясь в камере в виде рыхлого продуктово – воздушного слоя. Здесь материал измельчается путем

многократного ударного воздействия молотков и истирания при проходе их в среде движущегося слоя.

В молотковых дробилках зерна во время свободного падения в результате удара по ним стальных молотков (бичей) распадаются на мелкие частицы. Дальнейшее разрушение частиц происходит главным образом в результате трения их о поверхность стального штампованного сита [9,10,12].

Энтолейторы, применяемые для измельчения продукта после вальцовых станков размольных систем с гладкими или шероховатыми вальцами, в зависимости от рабочего органа бывают двух типов.

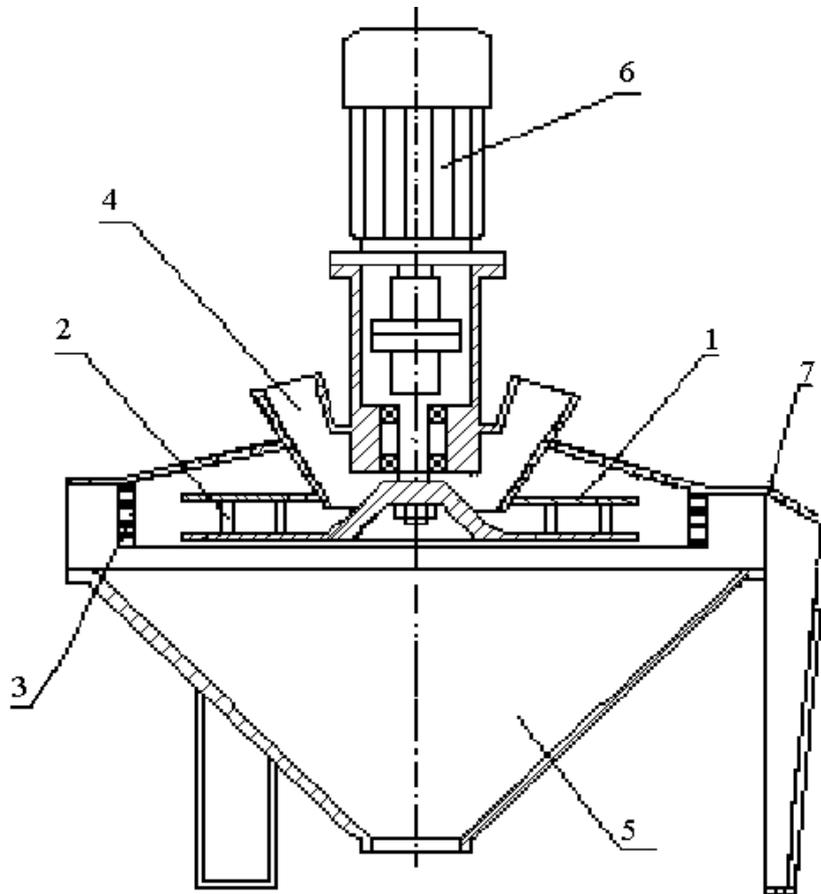


Рис.2.6 Дисктовой энтолейтор:

1-диск; 2- пальцы; 3-дека из металлической сетки; 4-загрузочный бункер; 5-выгрузной патрубок; 6-электродвигатель; 7-корпус энтолейтора.

Основные рабочие органы лопастного энтолейтора – это лопастное колесо с вертикальной осью вращения и деки, изготовленная из металлической сетки. Продукт, поступающий в машину через приемный патрубок отбрасывается лопастным колесом на деку. Главное назначение – сообщить частицам продукта необходимую скорость для удара о деку.

Ротор дискового энтолейтора (рис.2.6) изготовлен из двух стальных дисков с общей вертикальной осью вращения, соединенных между собой пальцами, которые расположены по окружностям двумя рядами. Продукт, попадая на нижний диск, отбрасывается на ребристую деку измельчение происходит от ударов и частично от истирания.

### **2.4.3. Обзор и анализ существующих малогабаритных измельчающих устройств для зерновых материалов**

Наряду с уникальным высокопроизводительным оборудованием разработан ряд измельчающих устройств для переработки небольших партий материалов. Они широко применяются для получения порошков на предприятиях порошковой металлургии [29], для обогащения пород в лабораторных исследованиях, для изготовления лекарственных и продуктовых смесей, в редких случаях для измельчения зерновых. При этом малогабаритные мельницы являются либо уменьшенной копией уникального оборудования, либо самостоятельно развивающимися конструкциями.

Наиболее широко среди измельчающих устройств представлены дисковые мельницы [25,26,30, 37,41], развитие которых можно условно разделить на три направления.

Во – первых, ведется поиск путей повышения износостойкости мелющих органов или использование для их изготовления специальных материалов, на фоне очевидных решений по упрочнению рабочих органов поверхностей, оригинальным является выполнение дисков с различными значениями

твердости. В рабочие зоны дисков заделаны частицы абразивного материала, которые образуют зубцы, обеспечивающие измельчение микрорезанием.

Во – вторых, разрабатываются дисковые мельницы, работающие в дезинтеграторном и десмембраторном режимах [2]. Принципы работы, преимущества и недостатки таких измельчителей приведены выше.

В – третьих, варьируются геометрия мелющих органов, на рабочих поверхностях которых выполняются различные пазы, выступы, канавки [37,41], позволяющие интенсифицировать процесс измельчения.

В некоторые конструкции малогабаритных мельниц внедрены шнековые механизмы, по технической сущности шнеки можно разделить на три типа:

- питающие, обеспечивающие подачу материала в зону измельчения [38,42,43] (рис.2.7);
- экструзионные, создающие давление, которое приводит к измельчению материалов [19];
- измельчающие, предназначенные для непосредственного измельчения материалов [11].

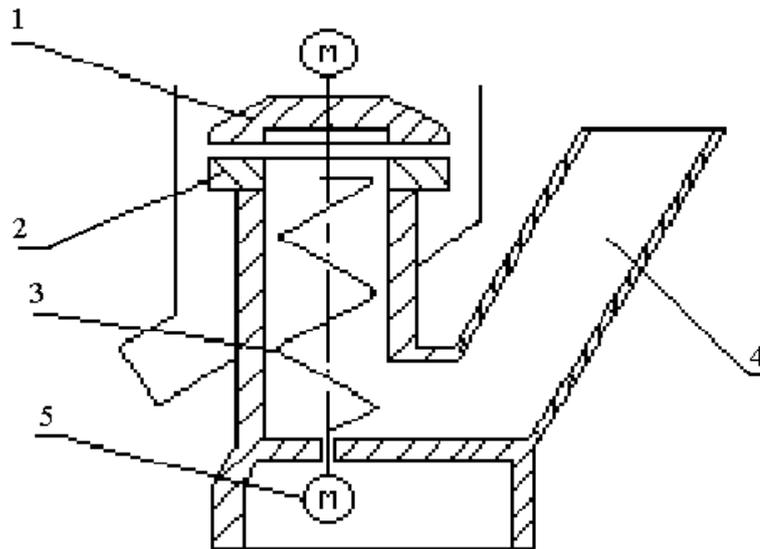


Рис.2.7 Устройство для измельчения материалов [43]:

1-вращающийся жернов; 2-невращающийся жернов; 3-шнек-подъемник; 4-загрузочный бункер; 5-привод.

Разработаны сложные конструкции, включающие одновременно по несколько перечисленных выше типов измельчителей. Устройство для измельчения металлической стружки [33] содержит одновременно два механизма: дробления и измельчения. Дробление производится валками, а окончательное измельчение – взаимодействием пары ножей с колосниковой решеткой, причем для подачи материала использован шнек (рис.2.8).

Часто при проектировании малогабаритных мельниц используют технологические схемы вибрационных и инерционных устройств [7,13,14,17,18,24,32, 35]. В основе своей они являются аналогами оборудования применяемого на горно-обогатительных фабриках, на предприятиях строительной промышленности. Среди них можно выделить барабанные вибромельницы [7,17], мелющими органами которых являются шары и стержни, загружаемые совместно с измельчаемым материалом (рис.2.9). последний, в свою очередь, установлен на вращающем валу, к концу которого присоединен вибратор.

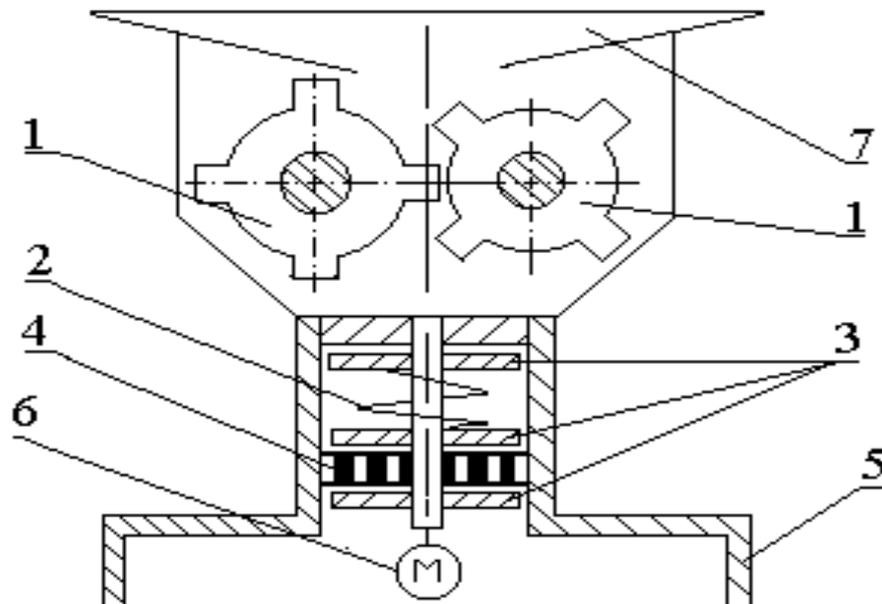


Рис.2.8 Устройство для измельчения [33]:

1-валки; 2-шнек; 3-ножи; 4-колосниковая решетка; 5-корпус; 6-привод;  
7-загрузочный бункер.

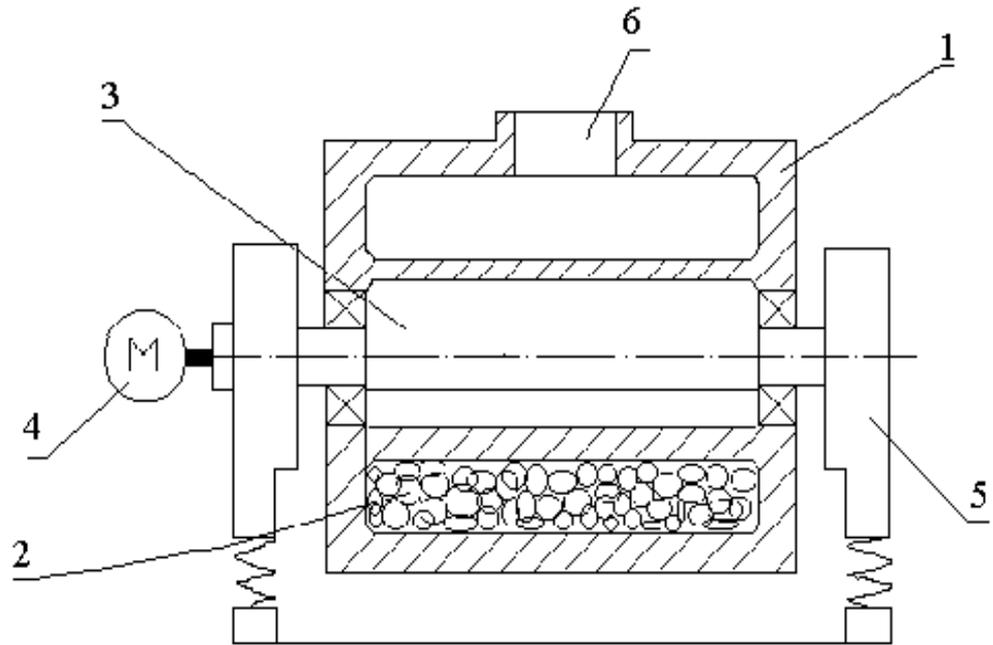


Рис.2.8 Барабанная вибромельница:

1-барабан; 2-мелющие тела; 3-вал мельницы, вибратор; 4-привод мельницы; 5-станина; 6-загрузочный патрубок.

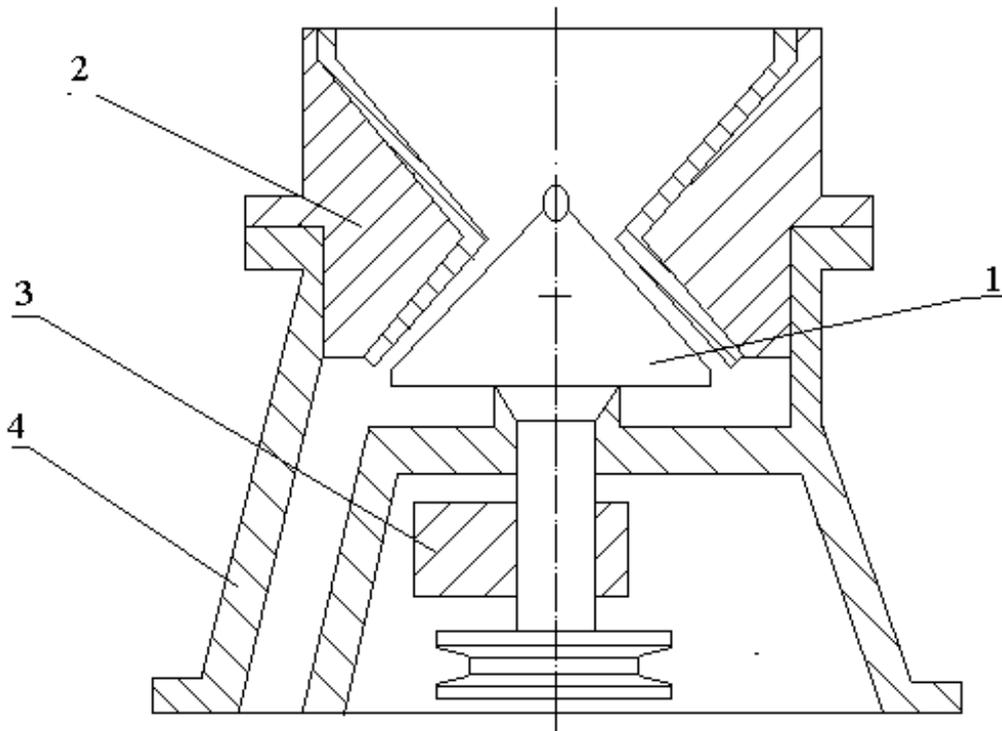


Рис.2.9 Конусная инерционная дробилка:

1-дробящий конус; 2-коническая чаша; 3-дебалансный вибратор;  
4-привод и корпус КИД.

Прогрессивной разработкой сотрудников МНТК «Механобр» является конусные инерционные дробилки [24,28,35], выпускаемые по лицензии фирмы во многих развитых странах мира (рис.2.10). Куски материалов в КИД подвергаются усталостному разрушению под действием циклической нагрузки. Рабочий конус дробилки производит гирационное движение под действием дебалансного вибратора.

Среди производителей лабораторных измельчителей необходимо отметить фирму «Фриге ГМБХ», в продукции которой оригинально сочетаются практически все существующие конструкции и технологические схемы измельчения.

В последнее время в России интенсивно начали производить малые измельчающие устройства в виде щековых дробилок и роторно ножевых мельниц.

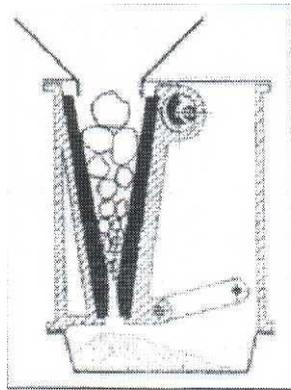


Рис.2.11 Щековая дробилка:

1- приемный бункер; 2-корпус; 3–подвижная щека; 4-неподвижная щека;  
5-центр вращения; 6-емкость для помола; 7-зерновой материал.

Щековые дробилки (рис. 2.11) предназначены для дробления и измельчения хрупких материалов различной прочности. Применяются при

переработке ферросплавов, горных пород, керамики, огнеупоров, стекла, строительных материалов и зерновых материалов.

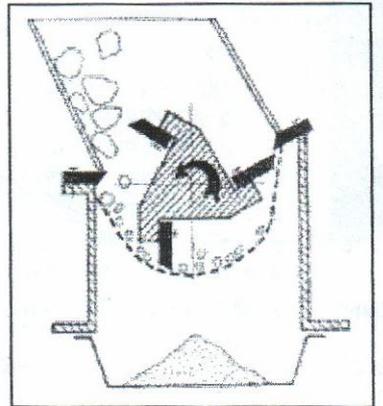


Рис. 1.12 Роторно - ножевая мельница:

1-приемный бункер; 2-ротор; 3-нож; 4-корпус; 5-сито; 6-емкость для помола; 7-зерновой материал.

Мельницы предназначены для измельчения объемных и мягких материалов средней твердости, волокнистых и целлюлозных материалов без переизмельчения. Применяются при переработке отходов пластмасс, текстиля, бумаги, растительного сырья (рис.1.12).

Прежде всего перейти к конструированию малогабаритных мельниц для измельчения сельскохозяйственных материалов необходимо было провести подробный анализ существующих устройств. Для этого они были условно развиты на четыре группы: шнековые устройства, вибрационные и инерционные дробилки, лабораторные измельчающие аппараты, дисковые мельницы.

Основным недостатком шнековых устройств, а также дробилок является характер воздействий на частицы, который не обеспечивает эффективного помола зерновых. Кроме того в некоторых мельницах шнек предназначен лишь для транспортирования материала [38,42,43].

К преимуществам лабораторных измельчающих устройств можно отнести высокую чистоту получаемого продукта, автоматическое

регулирование процесса и некоторые другие аспекты. Однако, применение их для решения поставленной задачи нецелесообразно: они работают по замкнутому циклу (измельчение небольшими порциями). Часть лабораторного оборудования – аналоги ударно – центробежных измельчителей, недостатки которых приведены выше.

Дисковые мельницы, основные на истирании частиц материала, наиболее эффективны при измельчении зерновых. За длительный период, начавшийся с применением металла для изготовления дисков, были подобраны специальные высоколегированные стали, разработаны режимы их термообработки. Это однако является одновременно и недостатком существующих мельниц – входит в противоречие с конструкторскими разработками. Геометрия рабочих поверхностей дисков чрезмерно усложнена [41], что делает дорогостоящим механическую обработку трудно обрабатываемых материалов. Невозможно применение твердых сплавов (например, ВК8, Т15К10 и др.), обладающих высокими твердостью, прочностью и износостойкостью.

Еще более эффективно производится измельчение абразивными зубцами в мельнице с дисками неравной прочности. Однако интенсивный износ менее прочного диска и, как следствие повышения засорения муки продуктами износа является непреодолимым препятствием при разработке МГМ.

#### **2.4.4. Технологическая и энергетическая оценка процесса измельчения**

Технологическую оценку эффективности процесса измельчения проводят одновременно по двум показателям: количественным и качественным:

К количественным показателем относят общую (суммарную) производительность или частное извлечение через определенный номер сита [15, 31].

Количественной мерой дисперсности сыпучих материалов, т.е. развитости поверхности частиц, служит показатель удельной площади

поверхности. Удельной площадью поверхности материала называется суммарная площадь поверхности всех частиц, заключенных в единице массы ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ) или объема ( $\text{м}^{-1}$ ).

В теории измельчения принято определить:

объемную удельную площадь поверхности  $S_{\text{уд.об}}$  ( $\text{м}^{-1}$ )

$$S_{\text{уд.об}} = \frac{6}{d}, \quad (2.1)$$

массовую удельную площадь поверхности  $S_{\text{уд.м}}$  ( $\text{м}^2/\text{кг}$ )

$$S_{\text{уд.об}} = \frac{6}{\rho d}, \quad (2.2)$$

где  $d$  – средний размер частиц, м;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Из формул (2.1) и (2.2) следует, что для определения удельной площади поверхности материала необходимо знать линейные размеры его частиц. Средневзвешенный размер принято называть диаметром частиц, независимо от их действительной формы.

*Степень измельчения.* Абсолютные размеры, или крупность, частиц измельченного корма обусловлены зоотехническими требованиями и используются при оценке процессов измельчения, кроме этого, требуется иметь представление о глубине процесса диспергирования, т.е. степени измельчения.

В общем случае энергоемкость технологического процесса измельчения зависит от приращения удельной поверхности  $\Delta S$  материала, т.е.  $\Delta S = S_{\text{к}} - S_{\text{нач}}$ .

С уменьшением размеров частиц удельная площадь поверхности возрастает, поэтому численно степень измельчения  $\lambda$  равна отношению удельной площади поверхности частиц конечного продукта к удельной площади поверхности кусков исходного материала, т.е.  $\lambda_S = S_{\text{к}} / S_{\text{нач}}$ .

В технике степенью измельчения  $\lambda$  материала принято называть отношение среднего размера  $D$  кусков исходного материала к среднему размеру  $d$  частиц продукта измельчения

$$\lambda = \frac{D}{d} \quad (2.3)$$

Если исходный материал – зерна сельскохозяйственных культур, то, учитывая разнообразие и сложность формы, их размеры наиболее удобно характеризовать величиной эквивалентного диаметра  $D_э$ . Эквивалентным диаметром зерна называется диаметр шара, объем которого равен действительному объему зерна. Значения эквивалентных диаметров находят экспериментально. Определяют средний объем зерна погружением порции из 100 шт. в жидкость (бензин, толуол, ксилол), налитую в мерный цилиндр. Если объем одного зерна  $V_з$ , а объем равновеликого шара  $V_э = \pi D_э^3 / 6$ , то эквивалентный диаметр зерна будет равен

$$D_э = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_з}{\pi}} \approx 1,24 \sqrt[3]{V_з} \quad (2.4)$$

С учетом этого начальная удельная площадь поверхности зернового материала перед измельчением по (2.2) будет  $S_{нач} = 6 / \rho D_э$ .

Показатель степени измельчения  $\lambda$  характеризует главным образом технологический процесс измельчения, а не крупность частиц дерти. Очевидно, что при одной и той же крупности ( $d_{ср}$ ), крупное зерно дает более высокие значения степени измельчения и наоборот.

В таблице 2.3 приведены численные значения степени измельчения и удельной площади поверхности дерти, полученной из ячменя, зерна которого имели эквивалентный диаметр  $D_э = 4,2$  мм и плотность  $\rho = 1300$  кг/м<sup>3</sup>.

При измельчении кормов на молотковых дробилках регулятором тонкости размола является решет, установленное в дробильной камере. Абсолютное значение степени  $\lambda$  измельчения зерна злаковых культур в зависимости от диаметра решета в камере дробилки, можно принимать следующими:

Диаметр решета, мм	10	6	3	2
Степень измельчения $\lambda$	1,5 – 1,6	2,0 – 2,4	5 – 7	8,4 – 9,7

*Ситовой анализ.* Рассев навески сыпучего материала на фракции с целью определения его гранулометрического состава называется ситовым анализом. Методы ситовых анализов унифицированы.

Таблица 2.3

**Степень измельчения и удельная площадь поверхности ячменной дерти**

Размол	Крупность частиц $d_{ср}$ , мм	Степень измельчения $\lambda$	Удельная площадь поверхности $S_k$		Приращение удельной площади поверхности	
			массовая $м^2/кг$	объемная $м^{-1}$	$м^2/кг$	$м^{-1}$
Очень мелкий	0,2	21,0	23,0	$30 \cdot 10^4$	21,9	$28,6 \cdot 10^4$
Мелкий						
Средний	1,0	4,2 2,3	4,6	$6 \cdot 10^4$	3,3	$4,6 \cdot 10^4$
Крупный	1,8	1,6	2,5	$3,3 \cdot 10^4$	1,4	$1,9 \cdot 10^4$
	2,6		1,8	$2,3 \cdot 10^4$	0,7	$0,9 \cdot 10^4$

Для отсева применяют сита металлические – пробивные и тканые (ГОСТ 3924 – 45) или шелковые тканые (ГОСТ 30108 – 40). Размеры отверстий испытательных сит с мелкой сеткой выбирают по ГОСТу 2851 – 45 (от 45мкм и выше), а с крупной сеткой – по ГОСТу 3884 – 53 (от 1 до 2,5 мм). Для отсева измельченных кормов с размерами частиц от 1 мм и выше применяют преимущественно пробивные сита с круглыми отверстиями, а для частиц мельче 1 мм – тканые с квадратными отверстиями. Сетки для сит имеют номер, обозначающий число отверстий на 1 см длины. Сита устанавливают в пакеты сверху вниз от крупных отверстий к мелким. Проход с последнего сита собирается на поддоне.

В комбикормовой промышленности крупность дерти определяют по ГОСТу 8770 – 58, согласно которому находят средневзвешенный диаметр частиц (модуль) по одной из следующих формул:

$$M = (0,5p_0 + 1,5p_1 + 2,5p_2 + 3,5p_3)/100$$

или  $M = (0,1p_0 + 0,6p_{0,2} + 1,5p_1 + 2,5p_2 + 3,5p_3)/100$  (2.5)

где  $M$  – средневзвешенный диаметр части (модуль), мм;

$p_0$  – остаток на сборном дне, %;

$p_{0,2}$  – то же на сите с отверстиями 0,2 мм, %;

$p_1, p_2, p_3$  – остатки на ситах с отверстиями соответственно 1, 2 и 3 мм, %.

Навеска дерти (100 г) просеивается через набор штампованных сит с круглыми отверстиями 5, 3, 2 и 1 мм при грубом и среднем измельчении или 4, 3, 2, 1 и 0,2 мм – при тонком измельчении. Верхние сита с отверстиями 5 и 4 мм являются контрольными для учета целых зерен, наличие которых в дерти не допускается. Остатки дерти на этих присоединяют к остаткам на сите с отверстиями 3 мм.

Исчисление средневзвешенного диаметра частиц в этих случаях проводят по формуле

$$d = \sum d_i p_i / 100 = (d_1 p_1 + d_2 p_2 + \dots + d_n p_n) / 100, \quad (2.6)$$

где  $d_i$  – средний размер отверстий двух смежных сит, мкм;

$p_i$  – весовой выход (масса) класса, % (при массе навески 100 г – ( $d = \sum p_i = 100\%$ )).

Следует обратить внимание на то, что формула (2.6) отличается от формулы (2.5) только числом выделенных фракций.

Ситовой анализ производят на лабораторном рассеве – встряхивателе в течение 20 мин. Операция просеивания считается законченной, если при контрольном просеивании в течение одной минуты количество материала, прошедшее через сито, не будет превышать 1 % от количества, оставшегося на сите.

К качественным показателям измельчения относятся дисперсность, зольность и цвет муки, количество клетчатки и крахмала. В таблице 2.4

приведен средний химический состав муки. Нормы качества муки для сортового помола пшеницы приведены в таблице 2.5.

При обойном помоле пшеницы и ржи выход муки составляет 96 % выход отрубей – 1 %. Основные показатели качества муки при обойном помоле следующие: зольность; крупность – остаток на металлотканом сите № 067 не более

2 % и проход через шелковое сито № 38 не менее 30 %, для пшеничной муки

Таблица 2.4

### Средний химический состав муки

Химический состав	крупчатка	Высший сорт	1 сорт	2 сорт	Обойная
Белок	15,0	12,5	14,0	15,5	15,0
Крахмал	77,0	79,1	77,5	71,0	66,0
Клетчатка	0,15	0,12	0,30	0,70	2,30
Пентозоны	2,00	1,95	2,50	4,00	7,20
Сахар	2,00	1,85	2,00	2,50	4,00
Жир	0,95	0,80	1,50	1,90	2,00
Зола	0,55	0,48	0,65	1,10	1,85
Сырая клейковина	33	29	32	27	22

Таблица 2.5

### Нормы качества муки для сортового помола пшеницы

Качества	Крупчатка	Высший сорт	1 сорт	2 сорт
1	2	3	4	5
Зольность, %, не более	0,60	0,55	0,75	1,25
Крупность остаток на шелковом сите	23/2	43/5	35/2	27/2

№ / %, не более				
1	2	3	4	5
Проход шелкового сита № / %, не более	35/10	---	43/75	38/60
	не более		не менее	не менее
Цвет определяемый органолептический	Белый или кремовый с желтоватым оттенком	Белый или белый с кремовым оттенком	Белый или белый с желтоватым м оттенком	Белый с желтоватым м или сероватым оттенком

количество клейковины не менее 20 %, качество ее не менее ниже второй группы; цвет муки – белый с желтоватым или сероватым оттенком с заметными частицами оболочек зерна.

Энергетическая оценка процесса измельчения наиболее глубока определена в работах П.А. Ребиндера [34].

Энергоемкость процесса измельчения зерновых определяется совокупностью взаимосвязанных элементов: а) работы, необходимой для упругого и пластического деформирования частиц, образования и развития в них микро и макро трещин; б) работы, необходимой для образования новых поверхностей при разрушении частиц в условиях создаваемого в них напряжения, превосходящего предел прочности; в) работы, обусловленной деформированием и изнашиванием поверхности рабочего органа при его контакте с частицами.

Работа, затрачиваемая на измельчение твердых тел, может быть выражена следующим образом

$$A = A_{уд} + A_{np} + A_{ди} \quad (2.7)$$

где  $A_{yнд}$ ,  $A_{np}$ ,  $A_{ди}$  - соответственно работа, затрачиваемая на упругие и пластические деформации измельчаемых частиц, на образование поверхностей их раздела, на деформацию и изнашивание рабочих органов.

Известно, что работа отнесенная к единице деформируемого объема твердых тел равна

$$A_{yнд} = A_{yд} \cdot m \cdot V \quad (2.8)$$

где  $A_{yд}$  - удельная работа, затрачиваемая на деформирование материала при его разрушении, Н см/см<sup>3</sup> ;

$V$  - общий объем деформируемых тел, см<sup>3</sup> ;

$m$  - число циклов измельчения.

Работу, затрачиваемую на образование поверхностей раздела можно определить по формуле

$$A_{np} = \sigma \cdot \Delta S \quad (2.9)$$

где  $\sigma$  - удельная поверхностная энергия;

$\Delta S$  - приращение поверхности

$$\Delta S = F_k - F_n \quad (2.10)$$

где  $F_k$  и  $F_n$  - конечная и начальная поверхности частиц, образующих продукт измельчения и исходный материал, см<sup>2</sup> .

Анализ приведенных формул показывает, что для снижения энергоемкости процесса измельчения зерновых необходимо:

- повысить износостойкость рабочего органа измельчителя, что приводит к уменьшению  $A_{ди}$  ;
- технологически рационально уменьшить число измельчающих систем и интенсифицировать режим их работы, что позволит уменьшить число циклов измельчения [15,16];
- снизить затраты на деформирование материала при его разрушении;
- увеличить значение произведения  $\sigma \cdot \Delta S$  .

## **2.4.5. Функции, задачи и направления измельчающих устройств для зерновых материалов**

Для каждого конкретного материала или группы материалов в зависимости от их физико – технологических свойств разрабатываются специальные способы измельчения. Наиболее распространенным из них является способ, включающий предварительное измельчение с одновременным транспортированием полупродукта в зону окончательного измельчения и непосредственно получения заданного по модулю помола дерти и муки.

Основная функция этих измельчающих устройств измельчения кормов с образованием множества частиц с большой общей площадью поверхности, что способствует ускорению пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ.

Разработка эффективного малогабаритного оборудования с высокими показателями производительности и качества измельчения является технической задачей работы.

Анализ существующих измельчающих устройств, и опыт проведенных исследований по проблемам измельчения зерновых материалов в лаборатории кафедры «СХМ, ЭиР» показывает, что необходимо вести исследования по созданию малого измельчающего устройства с низкой металло и энергоемкостью, при возможности получения помола зерно отвечающим зоотехническим требованиям.

Поэтому предполагается вести исследования по нескольким направлениям:

- исследование и создание малой измельчающей машины с возможностью использования эффекта измельчения истиранием;
- исследование и создание малой машины для роторной обработки зерновых материалов;
- исследования существующих измельчающих устройств с целью создания малой машины для фермерских хозяйств.

Потребность фермерских хозяйств в универсальных дробилках, позволяющих измельчать зерновой материал на фуражные и пищевые цели, вынуждают перейти к созданию машин с различными способами измельчения в зависимости от необходимого модуля помола.

### **Выводы**

1. Обзор и анализ существующих конструкций измельчающего оборудования для зерновых материалов показывает, что машины используемых на предприятиях мукомольной и комбикормовой промышленности не целесообразно и не возможно применять как средство малой механизации для фермерским и дехканским хозяйствам.

2. В практике измельчения зерновых материалов на фермерских хозяйствах отмечается тенденция использования машин используемых на больших предприятиях, а также различные конструкции измельчителей изготовляемых на местах и в различной степени удовлетворяющих зоотехнические требования.

3. Отмеченные выше недостатки машин с учетом экономики обуславливают необходимость разработки конструкции измельчителя зерновых материалов с небольшим габаритом и малой потребной мощностью с возможностью работы в одно и трехфазном электродвигателях, которые обеспечили бы наряду с надежностью работы получить измельчение зерновых материалов с различной модуль помола, а также получить муки для пищевых целей фермеров.

4. Намеченная программа работы предусматривает разработки конструкции вертикально-роторной дробилки зерновых материалов для фермерских хозяйств, а также проведение лабораторных исследований с целью выявления работоспособности машины.

### III Результаты исследований

#### 3.1. Стенд для исследование вертикально-роторной дробилки

Для исследования процесса измельчения в сентябре 2007 года по чертежам разработанным на кафедре «Сельскохозяйственные машины, эксплуатация и ремонт» в период ноября – декабря месяцев была изготовлена лабораторная установка (рис.3.1). Разработка и изготовление измельчителя производились с целью создание машины производительностью 50-80 кг/ ч при модуле помола 1 – 1.8мм на фуражном зерне. Внедрение машины такой производительности в производство позволило бы обеспечить фермерские хозяйства с небольшим поголовьем (15-30 коров), а также для пищевой цели семьи фермера мукой.

При проектировании ставились также задача обеспечить некоторую универсальность машины (обеспечение тонкого помола в муку, очистка зерна от оболочки).



Рис.3.1. Стенд для исследования вертикально-роторной дробилки

Лабораторные испытания проводили с параметрами:

Диаметр ротора, мм	- 40
Высота ротора, мм	- 100
Емкость бункера, л	- 4
Ширина и высота выгрузного окна, мм	- 50,20
Величина рабочего зазора между ротором и статором, мм	- 0,1
Частота вращения ротора, мм <sup>-1</sup>	- 435-540

Частота вращения ротора и крупность помола менялись в широких пределах. Для опытов брали пшеничное (с влажностью  $W = 15\%$ ) и кукурузное (с влажностью  $W = 20\%$ ) зерно. Установлено, что при минимально возможном модуле помола, т.е. когда  $M = 1,1 - 1,2$  мм производительность машины равна  $Q = 30-35$  кг/час, удельная энергоёмкость  $A_{уд} = 0,004 - 0,005$  кВт\*час/кг.

При этом частота вращения, приводящая к максимуму производительности для помола с  $M = 1,1 - 1,2$  мм на пшенице  $n = 435 - 540$  мин<sup>-1</sup> и на кукурузе  $n = 405 - 540$  мин<sup>-1</sup>. С увеличением модуля помола растут и оптимальные частоты вращения ротора.

### 3.2. Исследование процесса предварительного измельчения

Программой испытания предусматривалось:

1. Определение максимальной пропускной рабочей камеры в режиме транспортировки продукта.

2. Определение производительности входного отверстия при гравитационной загрузке.

3. Определение производительности и модуля помола при зазоре  $\delta = 0,1 - 2,0$  мм в диапазоне частоты вращения ротора 750 – 3000 об/мин.

4. Определение энергетических показателей на стационарных режимах.

Определение максимальной пропускной способности рабочей камеры. Результаты испытаний приведены в таб.3.1 в трехкратных повторностях на каждом режиме. Определение производительности входного отверстия

производилось на пшеничном, ячменном, кукурузном, рисовом зерне. Повторность трехкратная. Бункер заполнение массой по 2 кг, время истечения замеривалось секундомером. Результаты приведены в таб. 3.2.

В процессе проведения опытов зависание массы в входном отверстии не отмечалось. В целом бункер с отверстием  $d_0=28$  мм обеспечивает максимально возможную производительность рабочей камеры при максимальных рабочих зазорах. С уменьшением рабочих зазоров обеспечивается подпор массы, что обуславливает реализацию максимальной пропускной способности камеры, при любом заданном модуле помола.

При определении частоты вращения ротора изменялось изменением напряжения в якорной цепи приводного двигателя постоянного тока. Измерение частоты вращения на холостом и рабочем ходах производилась тахометром с точностью  $\pm 0,5$  %. Расчет энергетических показателей производился по показаниям амперметра и вольтметра на стационарных режимах. Процент мучной фракции определяли взвешиванием массы муки с размерами частиц  $\leq 0,1$  мм, просеянной предварительно через решето. Количество повторностей в каждом опыте трехкратный.

Таблица 3.1

**Результаты испытаний максимальной пропускной способности  
рабочей камеры (зерно – пшеницы, w = 15 %)**

№ ре- жи- ма	напря- жение, В	Величин а тока, А		Частота вращения, об/мин		Производ ительност ь, кг/ч	Общая потребляе мая мощность, Вт	Мощность потребляем ая ротором, Вт
		х -х	р -х	х -х	р - х			
1.	75	0,5	0,6	750	740	180,0	45	7,5
2.		0,5	0,6		735	174,9		7,5
3.		0,5	0,6		740	180,0		7,5
1.	100	0,6	0,7	1000	985	227	60	10,0
2.		0,6	0,7		985	227		10,0
3.		0,6	0,7		985	227		10,0
1.	125	0,6	0,75	1250	1240	238	75	18,5
2.		0,6	0,75		1230	232		18,5
3.		0,6	0,75		1235	236		18,5
1.	145	0,6	0,8	1500	1485	238	87	29,0
2.		0,6	0,8		1485	238		29,0
3.		0,6	0,8		1490	240		29,0
1.	170	0,6	0,85	1750	1735	240	102	40,0
2.		0,6	0,85		1745	245		40,0
3.		0,6	0,85		1740	242		40,0
1.	190	0,7	0,95	2000	1985	240	133	46,0
2.		0,7	0,95		1990	245		46,0
3.		0,7	0,95		1990	244		46,0

Примечание: величина зазора в рабочей камере 3 мм.

Таблица 3.2

**Производительность выгрузного отверстия бункера (диаметр d =28 мм)**

№	Масса зерна в бункере, кг	Время испытания, с	Диаметр отверстия, мм	Производительность, кг/ч.
Зерно пшеничное				
1.	2	43,5	28	248
2.		43,2		250
3.		43,8		252
Зерно кукурузное				
1.	2	52,7	28	205
2.		53,2		203
3.		52,7		205
Зерно рисовое				
1.	2	38,5	28	280
2.		38,5		280
3.		38,3		282
Зерно ячменное				
1.	2	47,0	28	230
2.		46,5		232
3.		46,6		231

Примечание: Влажность зерна 15-18 %, масса чистая без наличия остатков соломы.

Таблица 3.3

**Результаты испытаний при влажности пшеницы 15-18 %.**

№ ре жи ма	Величина зазора в рабочей камере, мм	Частота вращения, об/мин		произ водит ельно сть, кг/ч	Мощность, Вт		Удельный расход мощности на дробление, Вт *ч/кг	Мод уль помо ла, мм
		х - х	р - х		общая	на дробле ние		
1.	0.1	Режим не реализуется						
2.	0.29	750	685	9.0	128	26.1	2.9	0.9
3.	0.47		700	10.2	92	32.6	3.2	0.9
4.	0.66		740	10.2	93	32.6	3.2	1.1
5.	0.85		740	11.7	93	29.3	2.5	1.1
6.	1.04		750	17.0	91	32.3	1.9	1.5
(зерно - пшеница)								
1.	0.1	1000	920	10.2	316	188	18.4	0.6
2.	0.29		900	11.4	198	99.2	8.7	0.6
3.	0.47		900	12.6	145	53.6	4.7	0.9
4.	0.66		900	13.5	198	98.6	7.3	1.1
5.	0.85		890	14.1	166	74.7	5.3	1.3
6.	1.04		930	18.1	132	48.9	2.7	1.6
(зерно – пшеница)								
1.	0.1	1500	1490	13.5	195	72.9	5.4	0.6
2.	0.29		1500	17.0	225	91.8	5.4	0.8
3.	0.47		1500	18.0	227	93.6	5.2	1.0
4.	0.66		1500	21.0	207	77.7	3.7	1.1
5.	0.85		1500	24.0	184	60.0	2.5	1.3
6.	1.04		1500	30.0	184	63.0	2.1	1.6
(зерно – пшеница)								
1.	0.1	2460	2430	19.2	403	169	8.8	0.6
2.	0.29		2420	19.2	294	86.4	4.5	0.6
3.	0.47		2250	21.0	291	86.1	4.1	0.9
4.	0.66		2250	21.0	291	86.1	4.1	1.2
5.	0.85		2300	24.0	190	12.0	0.5	1.5
6.	1.04		2320	32.0	206	25.6	0.8	1.6
(зерно – кукуруза)								
1.	0.1	Режим не реализуется						
2.	0.29		1520	14.4	393	117	8.1	0.6

3.	0.66	1500	1512	18.2	275	122.1	6.2	0.9
4.	0.85		1500	21.6	263	125.3	5.8	1.2
5.	1.04		1500	23.4	186	88.9	3.6	1.5
6.	1.22		1450	25.0	186	70	2.8	1.7
(зерно – кукуруза)								
1.	0.1	2500	2430	16.4	490	135	8.2	0.6
2.	0.29		2420	16.5	323	109	6.2	0.8
3.	0.66		2400	20.1	289	84.4	4.2	1.1
4.	0.85		2410	25.1	289	92.9	3.7	1.2
5.	1.04		2440	26.5	258	61.0	2.3	1.4
6.	1.22		2440	29.1	258	61.1	2.1	1.5

\* Рассчитано по максимальным показаниям стрелки амперметра.

### 3.3. Исследование процесса окончательного измельчения

Программой испытаний предусматривались:

1. Определение производительности и модуля помола при зазоре между ротором и верхним конусом  $\delta=0,5$  мм в диапазоне частоты вращения 1000...2500 об/мин.
2. Определение коэффициента измельчения.
3. Определение энергетических показателей на стационарных режимах.

Крупность готового продукта регулируется в основном величиной рабочего зазора  $\delta$ . Производительность определяется значениями размерами ротора и скоростью ротора.

Для повышения производительности необходимо увеличить частоту вращения, диаметр и зазор между ними. Однако рост значений этих параметров будет сдерживаться требованиями по следующим причинам. Частота вращения является первопричиной интенсивного тепловыделения. Повышенная температура в свою очередь понижает хлебопекарное качество получаемой муки. При проектировании малогабаритных измельчителей недопустимо беспредельное увеличение размеров мелющих органов. Величина зазора

определяется необходимым содержанием в готовом продукте высокодисперсной фракции.

В работающую дробилку загружали в ручную предварительно измельченное зерно. По достижении установившегося движения (процесса) поток получаемого продукта отводили в специально отведенную тару. Отношение массы продукта  $M$  по времени потраченному на его получение  $t$  и представляет производительность в единице времени.

Значение  $G$  определяем по формуле

$$G = \frac{M}{t} \cdot 3600 \quad (3.1)$$

где  $M$  – масса продукта, кг;

$t$  – время, сек.

Полученный продукт просеивается в металлочных ситах № 315 и 180. Отметим, что материал оставшийся на сите № 315 обозначается (+315), прошедший через него и оставшийся на сите № 180 (-315+180), а самая мелкая фракция (-180).

При этом

$$M = M_{(+315)} + M_{\left(\begin{smallmatrix} -315 \\ +180 \end{smallmatrix}\right)} + M_{(-180)} \quad (3.2)$$

Ранее установлено, что частицы муки имеют в своей основе сферическую или близкую к ней форму. Поэтому в дальнейшем принимаем, что частицы исследуемого нами материала сферы.

Средний диаметр частиц продукта (+315) принимали равным  $d_{cp(+315)}=0,4$  мм, что вполне допустимо, т.к. эта фракция мало влияет на значение  $K_{и}$ .

При выборе значения  $d_{\left(\begin{smallmatrix} -315 \\ +180 \end{smallmatrix}\right)}$  руководствовались следующими соображениями. Через сито № 315 проходит частицы разных размеров, причем чем меньше их размеры тем больше их количество. Поэтому неверным будет

принимать  $d_{\text{ср}}$  как среднее арифметическое размеров ячеек сит. Очевидно, что точнее будет

$$d_{\left(\begin{smallmatrix} -315 \\ +180 \end{smallmatrix}\right)} = 180 + 0,4 \cdot (315 - 180) = 134 \text{ мкм}$$

Аналогично находим

$$d_{(+180)} = 0,4 \cdot 180 = 72 \text{ мкм}$$

Массу и свободную поверхность условно усредненных частиц находим по формуле

$$m_i = \frac{\pi \cdot d_i^3}{6} \cdot \rho \quad (3.3)$$

$$f_i = \pi \cdot d_i^2 \quad (3.4)$$

и получим  $m_{(+315)} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ г}$ ;  $m_{\left(\begin{smallmatrix} -315 \\ +180 \end{smallmatrix}\right)} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ ;  $m_{(-180)} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ г}$ ;

$$f_{(+315)} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2; f_{\left(\begin{smallmatrix} -315 \\ +180 \end{smallmatrix}\right)} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2; f_{(-180)} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2.$$

Площадь свободной поверхности частиц каждой фракции можно определить по формуле

$$F_i = \frac{M_i}{m_i} \cdot f_i \quad (3.5)$$

а для всего продукта в целом

$$F_i = \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{m_i} \cdot f_i \quad (3.6)$$

Свободную поверхность зерен определяем аналогично. Пользуясь данными таблицы 2.1 определяем количество зерен в исходном продукте

$$n_z = \frac{10^6 \cdot M}{m_{1000}} \quad (3.7)$$

где  $m_{1000}$  – масса 1000 штук зерен, г.

Форму зерен принимали цилиндрической с диаметром

$$d_3 = \frac{(a + b)}{2} = 0,26 \text{ см} \quad (3.8)$$

где  $a$  – толщина зерна, см;

$b$  – ширина зерна, см.

Высоту определяли по формуле

$$h_3 = c - \frac{(a + b)}{3} = 0,47 \text{ см} \quad (3.9)$$

Откуда свободная поверхность частиц исходного продукта

$$F_n = n_3 \cdot f_3 \quad (3.10)$$

Таким образом, после каждого опыта удалось определить свободную поверхность зерна  $F_3$  и конечного продукта  $F_k$  и одновременно оценить коэффициент измельчения вычислениями с помощью формул.

Частота вращения ротора изменялась изменением напряжения в якорной цепи приводного двигателя постоянного тока. Изменения частоты вращения на холостом и рабочем ходах производилось тахометром с точностью  $\pm 0,5$  %. Расчет энергетических показателей производился по показаниям амперметра и вольтметра на стационарных режимах. Выход муки и отруби определяли взвешиванием. Количество повторностей в каждом опыте трехкратный. Результаты приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

**Результаты испытаний при влажности зерна пшеницы  $w=15-18\%$**

	Частота вращения ротора, об/мин		Производительность кг/ч	Мощность, Вт		Удельный расход мощности, Вт*ч/кг	Модуль помола, мм
	х - х	р - х		общая	на измельчение		
1.	1450	1980	16.6	627.5	298.8	18.0	0.1
2.		1970	19.5	667.4	317.8	16.3	0.2
3.		1950	20.1	624.8	297.5	14.8	0.075
4.		1960	22.5	619.1	294.8	13.1	0.15
5.		2000	25.1	627.3	298.7	11.9	0.3
1.	1750	2170	16.3	617.0	293.8	17.7	0.15
2.		2160	20.0	697.2	332.0	16.6	0.2
3.		2180	24.1	769.2	366.3	15.2	0.25
4.		2150	26.7	751.4	357.8	13.4	0.28
5.		2200	28.4	697.8	332.3	11.7	0.3
1.	2400	2375	17.0	617.4	294.1	17.3	0.1
2.		2380	19.0	646.4	307.8	16.2	0.15
3.		2360	22.6	707.1	336.7	14.9	0.2
4.		2390	27.6	759.4	361.6	13.1	0.25
5.		2370	28.5	682.3	324.9	11.4	0.3
1.	2600	2570	18.5	664.2	316.3	17.1	0.075
2.		2585	23.2	784.3	373.5	16.1	0.1
3.		2590	26.9	830.3	395.4	14.7	0.13
4.		2560	28.1	761.2	362.5	12.9	0.20
5.		2550	29.5	681.4	324.5	11.0	0.25
1.	2800	2765	18.9	666.8	317.5	16.8	0.075
2.		2780	23.8	799.7	380.8	16.0	0.1
3.		2755	26.5	806.8	384.2	14.5	0.13
4.		2790	28.4	733.5	349.3	12.3	0.20
5.		2750	29.9	671.8	319.9	10.7	0.25

### **3.4. Статистические данные исследования и анализ**

#### **3.4.1. Анализ результатов определения максимальной пропускной способности рабочей камеры и производительности входного отверстия**

Из результатов испытаний (табл. 3.1) видно, что с увеличением частоты вращения в 2,6 раза приводит к увеличению производительности в 1,35 раза (рис.3.1). Так как производительность входного отверстия составляет 250 кг/ч, то есть обеспечивается постоянный подпор материалом на всех рассмотренных режимах, то неадекватное частота вращения повышения производительности можно объяснить лишь особенностью динамического процесса перемещения массы зерен по пазам ротора. Энергоемкость процесса возрастает не линейной с увеличением частоты вращения ротора и на порядок меньше затрат энергии на дробление при модуле помола 1 – 1,8 мм. В процессе испытаний на пшенице на всех режимах работы отмечается незначительное отклонение модуля помола от величины установленного зазора. Выход мучной фракции увеличивается с уменьшением зазора между дисками  $\delta$  и частоты вращения ротора. Это явление объясняется увеличением работы трения в результате подпора материала в начале зоны рабочей камера.

Рис.3.1. Изменение максимальной производительности рабочей камеры в зависимости от частоты вращения ротора.

#### **3.4.2. Статистические данные результатов предварительного измельчения и результаты анализа**

Результаты статистической обработки результатов исследования измельчения приведены в таблице 3.4.

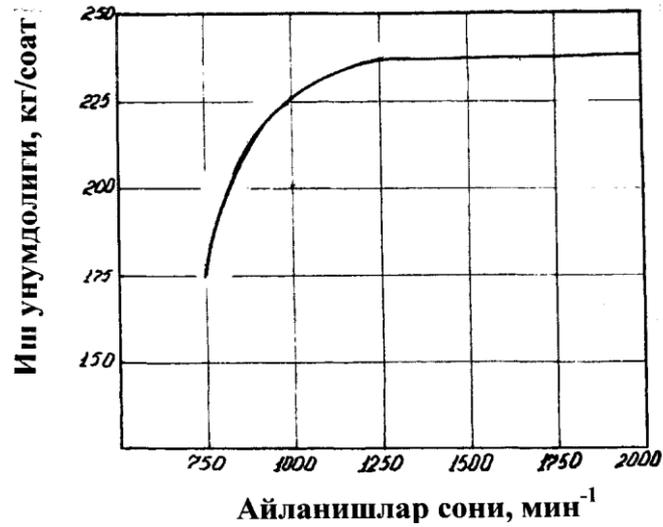


Рис.3.2. Изменение производительности в зависимости от величины зазора в рабочей камере.

- 1- при  $n_1=750$  мин<sup>-1</sup>; 2- при  $n_2=1000$  мин<sup>-1</sup>; 3- при  $n_3=1500$  мин<sup>-1</sup>;  
4- при  $n_4=2460$  мин<sup>-1</sup>.



Рис.3.3. Изменение модуля помола в зависимости от величины зазора в рабочей камере:

- 1- при  $n_1=750$  мин<sup>-1</sup>; 2- при  $n_2=1000$  мин<sup>-1</sup>; 3- при  $n_3=1500$  мин<sup>-1</sup>;  
4- при  $n_4=2460$  мин<sup>-1</sup>.



Рис.3.4. Изменение величины удельного расхода мощности на дробление в зависимости от величины зазора в рабочей камере:

- 1- при  $n_1=750$  мин<sup>-1</sup>; 2- при  $n_2=1000$  мин<sup>-1</sup>; 3- при  $n_3=1500$  мин<sup>-1</sup>;  
4- при  $n_4=2460$  мин<sup>-1</sup>.

Анализ экспериментальных исследований (рис.3.3) показывает, что значение производительности увеличивается с увеличением оборотов ротора и величины зазора рабочей камеры. При этом в общем присматривается некоторый обобщенный характер. По мере увеличения зазора в рабочей камере, наблюдается рост производительности, но по достижении величины зазора 0,8 – 0,85 мм производительность резко возрастает. Это объясняется тем, что с увеличением величины зазора резко уменьшаются силы трения.

В процессе испытаний на пшенице и на всех режимах работы (рис. 3.3) отмечается незначительное отклонение модуля помола от величины установленного зазора. Выход мучной фракции увеличивается с уменьшением зазора и частоты вращения ротора. Это явление объясняется увеличением работы трения в результате подпора материала в начале рабочей камеры, а

также увеличением ударных импульсов при разрушении частиц продукта в процессе перетирания в пазах.

Анализ удельного расхода мощности на дробление показывает, что с увеличением зазора в рабочей камере удельный расход мощности на дробление, во всех режимах стабильно уменьшается.

### **Выводы**

1. Разработанная конструктивно-технологическая схема вертикально-роторной дробилки позволяет в широких пределах варьировать режимами, характеристиками рабочих элементов обеих ступеней измельчения, энергетикой процесса и качеством помола.

2. Конструкция позволяет в широких пределах варьировать амплитудно-частотными характеристиками рабочих энергетикой процесса и качеством помола.

3. Дальнейшая работа по исследованию динамики системы требует постановки экспериментальных исследований измельчителей, реализующих различные способы разрушения зерновых материалов.

4. Анализ резонансных явлений на валу ротора (при остановке машины) позволяет оценить максимальные амплитуды как ротора так и корпуса рабочей камеры влияние резонанса на работоспособность машины.

## IV. Теоретическое и технико-экономическое обоснование

### 4.1. Теоретическое обоснование

В настоящей работе рассматривается одна из конструктивно-технологических схем измельчителя фуражного зерна вертикальном расположением ротора, отличающаяся простотой устройства и изготовления. На котором имеются пазы прямоугольного сечения, служащие для перемещения и измельчения зернового материала. Для этой же цели имеются пазы на диске и на роторе. Доизмельчение зерна в случае необходимости тонкого помола (помол в муку) производится на кольцевых поверхностях ротора и диска, имеющих накатку с мелким шагом.

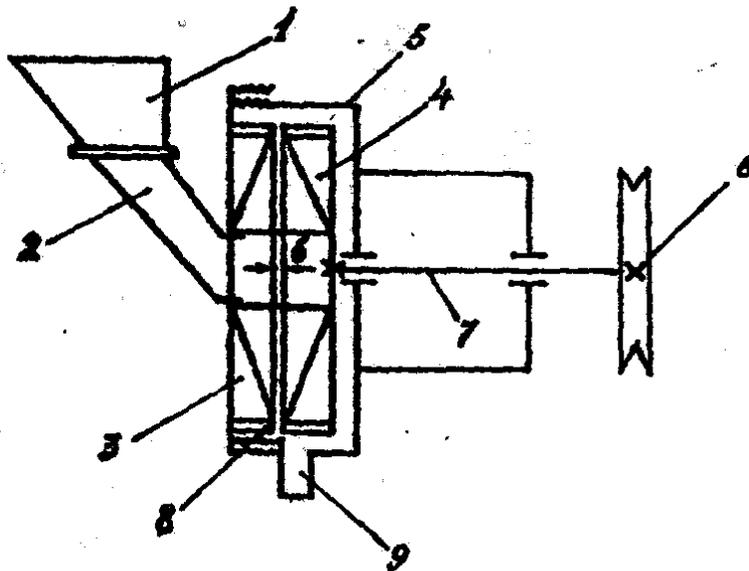


Рис. 4.1. Схема измельчителя:

1-загрузочный бункер; 2-патрубок; 3-статор; 4-ротор; 5-корпус выгрузной камеры; 6-шкив привода; 7-вал; 8-зона накатки ротора; 9-выгрузной лоток.

Поток зернового материала начинается из бункера, проходит через питающую горловину попадает в пазы и под действием центробежных сил устремляется в зону 7. После выхода из рабочей камеры материал выгружается лопатками 3 в лоток 8, Крупный помол зерна происходит в яге расположения

пазов ротора и верхнего диска, а доизмельчение на кольцевых насечках поверхностей.

Пропускная способность машины существенно зависит от устанавливаемого зазора  $\delta$ , транспортирующей способности паза ротора и сопротивление выхода материала в зоне накатки 7.

Оптимальная загрузка рабочей камеры возможна лишь при условии соответствия производительности потоков зернового материала, поступающего из бункера в кольцевую полость диаметром  $d$ , далее потока направляемого в пазы верхнего и нижнего дисков и потока на выходе из рабочей камеры в зоне доизмельчения. Для рассматриваемой конструкции на принятом режиме  $\omega$  и установленном зазоре  $\delta$  меньшим максимального, можно привести рассматриваемые потоки в соответствии путем регулирования входного потока из бункера.

С уменьшением  $\delta$  важность такого регулирования увеличивается, т.к. в противном случае возникает подпрессовка массы в пазах в районе входа в зону 7, что приводит к резкому возрастанию энергопотребления и нагреву рабочей камеры выше допустимых пределов [5. Так как источником тепловой энергии

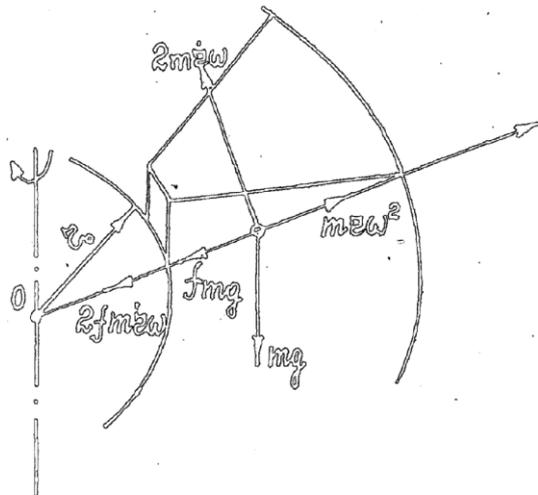


Рис. 4.2. Схема сил, действующих на частицу зерна в пазу ротора

гии является внутренние поверхности дисков, то есть рассеивание энергии происходит через диски и измельчаемый материал, это приводит к тому, что разность температур нагрева дисков и материала с увеличением степени измельчения уменьшается, при помоле в муку температура становится практически одинаковой.

При свободной транспортировке зернового материала по пазам ротора его производительность будет принимать экстремальное значение и определяется сечением паза, его коэффициентом заполнения и объемной массой материала. Для получения аналитических зависимостей производительности рабочей камеры, прежде всего исследование движения зерна по пазам ротора.

С этой целью схему сил (рис. 3.2), действующих на перемещаемую частицу зерна и получим уравнение относительного движения. Из рис. 3.2 видно, что на частицу действует сила веса  $-mg$ , центробежная сила  $-mr\omega^2$ , Кориолова сила  $-2m\dot{r}\omega$ , (т.к. вектора  $\vec{r}$  и  $\vec{\omega}$  взаимно перпендикулярны, то  $\sin(\vec{r}, \vec{\omega}) = \sin 90^\circ = 1$ ), а также силы трения  $fmg$  - по дну паза и  $2fm\dot{r}\omega$  - по боковой поверхности паза.

В результате получим уравнение

$$m\ddot{r} = mr\omega^2 - fmg - 2fm\dot{r}\omega \quad (3.1)$$

или

$$\ddot{r} + fg + 2f\dot{r}\omega - r\omega^2 = 0$$

Запишем данное уравнение в матричной форме, предварительно понизив его порядок. Примем  $r = r_1$ ,  $\dot{r} = r_2$  тогда получим систему уравнений

$$\begin{cases} \dot{r}_1 = r_2 \\ \dot{r}_2 = r_1\omega^2 - 2f\omega r_2 - fg \end{cases} \quad (3.2)$$

Тогда матрица коэффициентов этой системы уравнений

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \omega^2 & -2f\omega \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad (3.3)$$

а система уравнений в матричной форме

$$\begin{bmatrix} \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \omega^2 & -2f\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} fg \quad (3.4)$$

Для получения численных значений коэффициентов примем:

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$f = 0,37$  – коэффициент трения пшеницы по стали;

$\omega = (100, 150, 200, 250) \text{ р/с}$  – значение угловой скорости ротора, подлежащее реализации.

Начальные условия:

Начальное положение частицы зерна в момент входа в паз ротора

$$r_0 = \frac{d_0}{2}, \quad (3.5)$$

где  $d_0$  - выбирается в пределах 0,01 – 0,02 м по конкретному макетному образцу машины.

Начальная скорость входа частицы в паз ротора выбирается в пределах

$$\dot{r}_0 = 0 \div v_0, \quad (3.6)$$

где  $v_0$ - определяется экстремально на конкретном макетном образце машины.

Численная и графическая реализация весьма удобна в системе «matlab» на ПЭВМ типа IBM.

Программа решения в оболочке «matlab» имеет вид:

```
clc
t0 = 0;
tsinal = 0.025;
y0 = [0.014  0];
t01 = 1. e^-3;
trace = 1;
[t, r] = ode 23 ("vac1", t0, tsinal, y0, t01, trace);
y = [0  1; 22.5*1000 - 111]*[r(1) r(2)]' - [0  1]'*3.63;
Plot (t, r (:, 1)*100, t, r (:, 2)), grid
Pause
```

Здесь за начальные условия приняты: значения скорости  $\dot{r}_0 = 0$ , значение координаты  $r_0 = 0,014 \text{ м}$ .

Значение коэффициентов:

$$\omega^2 = (150 \text{ p/c})^2 = 22,5 \cdot 10^3;$$

$$2f\omega = 2 \cdot 0,37 \cdot 150 = 111;$$

$$fg = 0,37 \cdot 9,81 = 3,63.$$

Ниже приводим результаты вычислений в численном и графическом видах. На рис. 3.3 и 3.4 показаны реализации в графическом виде скорости  $\dot{r}(t)$  и перемещение  $r(t)$  зерна по пазу ротора в режиме транспортировки. К моменту выхода зерна из рабочей камеры ( $r=0,1$  м) время процесса  $t=0,022$  с. Величины радиальной скорости частицы  $\dot{r}=10,51$  м/с.

Таблица 3.1

Численные значения параметров движения зерна для машины с диаметром ротора  $D=200$  мм

№	$t$ , сек	$r$ , м	$\dot{r}$ , м/с	№	$t$ , сек	$r$ , м	$\dot{r}$ , м/с
1.	0	0.0140	0	13.	0.0107	0.0293	2.9294
2.	0.0003	0.0140	0.0786	14.	0.0120	0.0336	3.4185
3.	0.0010	0.0141	0.2989	15.	0.0134	0.0389	3.9975
4.	0.0017	0.0144	0.5066	16.	0.0149	0.0453	4.6838
5.	0.0025	0.0149	0.7133	17.	0.0164	0.0529	5.4967
6.	0.0033	0.0156	0.9206	18.	0.0179	0.0620	6.4584
7.	0.0042	0.0165	0.1314	19.	0.0195	0.0728	7.5947
8.	0.0050	0.0175	0.3490	20.	0.0210	0.0855	8.9356
9.	0.0060	0.0189	1.5865	21.	0.0226	0.1006	10.5170
10.	0.0070	0.0207	1.8844	22.	0.0241	0.1185	12.3810
11.	0.0081	0.0230	2.1604	23.	0.0250	0.1297	13.5510
12.	0.0094	0.0258	2.5147	24.			

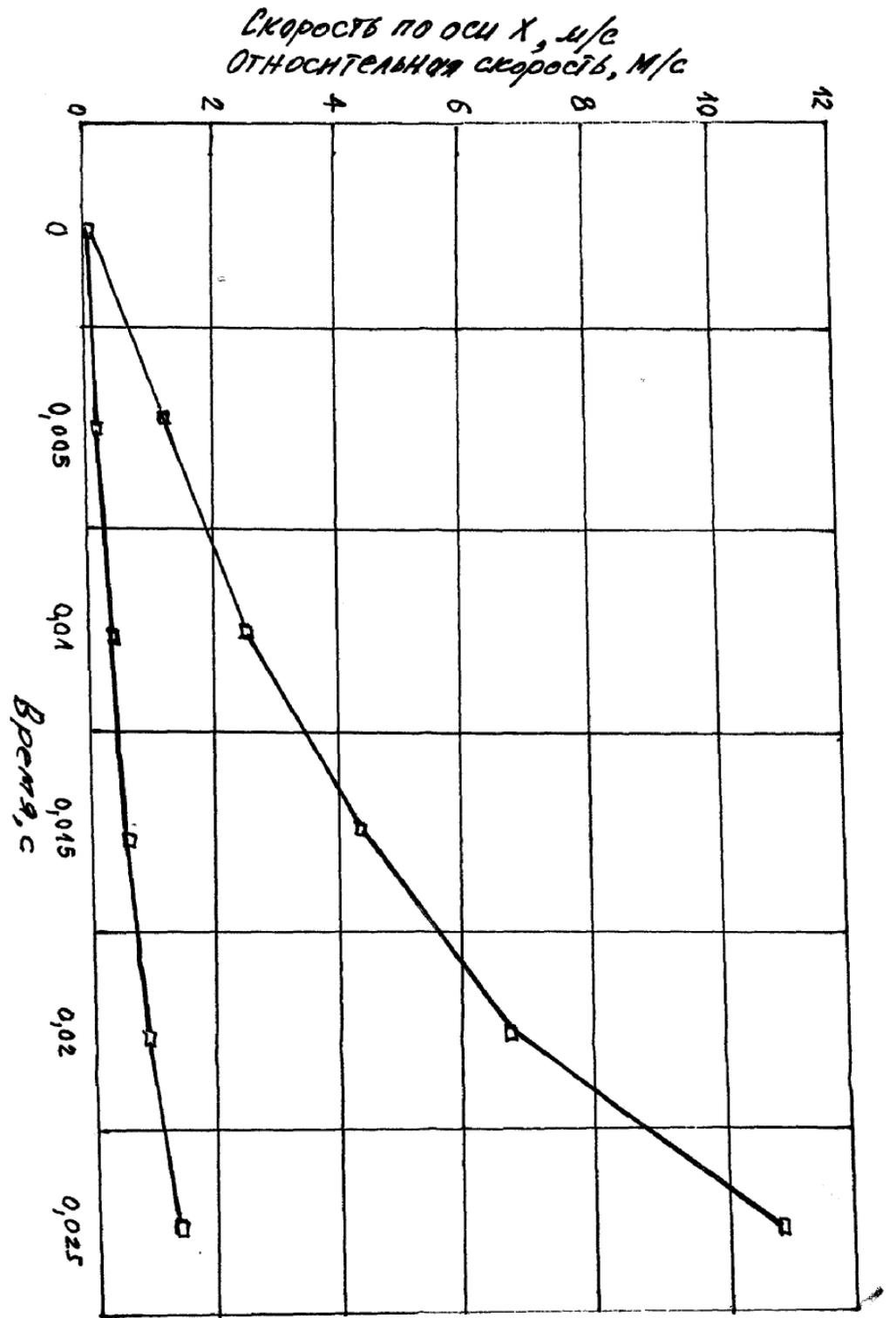


Рис. 3.3. Изменение относительной скорости по времени  $v(t)$  при  $\omega = 150 \text{ рад/с}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

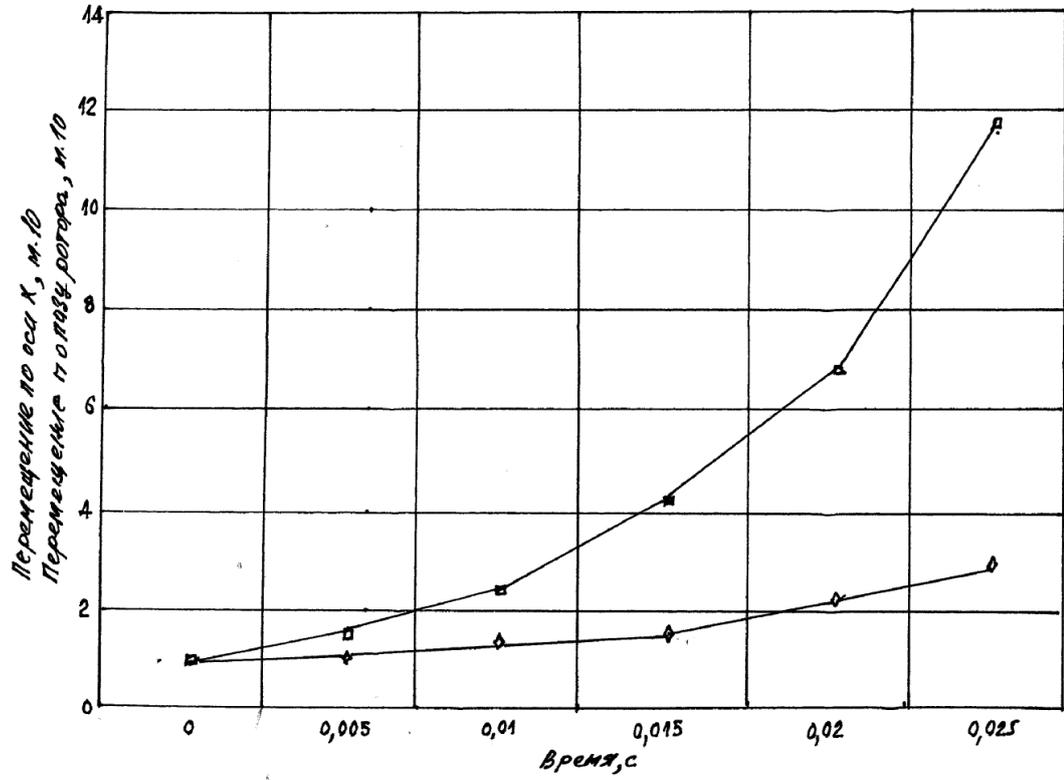


Рис. 3.4. Перемещение частиц по оси ротора  $r(t)$  при  $\omega = 150 \text{ р./с}$  и  $d = 30$

Как показали результаты теоретического обоснования и лабораторные испытания машины первой ступени измельчения при диаметре ротора 200 мм и частоте вращения 1500 – 3000 об/мин на пшенице дробилка развивает производительность 80 – 105 кг/час. Из графиков полученных по результатам машинного исследования перемещения частиц по пазу ротора ( $t$ ) при  $\omega=150$  рад/с,  $\alpha=30^\circ$  можно сделать вывод, что с увеличением времени скорость по оси  $x$  и перемещение по оси  $x$  кривые незначительно увеличиваются и достигают соответственно до 2 – 4 м/с при  $t=0,025$  с а относительная скорость и перемещения по пазу ротора резко возрастает и при  $t=0,025$  с доходит соответственно до 10 – 12 м/с. Это можно объяснить следующим, что с увеличением времени измельчаемый материал зерно в связи с измельчением конечной размер паз и из-за трения относительная скорость и перемещение по пазу резко увеличивается.

#### Определение потребной мощности измельчения

Применив формулу С.В.Мельникова для определения работы измельчения

$$A_{изм} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (3.9)$$

где  $C_1=(10 - 13) 10^3$  Дж/кг и  $C_2=(6 - 9) 10^3$  Дж/кг - опытные коэффициенты [31]

$\lambda = 12,39$  - расчетная степень измельчения, для нашего случая нельзя, т.к. коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  даны для молотковых дробилок, а процесс разрушения зерна рассчитываемой машины существенно отличен. По этому необходимую мощность определим на основе экспериментальных данных испытаний подобных рабочих камер, которые приводятся в лаборатории кафедры МЖФ ТИИИМСХ. По данным лабораторий общие удельные затраты энергии составляют  $A_{уд}=(0,002 - 0,015)$  кВт час/кг. Для мелкого помола при  $\delta = 0,2 - 0,4$  мм  $A_{уд}=0,015$  кВт час/кг, соответственно для среднего помола при  $\delta = 1,5 - 1,8$  мм  $A_{уд}=0,005$  кВт час/кг. По этому в нашем случае необходимая мощность на привод ротора при среднем помоле

$$N_{изм} = Q_1 \cdot A_{уд} = 100 \cdot 0,005 = 0,50 \text{ кВт},$$

на привод при мелком помоле

$$N_{изм} = Q_3 \cdot A_{уд} = 50 \cdot 0,015 = 0,75 \text{ кВт}.$$

Выше приведенный краткий анализ процесса рабочий камеры машины позволяет утверждать перспективность предлагающей конструктивно-технологической схемы измельчителя зерновых кормов как в плане заданного количество технологического процесса, так и в плане создания машины с существенно меньшей удельной энергоемкостью по сравнению с производственными образцами.

## **4.2. Техничко-экономическое обоснование роторной дробилки зернового материала для фермерских хозяйств**

### **4.2.1. Определение цены единицы обоснование роторной дробилки зернового материала**

Расчет себестоимости и цены малогабаритной роторной дробилки зернового материала проводим по следующей схеме.

1. Расчет затрат по деталям по статьям калькуляции на изготовление машины;
2. Расчет затрат на упрочнение рабочих поверхностей измельчающих органов;
3. Расчет затрат на доводку, сборку и стендовые испытания роторной дробилки зернового материала.

1. Расчет затрат на изготовление комплекта деталей машины привели методом прямого счета по статьям калькуляции.

Расчет затрат на основные материалы проводим по каждой детали отдельно. Согласно спецификации затраты на основные материалы собственного изготовления будут

$$S_{\text{си}} = 7527 \text{ сум.}$$

Стандартные изделия – 1770 сум.

В сумме затраты с учетом транспортно –заготовительных расходов

$$S_o = 7527 \cdot 1,1 = 8280 \text{ сум.}$$

Затраты на вспомогательные материалы определяли укрупненно в размере 3 % от  $S_o$

$$S_{всп} = 248,8 \text{ сум.}$$

С учетом стоимости стандартных изделий материальные затраты на изготовление составили

$$S_{мз} = 9297 \text{ сум}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих рассчитали по относительной трудоемкости. Достоинством этого метода является то, что учитывается трудоемкость проектируемой установки и устройства – аналога, общий вес машины.

Таким образом, с учетом трудоемкости по видам работ заработная плата основных рабочих.

$$S_{озм} = 14404 \text{ сум.}$$

Дополнительная заработная плата основных рабочих принята в расчете 24 % от  $S_{озм}$

$$S_{дзн} = 3457 \text{ сум.}$$

Отчисления на социальное страхование составляют 37 % от суммы основной и дополнительной заработной платы.

$$S_{соц} = 6609 \text{ сум.}$$

Затраты на подготовку и основание производства, содержание и эксплуатацию оборудования, а также накладные расходы рассчитаны существующим, утвержденным Минсельхозмашем методикам, и в сумме составили

$$S_s = 14694 \text{ сум.}$$

Итого себестоимость установки составила

$$S_{cc} = 48461 \text{ сум.}$$

Прибыль определяли по формуле

$$\Pi = \frac{R(S_{cc} - S_{.MB})}{100} = 14491 \text{ сум.}$$

где  $R=37\%$  уровень рентабельности.

Цена одного комплекта деталей, прошедших полный цикл механической обработки и подготовленных для окончательной доработки составила

$$Ц = 63000 \text{ сум.}$$

Аналогично рассчитана цена монтажного устройства: бункер, смонтированный на сварной раме

$$Ц_{\text{м.у}} = 13740 \text{ сум.}$$

2. Затраты на материалы при нанесении покрытия на рабочие поверхности мелющих органов рассчитаны по формуле

$$S_{.м} = N \cdot S_{\text{BK8}}$$

где  $N$  – норма расхода порошка BK8 на 1 комплект мельницы;

$S_{\text{BK8}}$  – цена 1 кг. порошка;

$$S_{.м} = 805 \text{ сум.}$$

Основная и дополнительная заработная плата рабочих составила

$$S_{\text{озп}} = 9240 \text{ сум.}$$

$$S_{\text{дзн}} = 2218 \text{ сум.}$$

Отчисления на социальное страхование

$$S_{\text{соц}} = 4239 \text{ сум.}$$

С учетом накладных и других расходов себестоимость составила

$$S_{cc} = 26016 \text{ сум.}$$

Откуда прибыль и цена по выше приведенным формулам соответственно

$$П = 9328 \text{ сум.}$$

$$Ц = 36344 \text{ сум.}$$

Общая цена машины для роторной дробилки для обработки зернового материала без учета комплектующих составила

$$Ц_{o-k} = 112092 \text{ сум.}$$

Комплектация оборудования электродвигателем, включателем и электрокабелем обходится

$$Ц_k = 28616 \text{ сум.}$$

Полная цена для обработки зернового материала (к моменту начала эксплуатации в хозяйстве) с учетом транспортных и монтажных работ составила

$$Ц_{п} = (Ц_{o-k} + Ц_k) \cdot 1,15 = 161814,2 \text{ сум.}$$

#### **4.2.2. Расчет экономического эффекта от внедрения роторной дробилки зернового материала**

Годовой экономический эффект от эксплуатации роторной дробилки зернового материала определяется по формуле

$$\mathcal{E} = (Ц_z - Ц_x) \cdot Q_z \cdot K_{BM} + Ц_{nn} \cdot Q_z \cdot (1 - K_{BM})$$

где  $Ц_x$  – цена 1 кг муки полученного на разработанной горизонтально - роторной дробилки зернового материала;

$C_r$  – государственная цена 1 кг муки аналогичного сорта, производимой на комбинатах централизованно;

$Q_r$  – годовой объем продукции;

$K_{BM}$  – коэффициент выхода годной муки;

$C_{пп}$  – цена 1 кг дробленного зерна [22].

Значение  $C_x = 120$  сум было определено по рекомендациям Минзага Республики, с учетом качества и сортности муки, единовременных затрат на приобретение машины для ступенчатой обработки зернового материала и подготовку производства, амортизации основных фондов, электроэнергию и заработную плату обслуживающего персонала.

Качество муки, получаемой на разработанной роторной дробилки зернового материала соответствует 1-2 сорту государственной, на которую установлены оптовые цены баз налога с оборота  $C_r = 150$  сум за 1 кг [22].

Цена 1 кг дробленного зерна определена с помощью существующих преЙскурантов :  $C_{пп} = 100$  сум.

Значение коэффициента  $K_{BM}$  определено в процессе лабораторных испытаний:

$$K_{BM} = 0,877$$

Для расчета годового объема выпускаемой продукции  $Q_r$  пользовались формулой:

$$Q_r = G \cdot T_r \cdot K_{не}$$

где  $G$  – часовая производительность дробилки, кг/час;

$T_r$  – годовой фонд рабочего времени дробилки, час;

$K_{не}$  – коэффициент неравномерности работы дробилки, учитывающий непродолжительные закупоривания загрузочного патрубкa, прерывистую загрузку материала.

Для фермерских хозяйств имеющих 30 условных голов КРС а также фермер имеющий семью из 5 – 6 человек расходует в год: фуражного зерна

$$G_{з.з} = g_{сут} \cdot n_{гол} \cdot T_{дн} = 2 \cdot 30 \cdot 365 = 21900 \text{ кг}$$

муки для пищевых целей

$$G_{м.з} = g_{сут} \cdot n_{цел} \cdot T_{дн} = 0,5 \cdot 5 \cdot 365 = 912,5 \text{ кг}$$

Производительность дробилки при получении фуражного зерна

$$G_з = 100 \text{ кг/час}$$

Производительность дробилки при получении муки

$$G_м = 50 \text{ кг/час}$$

Годовой фонд работы дробилки. После вычета временных затрат на текущий и капитальный ремонт, вспомогательные работы по очистке дробилки и др. составил

$$T_1=420 \text{ час}, T_2=20 \text{ час.}$$

$$T_{общ.}=430 \text{ час.}$$

Откуда годовой объем продукции

$$Q_г=22812,5 \text{ кг}$$

Тогда годовой экономический эффект составит

$$\mathcal{E}=293377,87 \text{ сум}$$

Результаты экономической оценки эксплуатации роторной дробилки зернового материала сведены в табл. 3.2.

Таблица 4.1

Технико - экономические показатели вертикально - роторной дробилки  
обработки зернового материала

№	Наименование показателей	Единица измерения	количество
1.	Производительность машины;	кг	100
	- при помоле на фураж		
	- при помоле на муку		50
2.	Энергоемкость на производство 1 т продукции:	кВт/час	6
	- измельчение зерна при модуле помола 0,2...2 мм		
	- муки		
3.	Годовой объем производства готовой продукции с учетом фермерского хозяйства имеющий 30 усл. голов КРС и 5 членов семьи:	т	21,9
	- измельченного зерна		
	- муки		
4.	Цена одной тонны продукции производимой на машине:	сум	100000
	- измельченного зерна		
5.	- муки		120000
6.	Цена машины		161814,2
	Годовой экономический эффект от эксплуатации одной машины.	сум	293377,87

## Выводы и рекомендации

1. Обзор и анализ существующих конструкций измельчающего оборудования для зерновых материалов показывает, что машины используемых на предприятиях мукомольной и комбикормовой промышленности не целесообразно и не возможно применять как средство малой механизации для фермерским и дехканским хозяйствам.

2. В практике измельчения зерновых материалов на фермерских хозяйствах отмечается тенденция использования машин используемых на больших предприятиях, а также различные конструкции измельчителей изготовляемых на местах и в различной степени удовлетворяющих зоотехнические требования.

3. Отмеченные выше недостатки машин с учетом экономики обуславливают необходимость разработки конструкции измельчителя зерновых материалов с небольшим габаритом и малой потребной мощностью с возможностью работы в одно и трехфазном электродвигателях, которые обеспечили бы наряду с надежностью работы получить измельчение зерновых материалов с различной модуль помола, а также получить муки для пищевых целей фермеров.

4. Намеченная программа работы предусматривает разработки конструкции машины по роторной дробилки для обработки зерновых материалов для фермерских хозяйств, а также проведение лабораторных исследований с целью выявления работоспособности машины.

5. Разработанная конструкция роторной дробилки зерновых материалов позволяет в широких пределах варьировать режимами, характеристиками рабочих элементов обеих ступеней измельчения, энергетикой процесса и качеством помола.

6. Дальнейшая работа по исследованию динамики системы требует постановки экспериментальных исследований измельчителей, реализующих различные способы разрушения зерновых материалов.

7. Необходимая мощность на привод с учетом уменьшения средних частиц относительно исходного материала составит 0,66 – 0,8 кВт.

8. При постановке машины на серийное производство рекомендуем выбор режимов 1500...3000 синхронных оборотов в минуту при обязательном регулировании подачи зерна из бункера в рабочую камеру.

9. Серийный образец машины должен иметь рабочую камеру установленную на фланце однофазного электродвигателя, а ротор должен устанавливаться непосредственно на валу электродвигателя.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. «Указ Президента Республики Узбекистан О важнейших направлениях углубления реформ в сельском хозяйстве». Газета «Народное слово», № 67 25 марта, 2003 г.
2. Агафанов Ю.В., Князев В.В. Дисмембратор. А.С. СССР № 1395359. Публ. 88.05.15., № 18. МКИ<sup>4</sup> В02С 13/22. УДК 621.926.4. (1) 21.
3. Айзикович Л.Е., Хорцев Б.Н. Технология производства муки. М.: Колос, 1968, 212 с. (5) 7.
4. Алижанов Д.А., Сахаров В.В. Исследования движения зерна в рабочей камере измельчителя. (Вопросы математического моделирования в агроинженерии) Сб. науч. тр. Т.: ТИИМСХ, 1998 г. стр. 129-132.(42)
5. Алижанов С.Д., Гуламов., Маттиев А.А. «Чорвачилик фермаларини озука билан таъминлашда иккинчи даражали ресурслардан фойдаланишга оид». материалы третьей научно-практической конференции «Современные проблемы сельского и водного хозяйства»; Тошкент, ТИИМ, 2004 г.
6. Алижанов Д.А., Тажибаев А.Б., Шокирхужаев Ф.М., Гуламов М.М. «Фермер хужаликлари учун дон майдалагичлар». «Кишлок ва сув хужалигининг замонавий муаммолари» магистрларнинг иккинчи илмий – амалий конференцияси, Тошкент, ТИХМИИ, 2002й. 62-63 бет.
7. Анциферов В.И., Бобров Г.В., Дружинин Л.К. и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. М.: Металлургия, 1987 г., 792 с. (7) 32.
8. Аренков А.Б. Основы электрофизических методов обработки материалов. Л.: Машиностроение, 1967 г., 148 с. (8) 6.
9. Арро А.И., Варанцева Г.Н., Сапожников Ю.А. Измельчение порошков быстрорежущей стали. «Порошковая металлургия», 1985 г., № 10, с. 71–74. (9) 9.
10. Ашкинази Л.И., Мошковский Е.И., Карюк Г.И. и др. Молотковая мельница. А.С. СССР № 456633. Публ. в Б.И., 1975 г., № 2. (12) 12.

11. Бабыкин В.И., Кузнецов Р.Д. Устройство для измельчения материалов. А.С. СССР № 1386300. Публ. 88.04.07., № 13. МКИ<sup>4</sup> В02С 18/44. УДК 621.926.7.
12. Барабашкин В.Н. Молотковые и роторные дробилки. М.: Наука, 1973 г., 143 с.
13. Беренов Л.И. Дробилки, мельницы, питатели. М.: Машгиз, 1948 г., 297с.
14. Беренов Л.И., Лобанов А.В. Гиращионная дробилка. А.С. СССР № 93125. Публ. 1951 г., № 12. Класс 50 С, 2/01.
15. Бутковский В.А. Мукомольное производство. М.: Колос, 1976 г., 224 с.
16. Бутковский В.А. «Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства». М.: Колос, 1981 г., 256 с. (.
17. Варсанафьев В.Д. Вибрационная мельница. А.С. СССР № 1165464. Публ. в Б.И., № 25, 1985 г. МКИ<sup>4</sup> В02С 19/16. УДК 621.926.9.
18. Вертикальная вибрационная мельница. Днепропетровский горный институт. Днепропетровск. Обяпографиздат, 1989 г., 2 с.
19. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах под ред. В.Н.Челомой. Т.4., М.: «Машиностроение», 1981.
20. Галкина Л.С. «Техника и технология производства муки на комплектном оборудовании». М.: Колос, 1987 г., 191 с.(32) 2.
21. Глозман А.Я. Молотковая дробилка. А.С. СССР № 1242233. Публ. 86.06.12., № 25. МКИ<sup>4</sup> В02С 13/04. УДК 621.926.4. (33) 11.
22. ГОСТ 18221 – 99 (43)
23. Дезинтегратор. А.С. СССР № 1042744 (40) 8.
24. Денисов Г.А. и др. Конусная инерционная дробилка. А.С. СССР № 1165459. Публ. в Б.И., № 25, 1985 г. МКИ<sup>4</sup> В02С 2/02. (41) 30.
25. Дисксовая мельница для обработки волокнистого материала. ЕПВ. Заявка № 0256972. Публ. 88.02.04., № 5. МКИ<sup>4</sup> В02С 7/12, 1/30. УДК 621.926.32. (43). 19.
26. Дисксовая мельница. ЕПВ. Заявка № 0256147. Публ. 88.02.29., № 8. МКИ<sup>4</sup> В02С 7/00. УДК 621.926.2. (42) 15.
27. Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1990. 336 с. 41

28. Инерционная конусная дробилка. Патент № 4655405. Публ. 87.04.07., т. 1077, № 1. МКИ<sup>4</sup> В02С 2/04, НКИ 241-215. УДК 621.926.3.(52) 37.
29. Кипарисов С.С. и др. Способ получения порошка из металлической стружки. А.С. СССР В02С 7/12, В22F 9/04. (53) 14.
30. Лесин А.Д. Основные направления в развитии вибрационных измельчителей и некоторые вопросы из расчета. Вкн: Вибрационная техника. Материалы научно-техн. конф. М.: 1966, С.453-460.
31. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос. Ленинград. Отделение. 1978, 560 с. 40 хх.
32. Муйземнюк Ю.А. и др. Конусные дробилки. М.: Машиностроение, 1970 г., 231 с. (64) 31.
33. Палынков А.П. и др. Устройство для измельчения металлической стружки. А.С. СССР № 1250324. Публ. 84.10.09. МКИ<sup>4</sup> В02С 18/06. УДК 666.3.022.29.
34. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах физико-химической механики. М.: Наука, 1979 г., 341 с. (77) 39.
35. Ревницев В.И., Гиршов В.Л., Финкельштейн Г.А., Иванов Н.А., Зарогатский А.П., Лаубган В.Р. Измельчение металлических порошков и стружки. «Порошковая металлургия», № 7, 1984 г., с. 31-35.(80) 33.
36. Современные средства размола зерна. Справочник. Зотьев А.И., Аранов А.Г., Петрухин А.П., Цыплаков А.С. М.: Колос, 1982 г., 126 с. (85) 5.
37. Устройство для измельчения зерен. Патент США № 4667888. Публ. 87. 05. 27. т. 1078, № 4, МКИ<sup>4</sup> В02С 7/12. НКИ 241-76. УДК. 621.926.7. (89) 20.
38. Устройство для непрерывного диспергирования и тонкого измельчения твердых материалов. ЕПВ. Заявка № 5343190. Публ. 87.06.11., № 24. МКИ<sup>4</sup> В02С 23/02, 23/36, 23/38, 17/16, 19/18, В01И 3\12, 3/10, 7/08. УДК 621.926.3. (92) 22.
39. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. Госстройиздат. М., 1962 г., 198 с. (102) 10.
40. Цециновский В.М., Птушкина Г.Е. «Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий». М.: Колос, 1976 г., 326 с. (104) 4.

- 41.Цылбалюк Л.М., Шахидзе В.И. Дисконвая мельница. А.С. СССР № 1366204. Публ. 88.02.15., № 2. МКИ<sup>4</sup> В02С 7/18. УДК 621.926.8. (105) 18.
- 42.Юрков С.Г и др. Устройство для измельчения пищевых продуктов. А.С. СССР № 1386298. Публ. 88.04.07., № 13. МКИ<sup>4</sup> В02С 18/30. УДК 621.926.7. (109) 23.
- 43.Юров Н.С. Устройство для измельчения материалов. А.С. СССР № 1346244. Публ. 87.10.23., № 39 ИСМ. МКИ<sup>4</sup> В02С 23/08. УДК 621.926.9. (110) 24.
- 44.<http://www.transhim.ru/ruboard/other/>
- 45.<http://www.sibinfo.net/>
- 46.<http://www.equipenet.ru/>
- 47.<http://www.delo.net.ua/br/>
- 48.<http://sale.userline.ru/rubrl/>
- 49.<http://www.agro.ru/msgs/>
- 50.<http://www.rtu.ru/companies/>
- 51.<http://www.remz.chel.ru/dtomilki.htm/>
- 52.<http://talks.mark-itt.ru>
- 53.<http://www.centrosojuz.ru/resurs/>
- 54.<http://opta.ru/>