

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

*На правах рукописи*

**Рыбалкин Дмитрий Алексеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЛУЗГИ  
КРУПЯНЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ  
МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Елисеев Михаил Семенович

Саратов – 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>6</b>
<b>ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>11</b>
1.1 О необходимости измельчения лузги .....	11
1.2 Анализ способов и технических средств, применяемых для измельчения в сельском хозяйстве .....	14
1.3 Классификация и обзор конструкций молотковых дробилок .....	19
1.3.1 Анализ основных рабочих органов молотковых дробилок .....	28
1.3.2 Классификация и анализ питающих устройств сыпучих материалов .....	31
1.4 Классификация факторов, оказывающих влияние на эффективность рабочего процесса молотковой дробилки .....	36
1.4.1 Влияние конструктивных факторов на рабочий процесс молотковой дробилки .....	37
1.4.2 Влияние динамических факторов на рабочий процесс молотковой дробилки .....	41
1.4.3 Влияние технологических факторов и физико-механических свойств лузги на рабочий процесс молотковой дробилки .....	43
1.5 Анализ теоретических исследований процесса измельчения материалов ...	45
1.6 Выводы. Цель и задачи исследований .....	50
<b>ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЛУЗГИ В МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ .....</b>	<b>52</b>
2.1 Обоснование перспективной конструктивно-технологической схемы молотковой дробилки .....	52
2.2 Теоретические исследования рабочего процесса питающего устройства ..	56
2.2.1 Анализ неравномерности подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки .....	56

2.2.2	Определение величины подачи измельчаемого материала питающим устройством к рабочим органам молотковой дробилки .....	58
2.2.3	Обоснование выбора конструкции питающего устройства и анализ влияния его параметров на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки .....	61
2.2.4	Определение траектории движения массы измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки .....	68
2.2.5	Определение мощности, затрачиваемой на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки .....	72
2.3	Теоретические исследования процесса измельчения лузги предлагаемыми молотками .....	73
2.3.1	Теоретическое обоснование процесса измельчения лузги в зоне загрузки	73
2.3.2	Определение режимных параметров работы предлагаемой конструкции молотка .....	76
2.4	Определение производительности молотковой дробилки .....	82
2.5	Расчет мощности, потребной для процесса измельчения лузги в молотковой дробилке .....	84
2.6	Выводы .....	85
	<b>ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>87</b>
3.1	Программа экспериментальных исследований .....	87
3.2	Методика оценки точности измерений .....	87
3.3	Описание и принцип работы лабораторной установки .....	89
3.4	Измельчаемый материал и приборы, используемые при проведении экспериментальных исследований .....	93
3.5	Методика проведения экспериментальных исследований .....	94
3.5.1	Определения равномерности и зависимости величины подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки от частоты вращения вала питающего устройства .....	94

3.5.2	Определения производительности молотковой дробилки .....	95
3.5.3	Определение окружной скорости молотков .....	96
3.5.4	Определения качественных показателей готового продукта .....	96
3.5.5	Определения энергоемкости процесса измельчения .....	97
3.6	Методика планирования эксперимента .....	98
3.7	Программа и методика производственных испытаний .....	100
3.8	Выводы .....	101
<b>ГЛАВА 4</b>	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ</b>	
	<b>ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МОЛОТКОВОЙ</b>	
	<b>ДРОБИЛКИ</b> .....	<b>102</b>
4.1	Результаты исследования рабочего процесса питающего устройства .....	102
4.1.1	Влияние частоты вращения питающего устройства на равномерность подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки ...	102
4.1.2	Влияние способа расположения питающего устройства на эффективность подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки .....	103
4.1.3	Исследование влияния величины подачи и энергоемкости процесса от конструктивных и режимных параметров питающего устройства .....	104
4.2	Результаты обоснования конструктивно-режимных параметров работы молоткового ротора .....	107
4.2.1	Исследование влияния формы молотков на производительность и энергоемкость процесса измельчения .....	107
4.2.2	Исследование влияния окружной скорости молотков на модуль помола готового продукта .....	109
4.2.3	Исследование влияния величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков на производительность и энергоемкость процесса измельчения .....	109
4.3	Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований .....	112

4.4 Выводы .....	114
<b>ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ВНЕДРЕНИЯ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ .....</b>	<b>115</b>
5.1 Результаты производственных испытаний молотковой дробилки .....	115
5.2 Экономическая эффективность использования предлагаемой конструкции молотковой дробилки .....	116
5.3 Выводы .....	120
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>121</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>123</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>136</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время одной из важных в России проблем является утилизация отходов сельскохозяйственного производства, в частности отходов, получаемых после шелушения крупяных и масличных культур (лузга подсолнечника, гречихи, проса и др.).

Значительное накопление лузги на свалках и отвалах ведет к ухудшению экологической обстановки окружающей среды. Большие материальные затраты требуются для погрузки, транспортировки и утилизации лузги в виду ее низкой насыпной плотности [86, 89].

На территории Российской Федерации по данным Росстата в среднем за 2015-2017 гг. валовый сбор проса составляет 0,7 млн. т., гречихи – 1,2 млн. т., подсолнечника – 10,8 млн. т. [72]. После переработки данных культур существенную долю составляет лузга: для проса – 12-25% (до 180 тыс. т/год), гречихи – 18-28% (до 400 тыс. т/год), подсолнечника – 35-78 % (до 7 млн. т/год) [81].

Утилизация лузги в целях ее использования в различных видах производства позволит решить глобальную экологическую проблему. Так, например, лузга может служить в качестве альтернативного источника энергии, добавок к кормовым смесям для крупного рогатого скота и птицы, связующего компонента в дорожно-строительном производстве, различных удобрений и почвозащитных средств, сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [89].

Одной из основных операций, влияющих на качество готового продукта и на энергозатраты, необходимые на его производство является операция измельчения. Поиск оптимизации операции измельчения, как показали исследования различных ученых, возможен за счет применения наиболее эффективного измельчающего устройства. [93].

Наиболее распространенными измельчающими машинами в сельскохозяйственном производстве являются молотковые дробилки. Однако их

конструкция и организация рабочего процесса обладают рядом недостатков, что ведет к снижению производительности и значительным затратам энергии при измельчении лузги крупяных и масличных культур.

В связи с этим, повышение производительности и снижение энергоемкости процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур молотковыми дробилками, за счет совершенствования их конструктивно-режимных и технологических параметров, является актуальной задачей.

Работы выполнены в соответствии со «Стратегией развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» (распоряжение Правительства РФ от 25 января 2018 г. № 84-р).

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросом процесса измельчения занимались как отечественные, так и зарубежные ученые: Мельников С.В., Роцин П.М., Алешкин В.Р., Сыроватка В.И., Кирпичников Ф.С., Плохов Ф.Г., Ревенко И.И., Опрышко В.М., Рабинович Б.Д., Гудков А.Н., Елисеев В.А., Bond F.C., Silver E.A., P., W. Kruger, A. Hendrix и др.

Как показывает анализ существующих конструкций молотковых дробилок, а также литературный обзор теоретических исследований было выявлено основные проблемы, присущие большинству конструкций молотковых дробилок, а именно: неравномерность подачи измельчаемого материала с низкой насыпной плотностью к рабочим органам, а также достаточно высокая энергоемкость процесса их измельчения требует дальнейших исследований.

**Цель исследования:** повышение производительности и снижение энергоемкости процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур за счет модернизации молотковой дробилки.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ существующих сельскохозяйственных измельчающих машин и разработать конструктивно-технологическую схему молотковой дробилки для измельчения лузги крупяных и масличных культур;

2. Теоретически исследовать влияние конструктивно-режимных и технологических параметров рабочего процесса молотковой дробилки на производительность и энергоемкость процесса измельчения;

3. Экспериментально исследовать влияние конструктивно-режимных параметров модернизированной молотковой дробилки на качественные и энергетические показатели готового продукта;

4. Провести производственные испытания молотковой дробилки и дать оценку технико-экономической эффективности от внедрения ее в производство.

**Объектом исследования** является технологический процесс подачи и измельчения лузги крупяных и масличных культур в молотковой дробилке с получением готового продукта требуемой крупности.

**Предметом исследования** являются закономерности влияния конструктивно-режимных и технологических параметров молотковой дробилки на производительность и энергоемкость процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур.

**Научная новизна:**

- разработана и обоснована конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки, позволяющей измельчать лузгу крупяных и масличных культур с минимальной энергоемкостью;

- получены аналитические зависимости, позволяющие определить характер и степень влияния конструктивно-режимных и технологических параметров работы молотковой дробилки на показатели процесса измельчения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании аналитических зависимостей, описывающих процесс подачи и измельчения лузги крупяных и масличных культур в молотковой дробилке.

Разработана и обоснована перспективная конструкция молотковой дробилки, позволяющая измельчать лузгу крупяных и масличных культур с минимальными энергозатратами. Новизна подтверждена патентами на изобретение № 2615001 и полезные модели №№ 166614, 167330.



Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная конструкция подтверждается исследованиями на сельскохозяйственных предприятиях как ООО «Марс-07» (г. Саратов), ЗАО «Алтайская крупа» (Алтайский край, Советский р-н, с. Советское), КФХ «Демкин А.П.» (Саратовская обл., Екатериновский р-н, с. Упоровка) в качестве средства для измельчения лuzги крупяных и масличных культур, где получен положительный эффект.

#### **Методология и методы исследования.**

В работе применялись теоретические и экспериментальные исследования.

Теоретические исследования проводились на основе общепринятых законов классической механики, математики и математической статистики.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками проведения экспериментов, действующих стандартов и нормативных документов.

Расчет и обработка полученных результатов выполнялись методами математической статистики с использованием персонального компьютера с пакетом прикладных программ STATISTICA 12.7 и Microsoft Excel 2010.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

- конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки, позволяющей измельчать лuzгу крупяных и масличных культур с минимальной энергоемкостью;
- аналитические зависимости эффективности использования питающего устройства барабанного типа с желобами, противоположные стороны которых повернуты относительно друг друга и молотков, рабочая поверхность которых имеет выступы, радиусы от вершин которых до точки подвеса равны;
- результаты экспериментальных исследований влияния конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки на процесс измельчения лuzги крупяных и масличных культур.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Материалы и результаты исследования по теме диссертационной работы докладывались на: международных и всероссийских конференциях, УМНИК (Саратов, 2015 г.); «Конкурс научно-инновационных работ среди студентов, аспирантов и молодых

ученых» (Саратов, 2016 г.); конференция аспирантов «Иностранный язык как средство научной коммуникации» (Саратов 2016 г.); конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы за 2015 – 2017 гг. ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ; Всероссийская конференция «Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России» (Саратов, 2016, 2017 гг.).

На конкурсах и выставках: Всероссийский конкурс на лучшую научно-инновационную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых «Грант ректора СГАУ» (Саратов, 2016, 2017 гг.), Всероссийская агропромышленная выставка «Золотая осень» (Москва, 2017 г.).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 14 печатных работ из которых 9 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, один патент РФ на изобретение № 2615001 и два патента на полезную модель №№ 166614, 167330. Общий объем публикаций составляет 2,4 печ. л., из которых 1,3 печ. л. принадлежит лично соискателю.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 3 таблицы и 7 приложений. Список литературы включает 126 наименований, из которых 10 на иностранном языке.

## ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1 О необходимости измельчения лузги

Лузга нашла свое широкое применение в качестве компонентов при производстве твердого биотоплива, добавок к кормовым смесям для крупного рогатого скота и птицы, связующих компонентов для строительных и дорожных материалов, удобрений и почвозащитных средств, сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [89].

На сегодняшний день топливные пеллеты являются одним из наиболее экологических видов топлива. Они достаточно давно и широко используются в европейских государствах, а в России пока только начинается использование данного альтернативного вида топлива. Внешне топливные пеллеты отличаются друг от друга составом композита, плотностью, прочностью, цветом окраски и теплотой сгорания.

Наиболее распространенные виды сырья для производства твердого биотоплива являются: древесина (отходы лесозаготовки, лесопиления и деревообработки); отходы сельскохозяйственного производства (лузга подсолнечника, гречихи, проса и т.д.); торф и др. [20, 88, 98].

При подготовке лузги крупяных и масличных культур для производства твердого биотоплива одной из энергоемких технологических операций является ее измельчение до требуемой крупности. Так, например, лузгу проса необходимо измельчать до крупности 0,25 ... 0,15 мм, гречихи – 0,6 ... 0,3 мм, подсолнечника – 1,1 ... 0,7 мм. Доля пылевидной фракции не должна превышать 10% от общей массы, а доля недоизмельченных частиц – 5% [20, 74 - 76, 98].

Производство топливных пеллет из лузги крупяных и масличных культур позволяет не только избежать дополнительных затрат на транспортировку до места утилизации, но и получить дополнительную прибыль от реализации данного вида топлива.

Значительные перспективы и дополнительные возможности открываются при использовании лузги для кормовых целей.

Многие ученые [39, 40, 69, 85, 111] исследовали влияние измельченной и неизмельченной кормовой массы на перевариваемость, усвояемость и поедаемость корма животными и птицей.

Как известно, что наибольшая усваиваемость питательных веществ животными происходит в измельченном состоянии, так как измельченные корма способствуют улучшению процесса пищеварения, а также усвояемости питательных веществ [6, 69, 85,]. Поэтому лузгу используют в качестве кормовых добавок в измельченном виде.

Так, например, измельчать лузгу подсолнечника и гречихи для добавки в кормовую смесь для крупного рогатого скота необходимо до крупности 1,5 ... 5,5 мм, лузгу проса можно использовать в неизмельченном виде [39, 40, 85]. Для птицы необходимо лузгу подсолнечника, гречихи и проса измельчать до крупности 1,15 ... 2,5 мм [69]. Доля пылевидной фракции не должна превышать 5 ... 10 % от общей массы готового продукта.

Полученный корм, как было доказано учеными [39, 40] при использовании в рационе откормочных телят способствует повышению иммунного статуса животных, а в рационе дойных коров – значительному обогащению молока жирорастворимыми витаминами (А, Е, D) и водорастворимыми витаминами (С, В1, В2, В3, В6, В12, РР).

В результате исследований было выявлено, что лузга подсолнечника, гречихи, проса является хорошим сырьем для получения сорбентов [19, 109, 115].

Исследования авторов [9, 19, 109] показали, что закономерно измельчение сорбента и как следствие увеличение поверхности сорбции приводит к росту поглотительной способности. Нефтеемкость сорбционных материалов в измельченном состоянии выше. Лузгу подсолнечника и гречихи для производства сорбционных материалов необходимо измельчать до крупности 3 ... 6 мм [109, 77]. Доля пылевидной фракции не должна превышать 1 ... 2 % от общей массы готового продукта.

Сорбенты, полученные на основе лузги, могут быть использованы в качестве сорбционного материала при производстве фильтров для очистки воды и воздуха.

Так же лузга подсолнечника, гречихи и проса является хорошим средством, которое используется как удобрение, в качестве разрыхлителя почвы и для мульчирования [38, 54, 77, 115].

При получении такого вида подкормки земля получает обогащение полезными микроэлементами, а также при этом очищается от вредного азота.

Зола, полученная в процессе сжигания лузги, также является ценным удобрением, содержащим макро- (К, Са, Mg) и микроэлементы (Cu, В, Zn, Мо, Со, Fe и др.) необходимые для растений. Для почвы с повышенной кислотностью, такое действие золы – незаменимо [57].

Так же измельченную лузгу можно использовать в виде субстрата для гидропоники.

Согласно исследованиям, проведенным турецкими учеными [112], использование измельченной лузги уменьшает плотность бетона, а также способствует повышению сопротивления материала во время резких перепадов температур, от минусовой до плюсовой и обратно. Так, например, лузгу подсолнечника и гречихи необходимо измельчать до крупности 5 ... 8 мм, лузгу проса можно использовать в неизмельченном виде [78].

При увеличении количества лузги бетон подходит для использования в качестве арболитовых блоков, а также одновременно снижается и его вес. При использовании лузги в измельченном виде увеличиваются прочностные характеристики арболитовых блоков [112, 78].

При использовании лузги в представленных выше видах производства самой распространенной и важной технологической операцией является измельчение, оказывающее большое влияние на качество продукта. Для наиболее эффективного процесса выполнения данной технологической операцией необходимо изучение измельчающих устройств.

## 1.2 Анализ способов и технических средств, применяемых для измельчения в сельском хозяйстве

Как было отмечено ранее, перед применением лужги в различных видах производства, ее необходимо подготовить для наиболее эффективного взаимодействия с другими компонентами. Для ее подготовки широкое распространение на сельскохозяйственных предприятиях получил способ измельчения материала механическим воздействием со стороны рабочих органов.

Под измельчением понимается постоянное уменьшение исходных размеров частиц путем физического воздействия на них внешних сил, превосходящих по величине силы молекулярного сцепления этих частиц.

В зависимости от вида деформации, вызываемой в частице измельчаемого материала и способа воздействия на нее рабочими органами измельчающих машин известны следующие основные способы измельчения материалов: ударом, истиранием, скалыванием, резанием и сдавливанием (рисунок 1.1) [2, 6, 49, 62, 99]. Способ измельчения выбирается, руководствуясь в основном физико-механическими свойствами материала [2, 6].

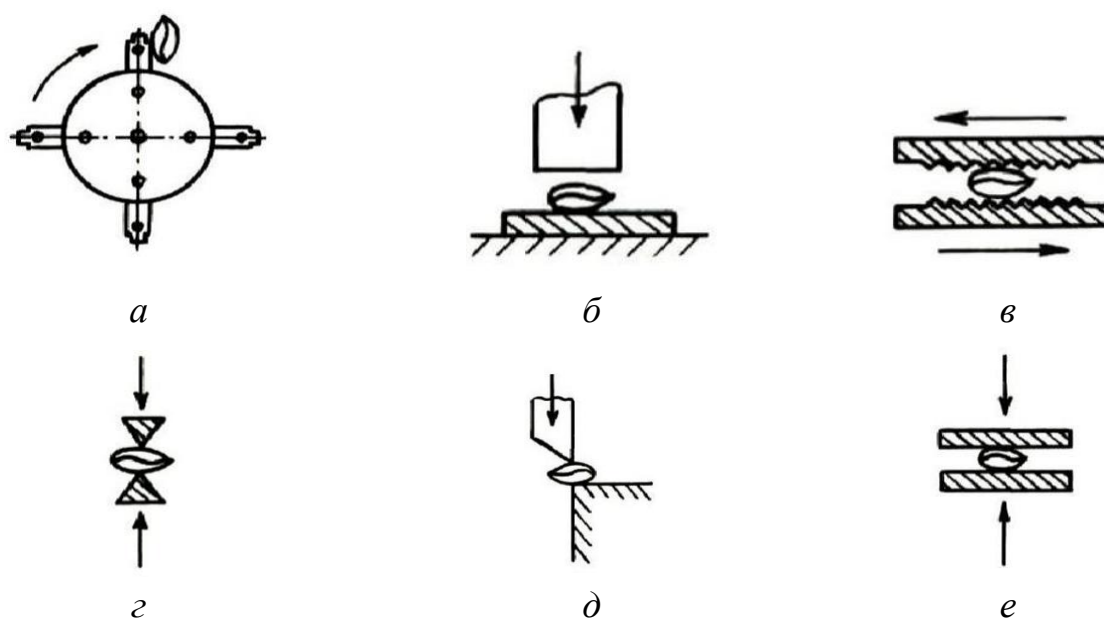


Рисунок 1.1 – Способы измельчения материалов:

*a* – свободным ударом; *б* – стесненным ударом; *в* – истиранием; *г* – скалыванием;  
*д* – резанием; *е* – сдавливанием

Наибольшее распространение среди способов процесса измельчения получил удар [6]. Различают измельчение посредством свободного (рисунок 1.1, *а*) и стесненного (рисунок 1.1, *б*) ударов. Во время свободного удара измельчение частицы материала происходит в результате столкновения ее с рабочими органами молотковой дробилки или другими телами в полете [6, 111]. Эффективность данного процесса измельчения определяется скоростью столкновения частиц материала независимо от того, движется разрушаемое тело либо рабочий орган дробилки [111]. При стесненном ударе частица материала разрушается, попадая между двумя рабочими органами дробилки. Эффективность данного процесса измельчения зависит от кинетической энергии ударяющего тела [6, 111].

При истирании (рисунок 1.1, *в*) материал разрушается под действием сил сжатия и тангенциальных сил, в результате чего получается порошкообразный продукт. При истирании увеличивается энергоемкость процесса и износ рабочих органов дробилки. В результате чего продукты износа рабочих органов дробилки могут попадать в измельчаемую массу, что не желательно с точки зрения ведения процесса [2, 49, 62, 106].

При скалывании (рисунок 1.1, *г*) материал разрушается на части в местах наибольших концентраций напряжений, вызываемых клинообразным раскалывающим органом дробилки. Частицы более однородны по размерам и форме. Этот способ позволяет регулировать размеры получаемых частиц.

При резании (рисунок 1.1, *д*) материал разрушается на заранее заданные по размеру и форме части. Процесс полностью управляем.

Разрушение материала при сдавливании (рисунок 1.1, *е*) происходит, когда внутренние напряжения в нем превышают предел прочности при сжатии [80].

На основании описанных способов измельчения материалов, можно классифицировать измельчающие машины, а также сделать вывод о применении наиболее эффективной машины, позволяющей измельчать лузгу крупяных и масличных культур до требуемого гранулометрического состава.

Клушанцев Б.В. и Косарев А.И. [41] для процесса измельчения на сельскохозяйственных предприятиях применяют различные измельчающие

машины, различающиеся по конструкции и типу рабочих органов: крестовые, штифтовые, барабанные, тарельчатые, роторные и молотковые (рисунок 1.2).

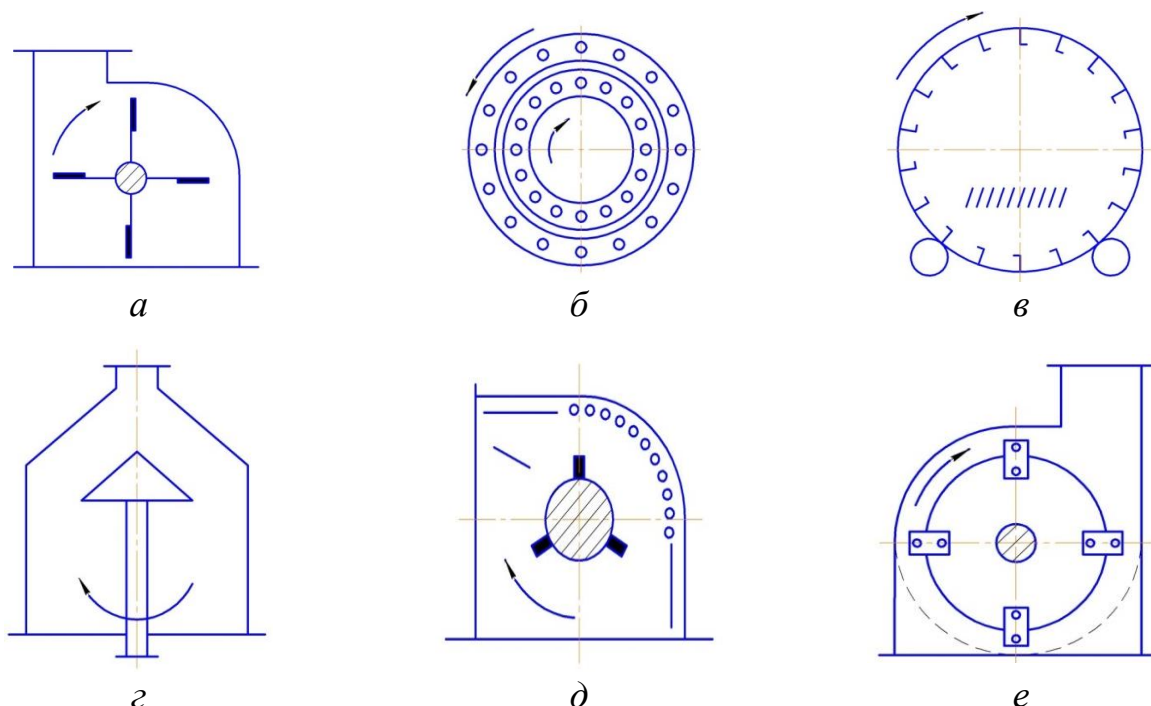


Рисунок 1.2 – Схемы измельчающих машин:

*a* – крестовые; *б* – штифтовые; *в* – барабанные; *г* – тарельчатые; *д* – роторные;  
*е* – молотковые

Крестовые дробилки (рисунок 1.2, *a*) в своей конструкции имеют била, жестко закрепленные на роторе, окружная скорость бил может достигать до 100 м/с. Данные дробилки нашли широкое применение для измельчения мягких материалов [13 – 15, 106].

В штифтовых дробилках (рисунок 1.2, *б*) одним из основных рабочих органов являются два цилиндра, образующие которых представляют штифты, жестко закрепленные в основании. Процесс измельчения в данных дробилок происходит за счет вращения двух цилиндров со штифтами, вращающихся навстречу друг другу. Скорость движения штифтов может достигать до 150 м/с и выше [106].

Готовый продукт при измельчении штифтовыми дробилками имеет крупность до 5 мм. Данные дробилки нашли широкое применение для измельчения материалов пониженной прочности [6, 13, 14, 45, 106].



Барабанные дробилки (рисунок 1.2, в) включают в себя пустотелый барабан, имеющий торцевые крышки с полыми цапфами, установленными в подшипниках. Дробильная камера заполнена измельчающими телами на 25 – 40% и измельчаемым материалом. В дробильной камере посредством центробежной силы инерции измельчающий материал перемещается к стенкам барабана дробилки, где соприкасается в зоне с измельчающими телами. Данные дробилки нашли свое применение в основном для измельчения мало прочных продуктов [106]. Невозможность применения барабанных дробилок для измельчения лужги крупяных и масличных культур связано с тем, что данные дробилки являются периодического действия и имеют большие габаритные размеры [41, 45, 49, 106].

В тарельчатых дробилках (рисунок 1.2, з), измельчение осуществляется за счет удара массы материала, разгоняемой посредством вращения диска (тарелки) о деку. Данные наиболее применимы при измельчении таких материалов, как глина, известняк и др. [6, 7, 35, 41, 53, 106]. Из исследований Елисеева В.А. [29, 31] тарельчатые дробилки мало применимы в сельском хозяйстве из-за их недостаточной эффективности процесса измельчения [70].

В роторной дробилке (рисунок 1.2 д) разрушение происходит посредством ударного воздействия бил по материалу, а также соударений частиц измельчаемой массы между собой. Для наиболее эффективного разрушения измельчаемого материала окружная скорость ротора может достигать до 80 м/с [106]. Данные дробилки в основном применяют при производстве строительных материалов.

В молотковых дробилках (рисунок 1.2, е) процесс измельчения происходит за счет воздействия на измельчаемый материал шарнирно-подвешенными на роторе молотками. Молотковые дробилки отличаются довольно высокой степенью измельчения [106]. Достоинствами молотковых дробилок является быстрое извлечение измельченного материала из дробильной камеры, возможность регулировать степень измельчения, легкая замена изнашиваемых рабочих органов, механизированная загрузка измельчаемого материала [12, 15 - 17].

Кроме представленных видов измельчающих машин в сельском хозяйстве также используются жерновые мельницы и вальцовые станки [6, 107, 108].

Жерновые мельницы, в основном работают по принципу истирания. Данные мельницы нашли применение в основном для измельчения зерновых материалов в муку или дерть. Рабочими органами жерновых мельниц являются два плоских диска (жернова), которые изготовлены из материалов горных пород. Рабочая поверхность жерновов представляет собой бороздки, отходящие от центра диска к его периферии. Данная конструкция жернов способствует наиболее быстрому выходу готового продукта, а также через бороздки осуществляется охлаждение рабочих поверхностей жернов. Также бороздки участвуют частично в измельчении материала путем его скалывания об их острые кромки [6].

При измельчении лузги на жерновых мельницах снижается производительность и достаточно высокая энергоемкость процесса измельчения.

Вальцовыми станками называется группа измельчающих машин, в которых соприкасаются друг с другом подвижные и неподвижные поверхности рабочих органов, образуя жесткий контакт через измельчаемый материал. Вальцовые станки получили наибольшее распространение в мукомольном, а также комбикормовом производствах [6].

Вальцовые станки мало применимы для измельчения лузги, так как они только сдавливают ее, а не измельчают.

Машины для измельчения лузги крупяных и масличных культур должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- возможность регулировать степень измельчения для всех видов лузги. Например, для использования лузги в качестве кормовой добавки средний размер частиц (модуль помола) для крупнорогатого скота должен быть до 3 мм, свиней и птиц – до 1 мм;
- обеспечение быстрого переналаживания с одного вида лузги на другой без применения сложного инструмента;
- высокая износостойкость и ремонтпригодность рабочих органов;
- сравнительно малая энергоемкость при измельчении лузги;
- возможность регулирования подачи измельчаемого материала к рабочим органам дробилки;

- в конструктивном отношении машина должна быть проста в устройстве, иметь высокую надежность в работе, удобна для обслуживания и ремонта.

Проведенный анализ представленных измельчающих машин показывает, что молотковые дробилки наиболее полно соответствуют предъявляемым требованиям для измельчения лузги крупяных и масличных культур. Однако следует отметить, что сам процесс измельчения молотковыми дробилками лузги до настоящего мало изучен, поэтому встает вопрос о совершенствовании, как самого процесса измельчения, так и конструктивно-режимных, а также технологических параметров дробилки.

### 1.3 Классификация и обзор конструкций молотковых дробилок

Классификация молотковых дробилок представлена на рисунке 1.3 [2, 7, 45, 49, 62, 69, 99, 108].

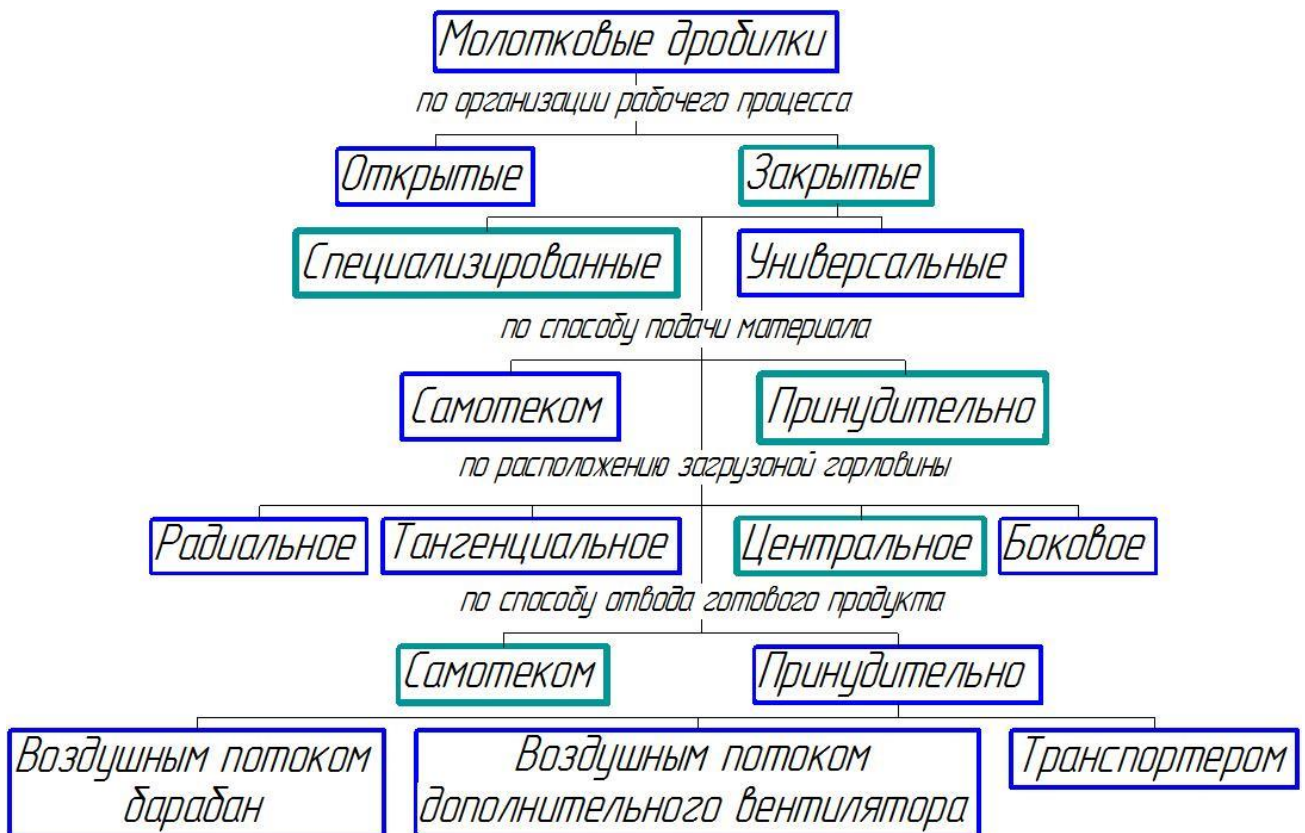


Рисунок 1.3 – Классификация молотковых дробилок

По организации рабочего процесса, протекающего в рабочей камере, молотковые дробилки различают открытого и закрытого типов. В дробилках открытого типа измельченный материал удаляется из дробильной камеры, не проходя полный цикл при своем перемещении. Одним из основных фактором процесса измельчения в таких дробилках является свободный удар. В дробилках закрытого типа решето и деки охватывают всю поверхность дробильной камеры и материал, поступающий в нее, совершает круговое движение, при этом располагаясь в виде рыхлого воздушно-продуктового слоя. В данных дробилках материал измельчается за счет ударного воздействия, а также и истирания [7, 11, 27, 35, 62].

Большое распространение получили дробилки закрытого типа, которые разделяют на специализированные и универсальные. У специализированных молотковых дробилок к основным рабочим органам относится ротор с шарнирно-закрепленными молотками, а также решета и деки. В универсальных дробилках, кроме молотков на роторе также установлены криволинейной или прямолинейной форм ножи, либо установлен отдельно режущий барабан [4].

По способу подачи измельчаемого материала в дробильную камеру следует различать дробилки с принудительной подачей и самотеком. Некоторые дробилки, для подачи плохосыпучих материалов снабжены питающими устройствами.

Дробилка серии ДЗР (рисунок 1.4) предусматривает принудительную подачу материала с помощью шнекового питателя, установленного в горловине загрузочного бункера 1. Сырье поступает в корпус 2 с дробильной камерой, где подвергается измельчению посредством ударов молотков, шарнирно закрепленных на роторе 3. Измельченное сырье выводится из дробильной камеры. Привод вала ротора с молотками осуществляется посредством электродвигателя 4 [23]. Дробилки данной серии мало применимы для измельчения лужги.

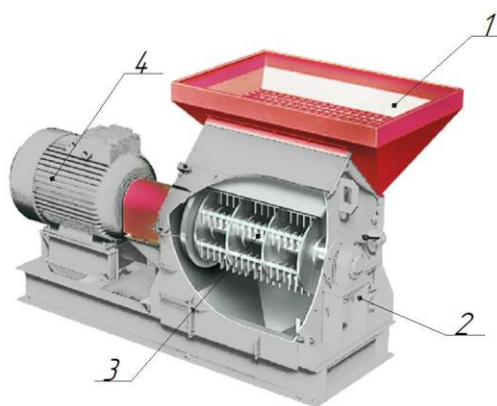


Рисунок 1.4 – Дробилка серии ДЗР:

1 – загрузочный бункер; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – электродвигатель

Универсальные молотковые дробилки серии МДМ (рисунок 1.5) предназначены для тонкого измельчения сухих продуктов. Сырье поступает в загрузочный бункер 1. Измельчение материала происходит с помощью молотков и пальцев, установленных в корпусе 2. Дробилка является универсальной и применяется не только в сельскохозяйственной, но и других отраслях промышленности [26]. Дробилки данной серии имеют высокую энергоемкость процесса измельчения лузги из-за высокой парусности.



Рисунок 1.5 – Молотковая дробилка серии МДМ:

1 – загрузочный бункер; 2 – корпус

Дробилка зерна ДЗ-Т-1 (рисунок 1.6) имеет комплект сменных решет, с отверстиями диаметром 4, 6 и 8 мм. Измельчаемая масса засыпается в загрузочный бункер 1, в котором загрузочная горловина открыта до необходимого размера, и высыпается в корпус 2 дробильной камеры между деками и вращающимся в камере ротором 3 с шарнирно подвешенными молотками 4. Измельченные частицы удаляются через отверстия в решетках, а размер частицы, превышающих отверстия решета, снова захватываются молотками и направляются в дробильную камеру для дальнейшего измельчения. Когда одна сторона молотов 4 износилась, молотки устанавливают не работавшей стороной и фиксируют посредством пальцев 5 [60].

Данная дробилка предназначена только для измельчения зерновых материалов.

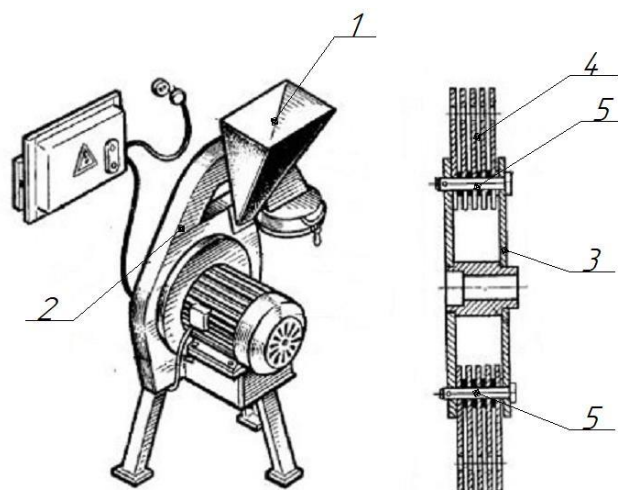


Рисунок 1.6 – Дробилка зерна ДЗ-Т-1:

1 – загрузочный бункер; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – молоток; 5 – палец

Молотковая дробилка серии Molot является универсальной и в основном применима для измельчения сухих продуктов в муку. Дробилка применяется не только в сельскохозяйственной, но и в других отраслях промышленности [24]. Фракция измельченного материала зависит от типа измельчаемого материала и от окружной скорости вращения ротора с молотками. При измельчении лузги крупяных и масличных культур дробилки данной серии имеют высокую энергоемкость процесса измельчения из-за тангенциального расположения загрузочной горловины.

Молотковая дробилка ДКМ-5 (рисунок 1.7) применяется при измельчении зерновых материалов различной влажности, а также грубых кормов [2, 24, 69].

Зерно подается в приемный бункер 2 загрузочным шнеком 1. Перед попаданием в дробильную камеру 4 зерно очищается от механических примесей посредством магнитного сепаратора 3 и после чего попадает в дробильную камеру 4. Измельчение происходит в результате воздействия вращающегося ротора 5 с молотками 6 на зерно.

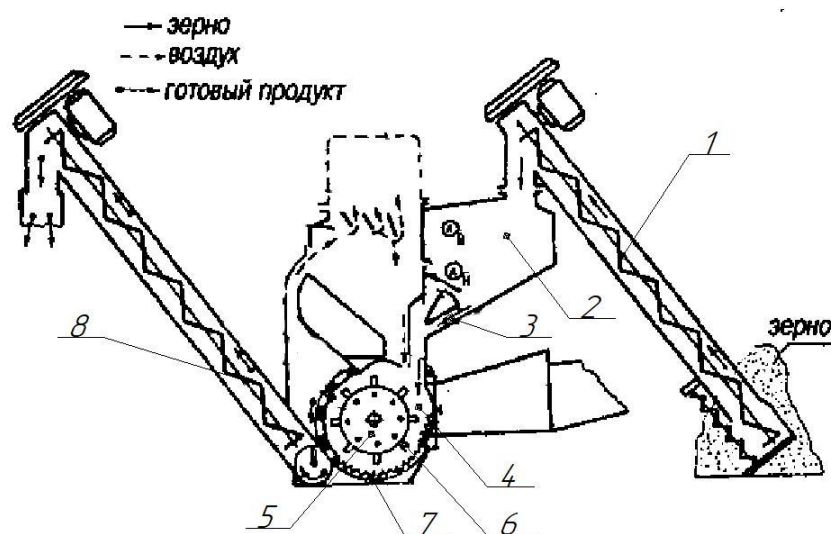


Рисунок 1.7 – Молотковая дробилка ДКМ-5:

1 – загрузочный шнек; 2 – приемный бункер; 3 – магнитный сепаратор; 4 – дробильная камера; 5 – ротор; 6 – молоток; 7 – дека; 8 – выгрузной шнек

При ударном воздействии шарнирно-закрепленных на роторе молотков 6 и дек 7 зерно измельчается и удаляется из дробильной камеры. Готовый продукт транспортируется из дробильной камеры на выгрузной шнек 8.

Готовый продукт посредством выгрузного шнека 8 поступает в транспортные средства.

Дробилка КДУ-2,0 (рисунок 1.8) предназначена в основном для измельчения всех видов зерновых материалов, а также грубых и сочных кормов [2, 62, 99, 104]. Измельчаемый материал из загрузочного бункера 1 попадает в дробильную камеру 2, где подвергается процессу измельчения посредством молотков 3, решет 5, а также дек 4. Готовый продукт через отверстия в решетке 5 и посредством

вентилятора 6 удаляется в циклон 7, где происходит его отделение от воздуха. Через шлюзовой затвор 8 готовый продукт выгружается в транспортное средство.

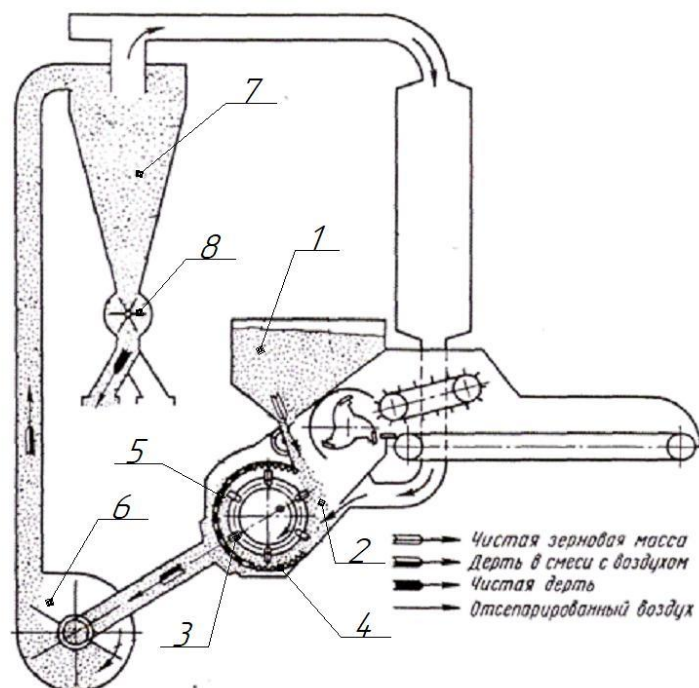


Рисунок 1.8 – Технологическая схема кормодробилки КДУ-2,0:

1 – загрузочный бункер; 2 – дробильная камера; 3 – молоток; 4 – дека; 5 – решето;  
6 – вентилятор; 7 – циклон; 8 – шлюзовой затвор

Определенный интерес для конструкторов измельчающих машин представляют некоторые конструкции дробилок производства зарубежных фирм.

Дробилки ДКМ-5 и КДУ-2,0 предназначены для измельчения только зернового материала.

Молотковая дробилка DFZC компании Bühler (Швейцария) может применяться для тонкого размалывания, а также для грубого измельчения в производстве комбикормов, мукомольном производстве и промышленности по производству и использованию биомассы [66]. При измельчении лузги крупяных и масличных культур данная дробилка имеет высокую энергоемкость.

Французская фирма «Сокам» выпускает молотковые дробилки «Атомакс» со свободно подвешенными молотками [67].



Данные дробилки просты в устройстве, а также имеют необходимую производительность и широко применимы на комбикормовых заводах для измельчения разнообразных ингредиентов. Каждая дробилка обеспечена питающим устройством вибрационного типа с автоматическим управлением. Питание обеспечивается на максимальную производительность, соответствующую мощности электродвигателя. Измельченный материал забирается пневматическим транспортом всасывающего типа. Система решет в дробильной камере охватывает 240°.

Молотки изготавливают из специальной стали, подвергшейся термической обработке. На молотках имеются рифли, в результате чего производительность дробилки не снижается и профиль рифленых молотков практически сохраняется до их полного износа. Каждый молоток перфорирован двумя отверстиями. Это позволяет устанавливать его под четырем разными углами. Положение всех молотков изменяют одновременно и одинаковым методом, обеспечивая тем самым равновесие ротора. Недостатком данных молотков является низкая эффективность процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур.

Французская фирма «Promill» выпускает молотковые дробилки «Promill». Основными элементами данных дробилок являются дробильная камера с откидывающейся крышкой, молотковый ротор с шарнирно-закрепленными молотками, а также решето и приемный лоток [82].

Процесс измельчения в основном происходит в нижней части дробилки; наибольшая производительность обеспечивается неподвижными молотками, расположенными в три ряда и укрепленных на внутренней части корпуса дробилки, а также подвижными молотками, установленными на роторе. Недостатком данных дробилок является быстрый износ молотков и высокая энергоемкость процесса измельчения лузги.

Измельчитель кормов ИЗКБ-1 (рисунок 1.9) является универсальным прибором, предназначенным для дробления зерновых, измельчения травы, корнеплодов, листьев, сена, соломы и других видов корма.

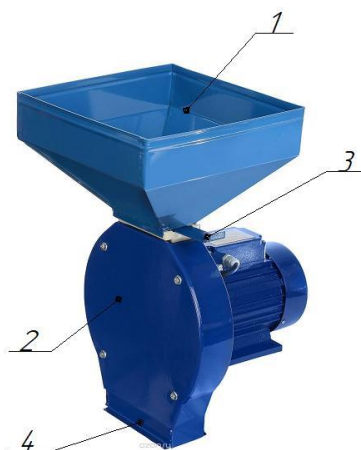


Рисунок 1.9 – ИЗКБ-1:

1 – загрузочный бункер; 2 – корпус; 3 – заслонка; 4 – выгрузное окно

Зерно или солома засыпаются в бункер 1. Подача измельчаемого материала в корпус 2 регулируется заслонкой 3. Процесс измельчения происходит в дробильной камере посредством молотков, шарнирно закрепленных на роторе. После измельчения зерна или корма, готовый продукт удаляется через выгрузное окно в емкость. В комплект входят сменные решета с диаметром отверстий 2, 3, 4 мм, предназначенных для изменения размера помола.

Фирма «Christie Norris» (Великобритания) выпускает молотковые дробилки В21/2, в которой эффективность процесса измельчения увеличивается за счет наклонных зубчатых пластин, установленных в загрузочной горловине. В дробилках, выпускаемых фирмой «Джиза» (Италия), для улучшения показателей измельчения дека имеет шипы, приваренные в шахматном порядке [35, 82, 107].

Выпускаемые дробилки фирмой «Кагава» (Япония) применяются для тонкого измельчения, питающий патрубок у которых смещен относительно оси. При таком расположении питающего патрубка измельчаемый материал неравномерным потоком распределяется по ширине ротора дробилки, что ведет к снижению ее производительности. [82, 107].

В настоящее время наибольшее распространение получили молотковые дробилки, выпускаемые фирмой «Van Aarsen» (Нидерланды). Конструкция данных дробилок проста и в то же время учтены требования при производстве кормов:

возможность работы в оптимальных режимных параметрах; очистка измельчаемой массы посредством магнитного сепаратора, а также простота в обслуживании, все это позволяет подобрать оптимальные параметры рабочего процесса дробилку для любого комбикормового завода [42, 107]. При измельчении лузги крупяных и масличных культур данная дробилка имеет высокую энергоемкость и низкую производительность.

Фирма Альпине (ФРГ) выпускает бесситовые ударно-отражательные дробилки «Коллоплекс» с неподвижным и вращающимся стержневыми дисками, установленными внутри дробильной камеры. Подача измельчаемой массы может происходить автоматически. Дозирующее приспособление непрерывно подает продукт к магниту для отделения металлопримесей. Поток воздуха в питающем желобе вводит продукт через неподвижный стержневой диск внутри дробилки. Вращающийся диск захватывает его и распределяет равномерно во все стороны. Продукт, проходя через ряды стержней, подвергается ударно-отражательному действию до тех пор, пока не достигнет необходимой степени измельчения. Затем он попадает в сборную камеру и выходит через отверстие в дне дробилки наружу. Поток воздуха удаляется через автоматический фильтр [25, 27, 35]. К недостаткам данных дробилок относится не возможность регулирования размера фракции готового продукта, а также быстрое изнашивание молотков.

Также наибольшее распространения в сельском хозяйстве получили измельчители грубых кормов ИРТ-165, ИРТ-165-01, ИРТ-80 [2, 68, 70]. Однако, как показывают исследования, что измельчение лузгу крупяных и масличных культур сопровождается низкой производительностью и высокой энергоемкостью процесса.

Из представленного обзора конструкций молотковых дробилок следует, что способность измельчать лузгу крупяных и масличных культур, сопровождается высокой энергоемкостью процесса.

Основным из рабочих органов молотковых дробилок является дробильный барабан с шарнирно-закрепленными на нем молотками. К вспомогательным

рабочим органам относятся механизмы подачи измельчаемого материала в дробильную камеру.

Совершенствование основных и вспомогательных рабочих органов молотковой дробилки позволит повысить ее производительность и снизить энергоемкость процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур.

С целью выявления наиболее перспективных конструкций основных и вспомогательных рабочих органов молотковой дробилки проведем их анализ.

### **1.3.1 Анализ основных рабочих органов молотковых дробилок**

К изменяющих качественное состояние исходного материала, относятся следующие рабочие органы дробилок: молотки, деки и решета [2, 6, 7, 11, 35, 41, 49, 53, 62, 80].

Основным ударным элементом в молотковых дробилках является молоток. Для измельчения в сельском хозяйстве применяются молотки различных конструкций [2, 41, 62, 68, 94, 97, 106, 107, 110, 111]. Наибольшее распространение получили пластинчатые молотки (рисунок 1.10), которые можно разделить на прямоугольные (рисунок 1.10, *а, б*), со ступенчатыми концами (рисунок 1.10, *в, г, д*) и составные фигурные (рисунок 1.10, *е*). При наличии одного отверстия для пальцев молотки после износа переднего рабочего угла могут быть повернуты и вторично использованы, а молотки с двумя отверстиями могут быть использованы до четырех раз. Наличие ступеней на концах увеличивает эффективность процесса измельчения пленчатых и волокнистых материалов. Составные фигурные молотки, в основном нашли свое применение при измельчении крупнокусковых материалов (жмых, брикеты, кусковая соль, кости и др.)

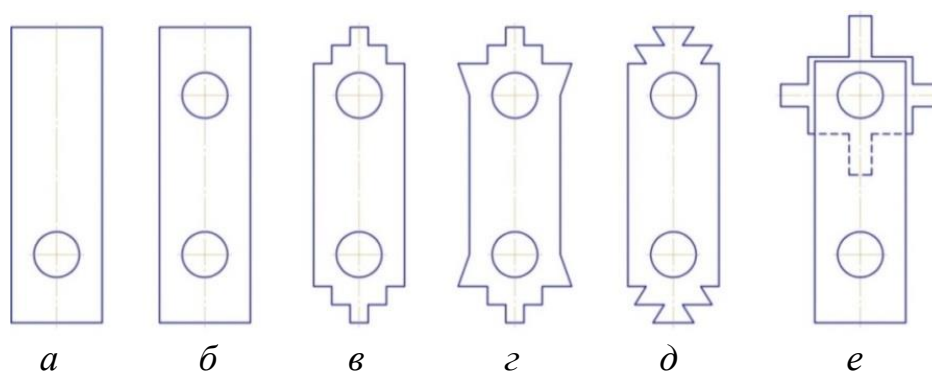


Рисунок 1.10 – Формы молотков:

*a, б* – прямоугольные; *в, г, д* – со ступенчатыми концами; *е* – составные фигурные

По толщине молотки можно разделить на тонкие, нормальные и толстые [8].

Тонкие молотки (2 – 3 мм) используют при измельчении сыпучих материалов, для измельчения стебельных материалов используют средние молотки (6 – 8 мм), толстые молотки (8 – 12 мм) применяются при измельчении крупнокусковых материалов.

Молотки изготавливают из углеродистой или марганцовистой стали с термической обработкой рабочих концов до твердости по Бринеллю 390 – 475 НВ. В зависимости от вида термической обработки, а также изготавливаемого материала срок службы молотков составляет от 72 до 280 часов [2, 7, 41, 49, 62, 106].

Деки, устанавливаются в верхней части корпуса и вместе с решетом являются неподвижными частями дробилки, о которые происходит ударение частиц измельчаемого материала, при отбрасывании после ударов молотков. Деки бывают с рифленой рабочей поверхностью или решетчатыми, уложенными поверх сплошной стенки корпуса дробилки [43].

Решета (рисунок 1.11) [2, 7, 41, 62, 68, 70, 94, 108, 111] служат для вывода измельченного продукта из рабочей зоны дробилки, а также для усиления эффекта измельчения. Решета изготавливают из листовой стали толщиной от 2 до 8 мм и по конструкции они бывают гладкие (рисунок 1.11, *a, б*) и чешуйчатые (рисунок 1.11, *в, г*). Для уменьшения сопротивления движения измельчаемого продукта отверстия в решетах делают конической формы. Чешуйчатые решета с отверстиями

полуовальной или прямоугольной формы имеют острошероховатую поверхность, значительно повышающую эффект измельчения и пропускную способность в сравнении с гладкими решетками.

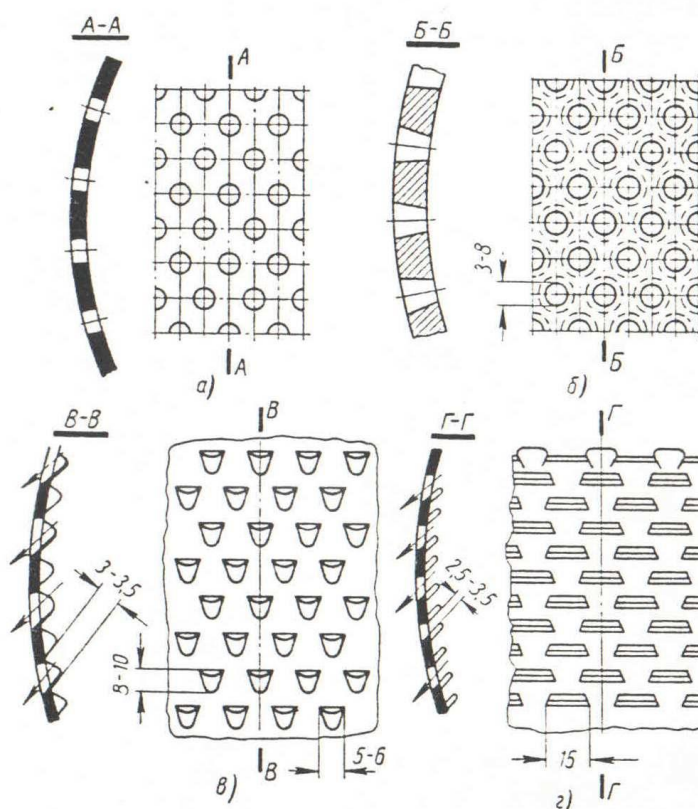


Рисунок 1.11 – Решета молотковых дробилок:

*а, б* – гладкие; *в, г* - чешуйчатые

Обычно к дробилке прилагается несколько сменных решет с различной величиной отверстий. Сменой решет можно достигнуть необходимой степени измельчения.

Наибольший интерес среди рабочих органов дробилки представляют молотки, отличающиеся по форме рабочей поверхности. Недостатком представленных конструкций молотков, является низкая эффективность взаимодействия рабочей поверхностью молотка с измельчаемой массой [6].

Молотки, закрепленные на ротор дробилки захватывают измельчаемую массу и наносят ударное воздействие, увлекая его во вращательное движение, образуя при этом воздушно-продуктовый слой, движущийся относительно вращения ротора. Подлежащие измельчению частицы группируются в воздушно-

продуктовом слое так, что крупные частицы расположены ближе к рабочей поверхности решета, преграждая путь удаления из дробильной камеры частицам, которые находятся под ними. При данном расположении частиц измельчаемого материала, крупным частицам достаточно трудно попасть под удары молотков, а мелкие частицы в результате частого ударного воздействия молотков переизмельчаются, что ведет к увеличению энергоемкости процесса измельчения, а также снижению производительности [2, 6, 8, 11, 16, 35, 42, 49, 62, 69, 71, 97, 99, 111].

Во время рабочего процесса молотки отклоняются от радиального положения, в результате чего сила удара будет слабее, а частица измельчаемого материала будет стремиться к скольжению вдоль грани молотка, вследствие чего также происходит снижение эффективности измельчения.

С целью определения оптимальных конструктивно-режимных параметров молотков со ступенчатой рабочей поверхностью для наиболее эффективного измельчения лужги необходимо провести их дальнейшие исследования.

### **1.3.2 Классификация и анализ питающих устройств сыпучих материалов**

Важным конструктивным элементом в молотковых дробилках является загрузочный бункер, который служит в качестве промежуточной емкости, обеспечивающей стабильность процесса истечения измельчаемого материала к рабочим органам дробилки.

Вопросом истечения сыпучих материалов из бункеров занимались многие исследователи, такие как: Алферов К.В., Зенков Р.Л., Рогинский Г.А. Елисеев М.С., Фуфачев В.С., Кунаков В.С., Гячев Л.В. и многие другие [3, 4, 22, 32, 33, 46, 48, 87].

Известно, что истечение измельчаемых материалов из загрузочного бункера бывает нормальное, сплошное и гидравлическое. При нормальном истечении частицы находятся лишь в зоне столба материала, расположенного над выгрузным отверстием бункера (рисунок 1.12, а). Свободная поверхность измельчаемого материала представляет собой воронку, вдоль стенок которой частицы

измельчаемого материала перемещаются в центральную зону. Материал, расположенный около стенок бункера, образует так называемые «мертвые» зоны. В этих зонах частицы материала неподвижны до тех пор, пока воронка, образовавшаяся на поверхности измельчаемого материала, не достигнет нижней части загрузочного бункера.

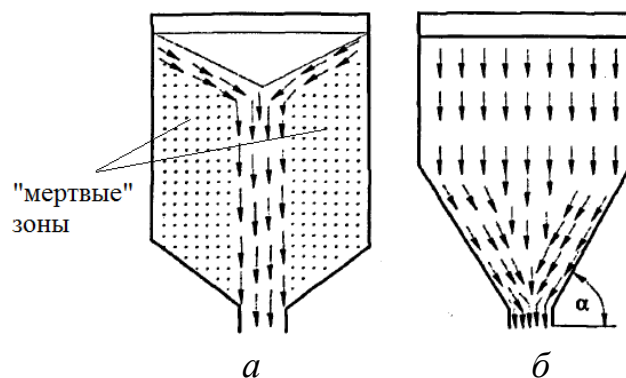


Рисунок 1.12 – Схемы истечения сыпучих материалов из бункеров:

*а* – нормальное; *б* – сплошное

При сплошном истечении все частицы измельчаемого материала в загрузочном бункере находятся одновременно в движении (рисунок 1.12, б) [3, 33, 87]. Свободная поверхность измельчаемого материала не имеет четко выраженной воронки, все точки этой поверхности опускаются одновременно. При сплошной форме истечения в загрузочном бункере отсутствуют «мертвые» зоны что позволяет выравнивать неравномерный поток измельчаемого материала.

Гидравлическое истечение происходит при выпуске из бункера сильно аэрированного измельчаемого материала, а также при интенсивных его вибрациях.

Опыт применения различных конструкций загрузочных бункеров выявил ряд проблем истечения сыпучих материалов, снижающих эффективность процесса подачи измельчаемых материалов к рабочим органам молотковой дробилки. Основными из них являются: неравномерное истечение, сводообразование, наличие «мертвых» зон в полости загрузочного бункера, образование срединного течения и колебание производительности [3, 32, 33, 46, 48, 87].



В связи с этим целесообразно все материалы разделить на две группы: легкосыпучие и трудносыпучие:

Трудносыпучие материалы в основном состоят из частиц неправильной формы, имеют большой коэффициент внутреннего и внешнего трения, что способствует механической сцепляемости между ними и препятствует процессу истечения.

Насыпная плотность исследуемых нами измельчаемых материалов (лузга подсолнечника, гречихи, проса) составляет  $85 \dots 270 \text{ кг/м}^3$ , что также приводит к их плохой сыпучести.

На основании обзора научных и патентных литературных источников нами был проведен анализ основных типов питающих устройств, отвечающих технологическим требованиям – непрерывности рабочего процесса, надежности работы и минимальным затратам энергии.

Классификация питателей представлена на рисунок 1.13.

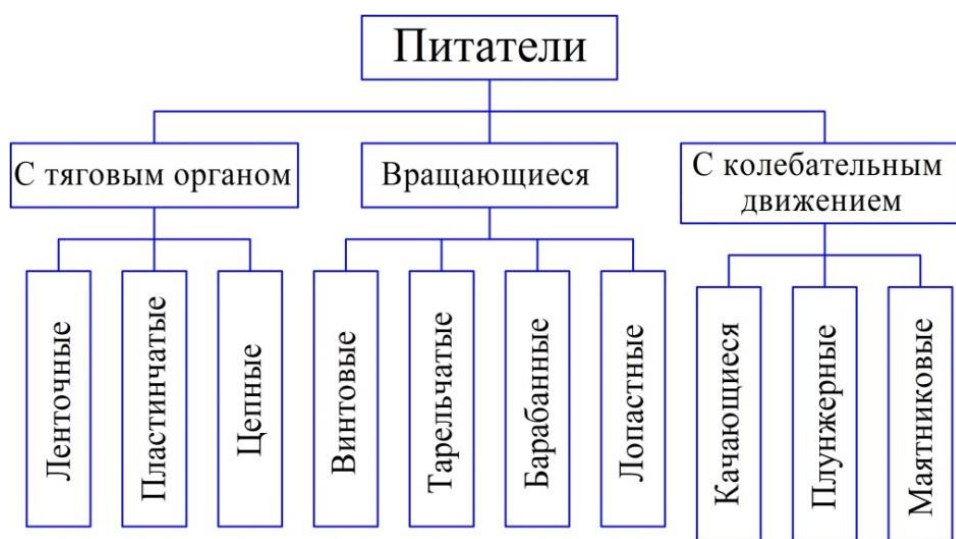


Рисунок 1.13 – Классификация питателей

При выборе и разработке питающего устройства должны учитываться следующие требования:

- осуществлять непрерывную и равномерную подачу материала;
- обеспечивать необходимую пропускную способность материала к рабочим органам молотковой дробилки;

- осуществлять подачу материала к рабочим органам молотковой дробилки с определенной скоростью.

Ленточные, пластинчатые и цепные питатели получили широкое распространение в сельском хозяйстве для транспортирования влажных и слежавшихся, а также крупнокусковых материалов. Такого типа питатели не могут быть использованы в молотковых дробилках, так как являются не эффективными из-за их неравномерности подачи материала [8, 35, 68, 70, 110, 111].

Качающиеся, плунжерные и маятниковые питатели также малоприменимы для равномерной подачи материала [11].

Наибольшее применение в конструкции молотковых дробилок нашли питатели с вращающимся рабочим органом [11].

Винтовые питатели (рисунок 1.14) применяются для подачи хорошосыпучих материалов от мелкокусковых до порошкообразных. Недостатком винтовых питателей является их высокая энергоемкость процесса, сравнительно высокая неравномерность подачи материала [3, 36, 55, 87].

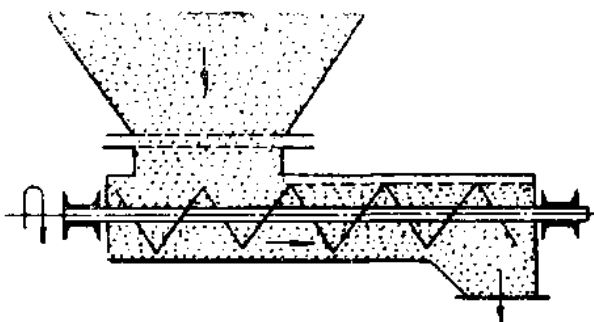


Рисунок 1.14 – Схема винтового питателя

Тарельчатые питатели предназначены для хорошосыпучих материалов. Недостатком таких питателей является то, что они не могут применяться для подачи материалов с низкой насыпной плотностью.

Барабанные питатели различных типов разнообразны по конструкции и принципу действия. Подробный анализ и классификация барабанных дозаторов приведены в работах Кулаковского И.В., Мельникова С.В., Мухина В.А. и др. [17, 36, 49, 62, 68, 87, 108, 109].

По конструктивным признакам барабанные питатели различаются на:

- цилиндрические с гладкой поверхностью (рисунок 1.15, а);
- цилиндрические с рифленой поверхностью (рисунок 1.15, б).

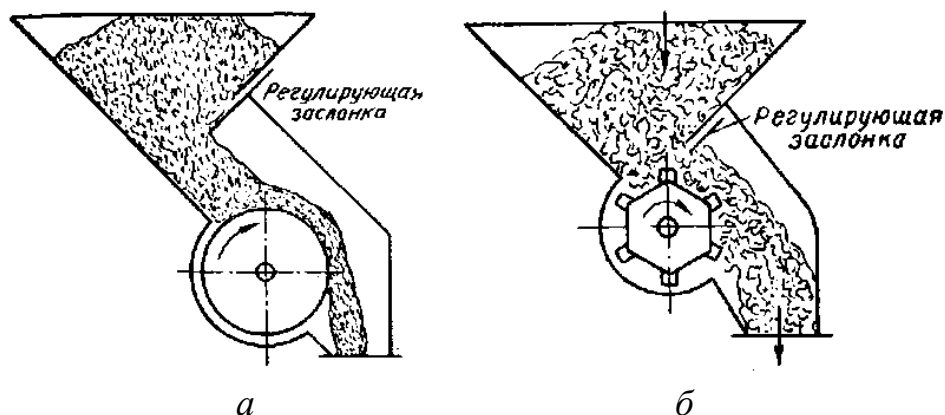


Рисунок 1.15 – Схемы барабанных питателей:

а – цилиндрические с гладкой поверхностью; б – цилиндрические с рифленой поверхностью

Питатели с цилиндрической гладкой поверхностью представляют из себя корпус с приемным бункером, внутри которого находится гладкий цилиндрический барабан. Такие питатели не могут работать с трудносыпучими материалами из-за прилипания их к барабану и забивания его.

Питатели с рифленым барабаном применяется для порошкообразных и мелкозернистых материалов. Но такие питатели как правило малопроизводительны.

Питатели с ячеистым барабаном (рисунок 1.16) предназначены для подачи трудносыпучих материалов.

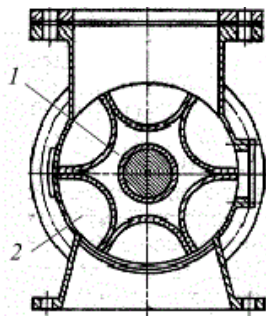


Рисунок 1.16 – Схема питателя с ячеистым барабаном:

1 – ротор; 2 – ячейка барабана

Питатели с лопастным барабаном предназначены для хорошо сыпучих материалов, что так же, как и питатели с цилиндрической гладкой поверхностью малоэффективны.

Таким образом, предъявляемым требованиям удовлетворяют питатели с ячеистым барабаном совместно с винтовыми, ячейки (желоба) которых выполнены по винтовой линии.

#### **1.4 Классификация факторов, оказывающих влияние на эффективность рабочего процесса молотковой дробилки**

Основными показателями, характеризующими процесс измельчения и работу молотковых дробилок, являются производительность, энергоемкость процесса измельчения и степень измельчения. Эффективность процесса измельчения, протекающего в молотковых дробилках, во многом зависит от факторов, которые можно разделить на следующие группы: конструктивные, динамические и технологические [6, 7, 11, 16, 21, 50, 52, 62, 70, 80, 83, 84, 96, 101, 105, 110].

##### **1. Конструктивные факторы:**

- способ подачи измельчаемой массы;
- размеры дробильной камеры и ротора;
- форма и размеры молотков;
- количество пакетов молотков и молотков в пакете;
- порядок расстановки молотков;
- зазор между концами молотков и поверхностью решета;
- тип решета, его толщина, размер и форма отверстий;
- конструкция и размер деки.

##### **2. Динамические факторы:**

- скорость поступления материала в дробильную камеру;
- окружная скорость вращения молотков;
- воздушный режим дробилки;

- отклонение молотков от радиального положения;
- момент инерции молоткового ротора.

### 3. Технологические факторы:

- предварительное подпрессовывание измельчаемой массы;
- величина подачи измельчаемого материала;
- модуль помола и степень измельчения готового продукта.

Так же значительное влияние на эффективность рабочего процесса оказывают физико-механические свойства измельчаемого материала (насыпная плотность, влажность, гранулометрический состав, и др.) [11, 80, 106].

Большое количество дробилок, различающихся по типам, конструкции рабочих органов и вспомогательных устройств, а также влияние на эффективность рабочего процесса различных факторов привело к появлению большого количества исследований в этой области.

Большое количество работ [6, 7, 11, 16, 21, 27, 31, 34, 35, 43, 44, 50, 52, 62, 70, 80, 83, 84, 96, 101] в основном посвящено влиянию приведенных факторов на процесс измельчения зерновых материалов. Лузга резко отличается по своим физико-механическим свойствам от зерна. Поэтому, изучение особенностей процесса измельчения лузги молотковыми дробилками является необходимым.

#### **1.4.1 Влияние конструктивных факторов на рабочий процесс молотковой дробилки**

Одними из основных конструктивных особенностей, влияющих на эффективность процесса измельчения в молотковых дробилках являются диаметр и длина ротора [6, 11, 35, 62].

С.В. Мельников доказывает, что при проектировании и расчете роторов молотковых дробилок необходимо учитывать наличие двух типов роторов, которые отличаются соотношением размеров диаметра  $D$  и длины  $L$  (рисунок 1.19) эти соотношения находятся в пределах [6]:

$$K_1 = D/L = 1...2 \text{ и } K_2 = D/L = 4...7.$$

У роторов первого типа (рисунок 1.17, *a*) до 50% их массы в основном сосредоточено в пакетах молотков вблизи от оси вращения молоткового ротора, в результате чего осевой момент инерции относительно невелик. Достоинством данного типа роторов является то, что они легче поддаются динамической балансировке, так как имеют почти равноосный эллипсоид инерции, по форме близкий к шару [6].

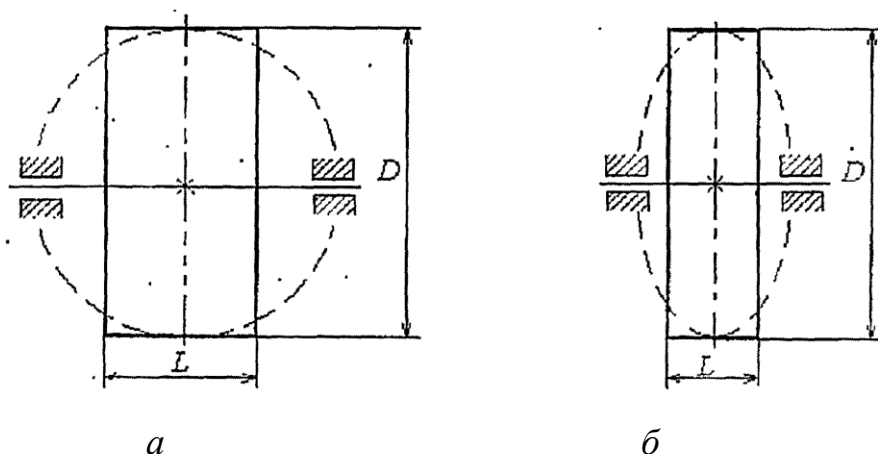


Рисунок 1.17 – Типы роторов молотковых дробилок:

*a* – первого типа; *b* – второго типа

Масса молотков у роторов второго типа (рисунок 1.17, *b*) составляет всего лишь 15 ... 20% от общей массы барабана. Пакеты молотков удалены на значительное расстояние от оси вращения, в результате данный тип роторов отличается наибольшими значениями осевых моментов инерции и маховым моментом [6, 111].

Перемещение измельчаемого материала внутри дробильной камеры во многом зависит от величины диаметра ротора [6, 7, 62, 70, 71, 106]. Чем меньше данный диаметр, тем менее энергоемким является процесс на перемещение материала. Целесообразно выбирать диаметр ротора в пределах 0,2 ... 0,5 м.

Авторы [7, 11, 68, 70, 99] в своей работе утверждают, что для молотковых дробилок с диаметром ротора равным 0,5 м оптимальным число пакетов молотков является 9 – 10. Дальнейшее увеличение числа пакетов, вызывает увеличение энергоемкости процесса измельчения [80].

Основными рабочими органами дробилки являются молотки [4]. Влияние конструктивных параметров молотков на рабочий процесс дробилки изучали многие отечественные и зарубежные ученые [117 - 126], которые выявили, что процесс измельчения наиболее эффективно проводить молотками толщиной 1,5 ... 2,5 мм. Снижение энергоемкости процесса измельчения составляет 5 ... 7%. Однако, Б.Д. Рабинович [11, 68, 70, 110] утверждает, что уменьшение толщины молотка с 3 до 2 мм приводит к снижению производительности на 3 ... 4%, также уменьшается и качество готового продукта.

Ряд ученых [50, 80, 120], указывают на увеличение числа молотков на роторе, однако авторы [6, 7, 99, 103, 107, 113] считают, что увеличение числа молотков приводит лишь к увеличению мощности на привод ротора без возрастания производительности.

Расстановку молотков на роторе проводят с таким расчетом, чтобы измельчаемая масса максимально распределялась по длине ротора как можно равномернее [4]. Это можно обеспечить при размещении молотков на роторе по сходящимся винтовым линиям. Такое размещение молотков позволяет увеличить срок службы молотков без их перестановки примерно на 20%, а также увеличить производительность дробилки на 10% по сравнению другими схемами расположения [2, 4, 6, 11, 48, 68].

В.И. Сыроватка в своей работе [11, 99] предлагает применение молотков с острыми гранями, в результате чего возможно повышение эффективности процесса измельчения.

Дека по мнению авторов [7, 11, 68, 70] способствует торможению и более интенсивному измельчению, что ведет к увеличению производительности и снижению энергоемкости процесса.

Гудков А.Н. на основании анализа работ различных исследователей делает вывод о влиянии деки на процесс измельчения, но также одновременно с этим считает возможным заменить деку на решето [6, 11, 29, 34, 48, 62].

Решето, наряду с молотками и декой, также является одним из важных рабочих органов молотковых дробилок и определяет не только

гранулометрический состав готового продукта, но и производительность, а также энергоемкость процесса измельчения.

Влиянию решета на показатели рабочего процесса молотковых дробилок посвящено множество исследований [11, 13, 21, 27, 35, 58, 70, 95, 105, 107, 111].

Согласно исследованиям [6, 107, 110] основное разрушение материала происходит в зоне решета с отверстиями круглой формы, поэтому угол обхвата решетом может составлять 120 ... 360°.

Одним из важных факторов, влияющих на рабочий процесс дробилки, является зазор между концами молотков и поверхностью решета. От его увеличения зависит эффективность рабочего процесса дробилки, а также качество готового продукта [6]. Некоторые исследователи [11, 14, 22, 48, 105] для повышения производительности рекомендуют увеличить зазор до 15 ... 25 мм, с одновременным увеличением окружной скорости молотков. При выполнении данных условий производительность повышается на 15%, а расход энергии снижается на 17 ... 20%.

Другие авторы [106, 109, 111, 113], исходя из результатов своих исследований, показывают, что при уменьшении зазора в пределах 1,5 ... 2,0 мм происходит повышение эффективности процесса измельчения, при этом готовый продукт имеет выравненный гранулометрический состав [11].

Таким образом, обобщив многочисленные исследования по влиянию конструктивных параметров на рабочий процесс молотковой дробилки, можно заключить [45]:

- необходимо увеличить площадь охвата дробильной камеры решетом, так как это позволит более эффективно проводить процесс удаления измельченных частиц из дробильной камеры;

- необходимо стремиться к уменьшению зазора между концами молотков и поверхностью решета, так как это приводит к увеличению производительности дробилки;

- необходимо уменьшать толщину молотков до 1,5 ... 2,5 мм, так как это приводит к повышению эффективности дробилки на 5 ... 7 %.



## 1.4.2 Влияние динамических факторов на рабочий процесс молотковой дробилки

Влияние динамических факторов на эффективность работы молотковых дробилок исследовалось многими учеными как отечественными, так и зарубежными.

Гернет М.М. установил, что молотки при работе дробилки подвержены колебаниям и предложил использовать молотки, уравновешенные на удар [11, 106].

В зоне загрузки рабочей камеры молотковой дробилки имеется воздушный поток, направленный противоположно поступающей массе материала. Поэтому в работе [68, 70, 110] авторы предлагают вводить измельчаемый материал в рабочую камеру с некоторой начальной скоростью.

Основным наиболее важным факторов, влияющих на эффективность процесса измельчения, является окружная скорость вращения молотков. При выборе окружной скорости молотков должна учитываться как техническая составляющая, так и экономическая, так как с увеличением частоты вращения ротора с молотками, энергоемкость на холостом ходу возрастает [6, 70].

По данным исследований В.И. Сыроватка [11, 99], окружная скорость вращения молотков в наиболее распространенных дробилках равна 42 ... 70 м/с, что удовлетворяет начальному разрушению зерна.

М.Г. Кукта [11, 48] приходит к выводу, что с повышением окружной скорости молотков до 90 ... 100 м/с, доля пылевидной фракции составляет порядка 20%.

И.И. Ревенко [11, 84] экспериментальным путем установил, что наиболее оптимальной является окружная скорость молотков в пределах 55 ... 75 м/с. Дальнейшее увеличение окружной скорости приводит к повышению пылевидной фракции.

Вопросом оптимизации скоростного режима молоткового ротора занимались также и ряд зарубежных ученых.

Так, например, W.S. Kruger, исходя из результатов своих исследований [6, 11, 120] сделал выводы, что при увеличении окружной скорости молотков падает производительность дробилки, а также увеличивается степень измельчения готового продукта.

Е.А. Silver [6, 11, 122] в ходе экспериментальных исследований определил оптимальную окружную скорость вращения молотков, изменяющуюся в пределах 40 ... 45 м/с, при этом отмечает выравненный гранулометрический состав готового продукта.

А.Т. Hendrix рекомендует принимать значение окружной скорости молотков равной 50 м/с [6, 11, 119].

Вопросы, связанные с подачей измельчаемого материала к рабочим органам дробилки, рассматривались в работах многих ученых [6, 11, 68, 70, 92]. Это можно объяснить тем, что величина подачи измельчаемой массы в дробильную камеру является одним из основных факторов, который определяет эффективность рабочего процесса дробилки.

Согласно исследованиям Фарбмана Г.Я. [11, 68, 105], принудительная подача материала обеспечивает более равномерное его поступление к рабочим органам дробилки, вследствие чего энергоемкость процесса измельчения снижается в 1,5 ... 2 раза.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что оптимальный диапазон рабочих скоростей молотков лежит в пределах 40 ... 70 м/с [11]. Для измельчения лузги до настоящего времени величина окружной скорости молотков точно не определена, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований и экспериментов.

### 1.4.3 Влияние технологических факторов и физико-механических свойств лузги на рабочий процесс молотковой дробилки

Технологический процесс измельчения молотковыми дробилками весьма сложен и зависит от многих факторов, таких как степень измельчения, физико-механических свойств исходного материала и др. [106].

Основным критерием оценки качества готового продукта является степень измельчения [4, 6, 11, 14, 21, 34, 43 - 45, 51]. Ее изменение осуществляется установкой в рабочей камере сменных решет с отверстиями различного диаметра.

В качестве критерия оценки степени измельчения можно применять показатель  $M$ , называемый модулем крупности, который можно определить по формуле:

$$M = \frac{0,5P_0 + 1,5P_1 + 2,5P_2 + 3,5P_3}{100}, \quad (1.1)$$

где  $P_0$  - проход сита с отверстием  $\varnothing 0,25$  мм,%;  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  - остаток на ситах с отверстиями  $\varnothing 1$ , 2 и 3 мм соответственно, %.

На протекание процесса измельчения значительное влияние оказывают физико-механические свойства измельчаемого материала.

Лузга представляют собой лепесткообразную форму (рисунок 1.19), с физико-механическими и аэродинамическими свойствами [5, 16, 22, 30, 46, 87, 93], представленными в таблице 1.1.



Рисунок 1.18 – Лузга:

*а* – гречиха; *б* – просо; *в* – подсолнечник

Основными физико-механическими свойствами являются: влажность, гранулометрический состав, насыпная плотность, аэродинамические свойства и др. [106].

К основным аэродинамическим характеристикам относят скорость витания, коэффициент парусности и коэффициент аэродинамического сопротивления.

Геометрические параметры лузги достаточно постоянны в пределах одного вида сельскохозяйственной культуры.

Таблица 1.1 – Физико-механические и аэродинамические свойства лузги

Материал Параметры	Лузга подсолнечника	Лузга гречихи	Просяная лузга
Геометрические параметры, мм:			
- длина	7,1-14,8	4,2-6,2	1,8-3,2
- ширина	5,2-10,3	2,8-3,7	1,5-2,0
- толщина	3,3-4,2	0,13-0,18	0,1-0,13
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	85-140	160-195	200-270
Влажность, %	11,6-17,0	11,6-17,0	11,6-17,0
Угол естественного откоса, град.	55	50	48
Скорость витания, м/с	1,54-1,76	1,3-1,63	1,1-2,0
Коэффициент парусности, м <sup>-1</sup>	3,16-4,13	3,69-5,8	2,45-8,1

Угол естественного откоса, коэффициент внутреннего и внешнего трения характеризуют степень сыпучести и во много зависят от формы частиц. [106].

Угол естественного откоса  $\alpha$ , при котором равновесие сыпучей массы сохраняется, равен углу трения покоя  $\varphi_n$  [3, 32, 33, 87, 106]. Сила трения, возникающая между частицами сыпучей массы в состоянии покоя, характеризуется коэффициентом внутреннего трения покоя  $\mu_n$ , который можно определить как тангенс угла трения покоя или тангенс угла естественного откоса, т.е.:

$$\mu_n = \operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg} \alpha$$

Так же одним не маловажным показателем физико-механических свойств является насыпная плотность материала, которая представляет собой отношение массы материала в свеженасыпанном состоянии к его объему.

Аэродинамические свойства материала определяют его поведение в воздушном потоке. Основными аэродинамическими свойствами являются скорость витания и коэффициент парусности.

Состояние готового продукта зависит от значения подачи измельчаемого материала в рабочую камеру молотковой дробилки [106]. С увеличением величины подачи возрастает толщина воздушно-продуктового слоя (15 ... 35 мм) и, следовательно, возрастают затраты энергии на его измельчение. С другой стороны, возрастает плотность слоя и силы взаимодействия частиц в нем. Таким образом величина подачи должна оказывать значительное влияние на протекание процесса измельчения. При оптимальной величине подачи измельчаемого материала затраты энергии на процесс измельчения минимальны [11, 30, 68].

Таким образом, все вышеперечисленные технологические факторы до настоящего времени были мало изучены для лузги крупяных и масличных культур. Поэтому необходимо дальнейшее изучение влияния данных факторов на эффективность рабочего процесса молотковых дробилок.

## **1.5 Анализ теоретических исследований процесса измельчения материалов**

Процесс измельчения какого-либо продукта заключается в разрушении исходного материала последовательными механическими действиями, а основным результатом измельчения является многократное увеличение поверхности измельчаемого материала.

Вопросом процесса измельчения занимались как отечественные, так и зарубежные ученые, такие как Мельников С.В., Алешкин В.Р., Ревенко И.И., W.S. Kruger, A.T. Hendrix и др. [2, 6 - 8, 11, 13 - 16, 21, 22, 35, 37, 42 - 46, 48 - 50, 62, 68 - 71, 117 - 126]. К процессу измельчения лузги крупяных и масличных культур при минимальных затратах энергии для ее использования в различных видах

производства, где важными требованиями являются степень измельчения с выровненным гранулометрическим составом, необходимо подходить с учетом ее физико-механических свойств [4].

Основной вопрос теории измельчения состоит в установлении связи между энергозатратами и размерами конечных и начальных частиц материалов, а также их формой, взаимным расположением, физико-механическими свойствами и т.п. В связи с влиянием многочисленных факторов на процесс измельчения, существующие теории характеризуют затраты энергии в общем виде с учетом наиболее важных параметров процесса [11, 62, 99].

Согласно поверхностной теории разрушения П. Реттингера, работа процесса измельчения материала, прямо пропорциональна площади вновь образованной поверхности:

$$A_f = K_1 \Delta F, \quad (1.2)$$

где  $K_1$  - коэффициент пропорциональности;  $\Delta F$  - площадь вновь образовавшейся поверхности, м<sup>2</sup>.

Теория П. Реттингера в своей теории не учитывает изменение формы тела при измельчении, следовательно, она не может быть пригодной для описания процесса измельчения, когда готовый продукт имеет малую площадь поверхности [6].

Объемная теория, разработанная В.Л. Кирпичевым и Ф. Киком, устанавливает, что работа, затраченная на измельчение, прямо пропорциональна объему деформированной части тела [6]:

$$A_v = K_2 V, \quad (1.3)$$

где  $K_2$  - коэффициент пропорциональности;  $V$  - объем деформированной части тела, м<sup>3</sup>.

Согласно теории Кирпичева-Кика энергия, расходуемая на деформирование материала, не учитывает затраты на образование новых поверхностей [6]. Данную теорию целесообразно применять при грубом измельчении, когда влияние вновь образованных поверхностей в конечном продукте незначительно.

Аналитические расчеты затрат энергии по выражениям объемной и поверхностной теорий дают лишь приближенные к опытным данным значения. Это говорит об их несовершенстве.

Ф.С. Bond [117], объединив уравнения (1.2) и (1.3) сделал допущение, что работа, расходуемая на измельчение, прямо пропорциональна среднему геометрическому из объема и площади поверхности измельчаемого материал:

$$A = K\sqrt{VF}. \quad (1.4)$$

Теория Ф.С. Bonda также не учитывает конкретных условий, при которых происходит разрушение.

Рассмотренные теории измельчения отражают только часть сложных процессов, протекающих при измельчении. В реальности же при измельчении деформирование и образование новых поверхностей происходит одновременно. В связи с этим П.А. Ребиндером [83] была создана обобщенная теория измельчения, из которой следует, что полная работ измельчения равна сумме работ, затрачиваемых на деформации в деформируемой части объема разрушаемого материала и на образование новых поверхностей:

$$A = A_v + A_f = K\Delta V + \alpha\Delta F, \quad (1.5)$$

где  $A$  - работа, необходимая для измельчения, Дж;  $A_v$  - работа деформации в объеме материала, Дж;  $A_f$  - работа, затраченная на образование новых поверхностей, Дж;  $K$  - коэффициент пропорциональности;  $\Delta V$  - деформированная часть объема материала, м<sup>3</sup>;  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности, учитывающий энергию поверхностного натяжения измельчаемого материала;  $\Delta F$  - приращение площади поверхности материала, м<sup>2</sup>.

Рассматривая процесс измельчения по Ребиндеру, можно отметить, что работа образования новых поверхностей  $A_f$  является полезной, а работа упругих деформаций  $A_v$  - бесполезной. При этом КПД процесса измельчения очень низкий и составляет:

$$\eta = \frac{A_F}{A_V + A_F}. \quad (1.6)$$

Как показывает формула (1.6), что для повышения КПД процесса измельчения необходимо: уменьшить работу упругих деформаций  $A_V$ , а также создать условия перенапряжения частиц измельчаемого материала, что приведет к увеличению работы, затрачиваемой на образование новых поверхностей  $A_F$ .

Анализ представленных теорий измельчения показывает, что они применяются лишь только для исследования с целью выявления влияния величины работы, на измельчение.

Опираясь на разработанную теорию П.А. Ребиндера, С.В. Мельников предложил формулу для определения затрат работы на процесс измельчения [62, 83, 99]:

$$A_{изм} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (1.7)$$

где  $\lambda$  - степень измельчения;  $C_1, C_2$  - эмпирические коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств измельчаемого материала, Дж/кг.

Достаточно подробно рассматривал рабочий процесс соударения молотка с зерном В.И. Сыроватка [99]. В основу были положены классическая теория удара и теория Герца. Результаты анализа позволили заключить:

- при прямом ударе частица в большей мере разрушается о поверхности решета и дек, чем от ударов молотков.

- скорость молотков большинства конструкций дробилок находится в пределах 56 ... 70 м/с, что достаточно для начального разрушения зерна влажностью 12 ... 14% одним ударом [45].

Так как зерно представляет собой упруго-пластичное тело, В.И. Сыроватка получил зависимость для определения расхода энергии на процесс его измельчения [45]:

$$A = m v_{II}^2 (1 + k), \quad (1.8)$$

где  $A$  - полная энергия, Дж;  $m$  - масса зерна, кг;  $v_{II}$  - скорость соударения молотка с зерном, м/с;  $k$  - коэффициент восстановления.



В.И. Сыроватка провел анализ процесса движения частицы измельчаемого материала по поверхности решета и определил зависимость ее скорости от диаметра молоткового ротора [45]. Найденная зависимость описывается следующим выражением:

$$v = \frac{v_0}{e^{((2f/D)+\mu_\alpha)S}}, \quad (1.9)$$

где  $v_0$  - начальная скорость движения частицы, м/с;  $f$  - коэффициент трения о поверхность решета;  $D$  - диаметр ротора, м;  $\mu_\alpha$  - коэффициент, учитывающий сопротивление воздуха;  $S$  - путь, проходимый частицей, м.

Из выражения (1.9) В.И. Сыроватка делает вывод, что скорость движения измельчаемого материала уменьшается с уменьшением диаметра ротора.

С.В. Мельников [62], проводя эксперименты по определению минимально необходимой скорости молотков для разрушения зерна одним ударом, получил следующее выражение для расчета скорости:

$$v_m = \sqrt{\frac{60 \cdot 2g \cdot A_{\text{изм}}}{nzm}}, \quad (1.10)$$

где  $A_{\text{изм}}$  - работа, затрачиваемая на процесс измельчения, Дж;  $g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $n$  - частота вращения ротора дробилки,  $\text{с}^{-1}$ ;  $z$  - количество молотков на роторе;  $m$  - масса одного молотка, кг.

Проведенные расчеты показали, что рассчитываемая по формуле (1.10) скорость молотков превышает в 8 раз действительную скорость, равную 40 ... 75 м/с. Отсюда следует, что разрушение зерна в молотковой дробилке происходит при многократном ударном воздействии молотков [45].

Исходя из того, что разрушение зерна происходит при многократном ударном воздействии, С.В. Мельниковым было получено выражение для определения величины разрушающей скорости [45]:

$$v_{\text{разр}} = \sqrt{\frac{k_d \sigma_{\text{ст}}}{\rho} (0,81 + 2,3 \lg \lambda)}, \quad (1.11)$$

где  $k_d$  - коэффициент динамичности, для зернового материала  $k_d = 1,4 \dots 2$ ;  $\sigma_{ст}$  - статический предел прочности;  $\rho$  - плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\lambda$  - заданная степень измельчения материала.

Изложенные теории измельчения рассматривают механизм разрушения зернового материала, поэтому они мало применимы для измельчения лузги в виду ее специфических физико-механических свойств. Отсутствие такой теории может затруднить обобщение экспериментальных исследований, которые направлены на выявление сложных зависимостей между основными факторами измельчения, а также модернизацией конструктивно-технологической схемы молотковой дробилки [68].

## 1.6 Выводы. Цель и задачи исследований

Проведенный анализ литературных источников показал, что лузга представляет большую ценность как вторичное сырье для дальнейшего использования в различных видах производства. В то же время для наиболее эффективного взаимодействия с другими компонентами лузгу необходимо измельчить.

Анализ существующих измельчающих машин показал, что основными машинами для измельчения различных сельскохозяйственных материалов являются молотковые дробилки. Существующие в настоящее время конструкции молотковых дробилок мало применимы для измельчения лузги, за счет чего снижается их производительность и увеличивается энергоемкость процесса измельчения.

Равномерная подача материала к рабочим органам молотковой дробилки позволяет повысить качество измельчения. С целью выявления наиболее перспективной конструктивно-технологической схемы питающего устройства был проведен их анализ, который показал, что питатели барабанного типа с желобами,

выполненными по винтовой линии, наиболее полно удовлетворят предъявляемым к ним требованиям.

На основании анализа проведенных теорий и исследований процесса измельчения сыпучих материалов можно сделать вывод, что они мало применимы для измельчения лузги в виду ее специфических физико-механических свойств.

В связи с этим **целью** повышение производительности и снижение энергоемкости процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур за счет модернизации молотковой дробилки.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих **задач**:

1. Провести анализ существующих сельскохозяйственных измельчающих машин и разработать конструктивно-технологическую схему молотковой дробилки для измельчения лузги крупяных и масличных культур;

2. Теоретически исследовать влияние конструктивно-режимных и технологических параметров молотковой дробилки на производительность и энергоемкость процесса измельчения;

3. Экспериментально исследовать влияние конструктивно-режимных параметров модернизированной молотковой дробилки на качественные и энергетические показатели готового продукта;

4. Провести производственные испытания молотковой дробилки и дать оценку технико-экономической эффективности от внедрения ее в производство.

## ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЛУЗГИ В МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКЕ

### 2.1 Обоснование перспективной конструктивно-технологической схемы молотковой дробилки

Анализ существующих конструкций молотковых дробилок позволяет сделать вывод, что они не могут обеспечить качественное и эффективное измельчение лузги крупяных и масличных культур. Низкая насыпная плотность, высокий коэффициент внутреннего и внешнего трения приводят к плохой сыпучести лузги и неравномерной ее подаче к рабочим органам дробилки, в результате чего увеличивается энергоемкость процесса измельчения и снижается производительность.

Основываясь на проведенных исследованиях на кафедре «Механика и инженерная графика» Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова была разработана перспективная конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки [79, 93, 94] с питающим устройством, позволяющим равномерно подавать измельчаемый материал к молотковому ротору дробилки [30, 92].

Разработанная конструкция молотковой дробилки позволяет равномерно подавать измельчаемый материал к его рабочим органам, за счет чего снижается динамическая нагрузка на вал ротора дробилки. Так же снижается энергоемкость процесса измельчения и увеличивается производительность.

Молотковая дробилка (рисунок 2.1) состоит из цилиндрического корпуса 1 с загрузочным бункером 2 и выгрузным окном 3, дробильной камерой 4. Внутри корпуса установлены соосно с ним ротор 5 с шарнирно закрепленными посредством пальцев 6 молотками 7.

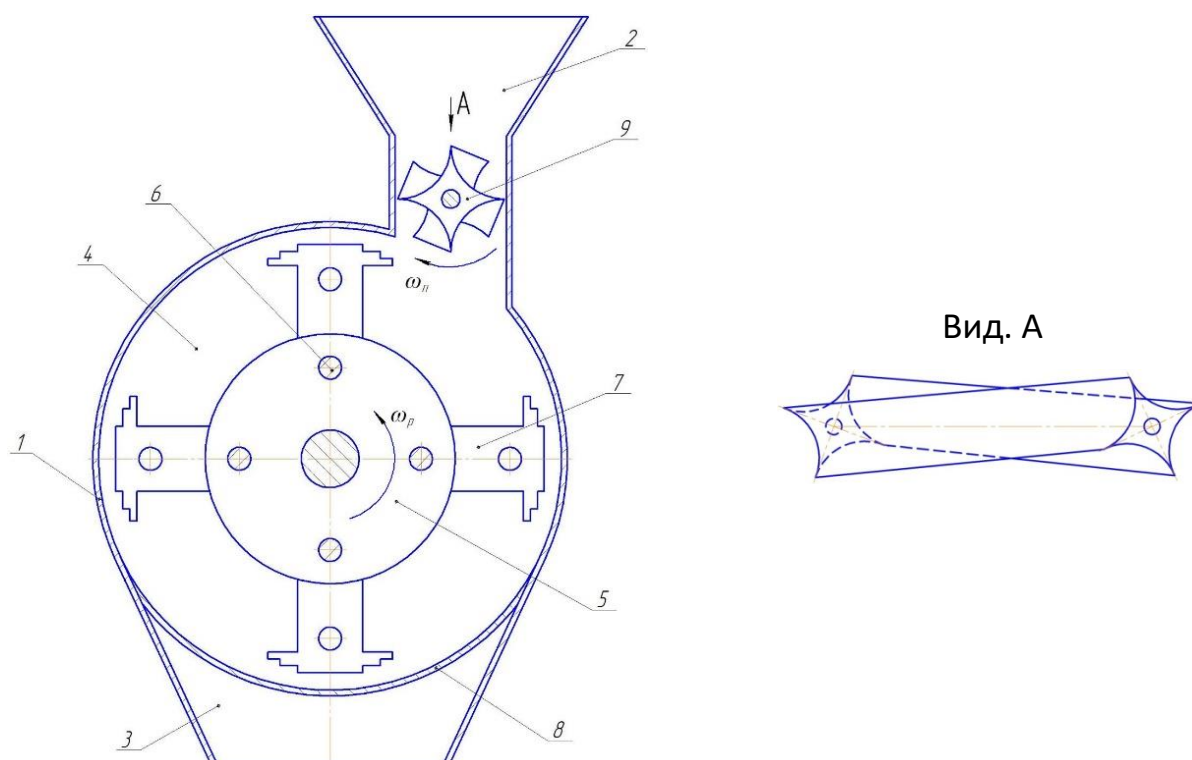


Рисунок 2.1 – Молотковая дробилка:

1 – цилиндрический корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – выгрузное окно; 4 – дробильная камера; 5 – ротор; 6 – палец; 7 – молоток; 8 – решето; 9 – питающее устройство

Так же в цилиндрическом корпусе 1 напротив выгрузного окна 3 установлено решето 8. В горловине загрузочного бункера 2 смонтировано питающее устройство 9, представляющее собой цилиндр с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга.

Предлагаемое питающее устройство 9 отвечает следующим основным требованиям: осуществляет равномерную подачу измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки; обеспечивает предварительное подпрессовывание измельчаемого материала перед попаданием в дробильную камеру; обеспечивает необходимую пропускную способность и герметичность.

Работа питающего устройства осуществляется от индивидуального привода с регулятором числа оборотов.

Молотковая дробилка работает следующим образом.

Из бункера накопителя лузга поступает в загрузочный бункер 2, откуда посредством питающего устройства 9, попадает в цилиндрический корпус 1 с дробильной камерой 4, где вовлекается во вращательное движение и под действием центробежных сил накапливается в рабочей зоне молотков 7, шарнирно закрепленных посредством пальцев 6 на роторе 5. Попадая на рабочую поверхность молотков 7, лузга за счет удара измельчается. Частично измельченная лузга под действием скорости, сообщенной молотками 7, ударяются с большой скоростью о корпус дробилки, а также решето 8. Через отверстия решета 8 измельченная лузга удаляется из дробильной камеры в выгрузное окно 3.

Частицы, размеры которых меньше размеров отверстий решета 8, проходят эти отверстия и через выгрузное окно 3 удаляются из дробилки. Более крупные частицы, не прошедшие через отверстия решета 8, подвергаются дополнительному измельчению.

Молоток [73, 93, 94] (рисунок 2.2) представляет собой пластину 1, вдоль которой расположены отверстия 2 для его крепления, выступы 3, радиусы от вершин которых до точки подвеса равны.

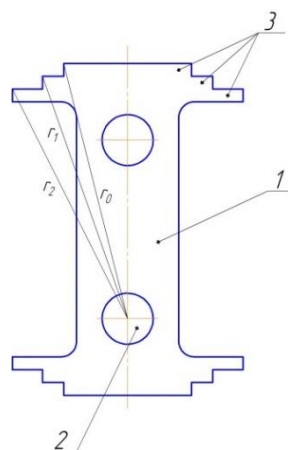


Рисунок 2.2 – Молоток дробилки

Исследуемая молотковая дробилка представляет собой совокупность нескольких отдельных, но взаимосвязанных технологическим процессом объектов, каждый из которых выполняет определенные технологические операции, на которые оказывают значительное влияние входные и выходные параметры [68].

Таким образом, исследуемая молотковая дробилка можно представить, состоящим из следующих элементов: загрузочного бункера с питающим устройством, измельчающего аппарата с экспериментальными рабочими органами, решетом и выгрузной горловиной.

Входными параметрами, влияющими на рабочий процесс загрузочного бункера с питающим устройством, являются: физико-механические свойства измельчаемого материала (влажность  $W$ , насыпная плотность  $\rho$ ), конструктивные и режимные параметры питающего устройства (коэффициент использования объема желоба питающего устройства  $K_V$ , частота вращения вала питающего устройства  $n_{\Pi}$ , количество желобов  $z_{\text{ж}}$ ) [68].

Выходными параметрами, определяющими работу питающего устройство, подающего материала к измельчающему аппарату, являются: величина подачи  $Q_{\Pi}$  затраты мощности на подачу измельчаемого материала  $P_{\text{под}}$ , энергоемкость процесса подачи  $E_{\text{под}}$  и неравномерность подачи  $\Delta q$ .

Входными параметрами, оказывающими влияние на работу измельчающего аппарата, являются конструктивные и режимные параметры рабочих органов (количество молотков  $z_{\text{м}}$ , форма рабочей поверхности молотков  $\Phi_{\text{м}}$ , окружная скорость молотков  $v_{\text{м}}$ ) [68, 70].

Выходными параметрами молотковой дробилки, на основе которых проводится оценка ее рабочего процесса, являются: производительность  $Q$ , затраты мощности на процесс измельчения  $P_{\text{и}}$ , энергоемкость процесса измельчения  $E$  и коэффициент качества готового продукта  $K_{\text{к}}$ .

Таким образом, для упрощения теоретических исследований процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур молотковой дробилкой нами было принято решение условно разделить устройство на отдельные объекты, а их взаимодействие в системе, впоследствии, описать при помощи дополнительных зависимостей.

## 2.2 Теоретические исследования рабочего процесса питающего устройства

### 2.2.1 Анализ неравномерности подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки

Масса измельчаемого материала  $m$ , подаваемая за один оборот питающего устройства, можно определить по формуле [68]:

$$m = \int_0^{2\pi R_{\Pi}} q \cdot dl_o, \quad (2.1)$$

где  $q$  - функция распределения массы по длине ротора питающего устройства, кг/м;  $l_o$  - длина окружности питающего устройства, м.

Выполнив усреднение подынтегральной функции:

$$\bar{q} = \frac{1}{2\pi R_{\Pi}} \int_0^{2\pi R_{\Pi}} q \cdot d2\pi R_{\Pi}, \quad (2.2)$$

можно записать:

$$m = \bar{q} 2\pi R_{\Pi} = \rho K_V V_{\text{ж}}, \quad (2.3)$$

где  $\rho$  - насыпная плотность измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $K_V$  - коэффициент использования объема желоба ( $K_V = 0,95$ );  $V_{\text{ж}}$  - объем одного желоба питающего устройства, м<sup>3</sup>.

Подача материала к рабочим органам молотковой дробилки будет равномерной, только в том случае, когда масса материала в желобе питающего устройства будет одинаковой, кроме того, для выполнения условия равномерности подачи необходимо, чтобы скорость вращения вала питающего устройства и рабочих органов молотковой дробилки соответствовали друг другу, т.е. [68, 70]:

$$q = \frac{v_{\Pi} S_{\text{пот}} \rho}{v_{\text{м}}}, \quad (2.4)$$

где  $v_{\Pi}$  - окружная скорость вращения питающего устройства, м/с;  $S_{\text{пот}}$  - площадь поперечного сечения потока материала, м<sup>2</sup>;  $v_{\text{м}}$  - окружная скорость молотков, м/с.



Выражение (2.4) можно принять в качестве условия равномерности процесса подачи измельчаемого материала питающим устройством к рабочим органам молотковой дробилки.

Следует отметить, что математическая модель (2.4), требует уточнений путем введения коэффициентов, учитывающих неполное заполнение объема желоба питающего устройства и т.п., которые имеют место в рабочем процессе питателя [68].

На основании математической модели (2.4) условие равномерности подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки в общем случае можно считать [68]:

$$q = \varphi(\rho, S_{\text{пот}}, v_{\text{п}}, v_{\text{м}}). \quad (2.5)$$

Полный дифференциал функции (2.5) имеет вид:

$$dq = \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial \varphi}{\partial S_{\text{пот}}} dS_{\text{пот}} + \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{п}}} dv_{\text{п}} + \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{м}}} dv_{\text{м}}. \quad (2.6)$$

Частные производные функции (2.6) характеризуют влияние отклонений соответствующего технического, эксплуатационного или режимного параметра на рассеивание материала при его подаче к рабочим органам молотковой дробилки [68].

Частные производные функции (2.6) имеют вид:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} = \frac{S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial S_{\text{пот}}} = \frac{\rho v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{п}}} = \frac{\rho S_{\text{пот}}}{v_{\text{м}}}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{м}}} = \frac{\rho S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}^2}. \quad (2.7)$$

При замене в выражении (2.7) дифференциалов соответствующими приращениями и принимая значения частных производных по абсолютной величине, получим формулу для определения влияния технологических и эксплуатационных параметров на суммарную неравномерность подачи материала [68, 114]:

$$\Delta q = \Delta q_{\rho} + \Delta q_{S_{\text{пот}}} + \Delta q_{v_{\text{п}}} + \Delta q_{v_{\text{м}}}, \quad (2.8)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta q_{\rho} = \frac{S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}} = \Delta \rho; \\ \Delta q_{S_{\text{пот}}} = \frac{\rho v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}} = \Delta S_{\text{пот}}; \\ \Delta q_{v_{\text{п}}} = \frac{\rho S_{\text{пот}}}{v_{\text{м}}} = \Delta v_{\text{п}}; \\ \Delta q_{v_{\text{м}}} = \frac{\rho S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}^2} = \Delta v_{\text{м}}. \end{array} \right. \quad (2.9)$$

В равенстве (2.8)  $\Delta q$  характеризует общую неравномерность процесса подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки, а члены  $\Delta q_{\rho}$ ,  $\Delta q_{S_{\text{пот}}}$ ,  $\Delta q_{v_{\text{п}}}$  и  $\Delta q_{v_{\text{м}}}$  определяют неравномерность подачи материала, обусловленные, соответственно отклонениями насыпной плотности измельчаемого материала, площади поперечного сечения потока материала, окружной скорости вращения питающего устройства и молотков дробилки от номинальных значений соответствующих параметров.

### 2.2.2 Определение величины подачи измельчаемого материала питающим устройством к рабочим органам молотковой дробилки

Для оценки количественного показателя работы питающего устройства требуется определение его величины подачи, то есть производительности по подаче. Теоретически величина подачи питателей барабанного типа с вращающимся рабочим органом определяется по формуле [30, 62, 69, 92]:

$$Q = 60 F_{\text{ж}} l z_{\text{ж}} n_{\text{п}} \rho, \text{ кг/ч}; \quad (2.10)$$

где  $F_{\text{ж}}$  – площадь поперечного сечения желоба, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина вала ротора питающего устройства, м;  $z_{\text{ж}}$  – количество желобов;  $n_{\text{п}}$  – частота вращения вала питающего устройства, мин<sup>-1</sup>;  $\rho$  – насыпная плотность измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (2.10) видно, что величина подачи питающего устройства зависит от площади поперечного сечения рабочего желоба.

Так как, предлагаемое нами питающее устройство представляет собой цилиндр с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга, тогда объем измельчаемого материала, заполнившего желоб (рисунок 2.3):

$$V_{\text{ж}} = F_{\text{ж}} l_{\text{п}},$$

где  $l_{\text{п}} = 1,2l$ ,  $l$  - длина вала ротора питающего устройства, м.

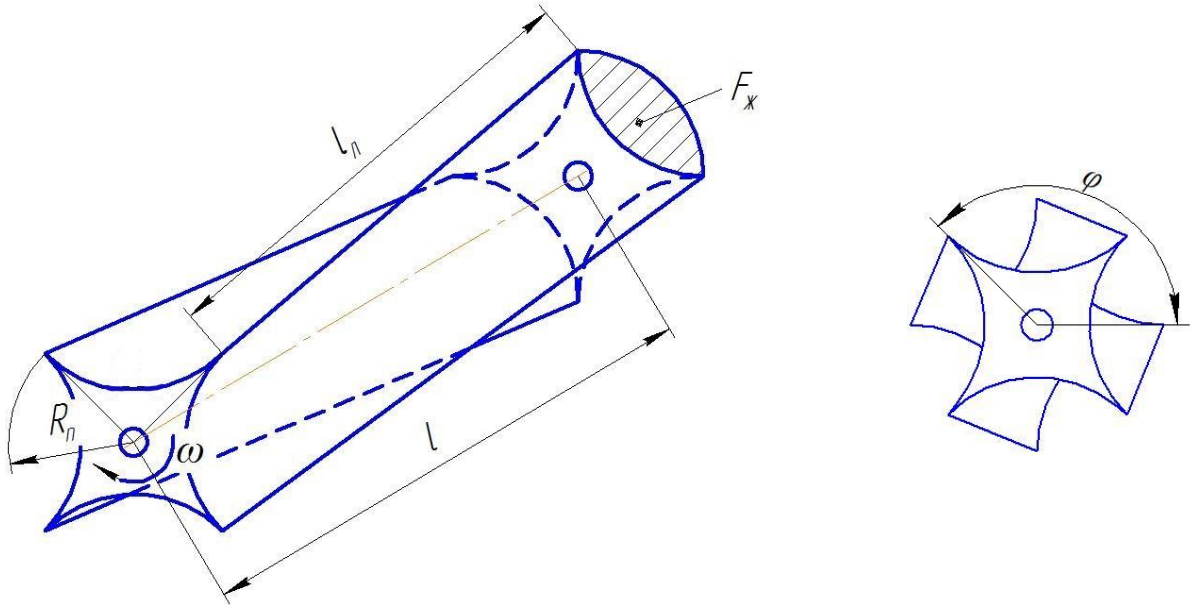


Рисунок 2.3 – Схема к определению величины подачи питающего устройства

Общая масса измельчаемого материала, попавшего в желоб устройства (на рисунке 2.3 изображена штриховкой) можно определить по формуле:

$$F_{\text{ж}} = R_{\text{п}}^2 \left( \frac{\pi \varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right), \quad (2.11)$$

где  $\varphi$  - угол между двумя повернутыми лопастями,  $\varphi = 135^\circ$ ;  $R_{\text{п}}$  - радиус барабана питающего устройства, м.

Подставим выражение (2.11) в (2.10), получим формулу для определения величины подачи предлагаемого нами питающего устройства:

$$Q_{\text{п}} = 60 l_{\text{п}} R_{\text{п}}^2 \left( \frac{\pi \varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right) z_{\text{ж}} n_{\text{п}} \rho K_{\text{в}} K_{\text{п}}, \quad (2.12)$$

где  $K_V$  - коэффициент заполнения объема желоба питающего устройства, характеризует степень использования объема желоба,  $K_V = 0,97$ ;  $K_{II}$  - коэффициент подпрессовывания измельчаемого материала, зависит от вида измельчаемого материала,  $K_{II} = 1,5 \dots 3$ .

График теоретической зависимости величины подачи  $Q_{II}$  от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{II}$  получен из аналитического выражения (2.12).

Зависимость величины подачи  $Q_{II}$  от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{II}$  для лузги проса, гречихи и подсолнечника представлена на рисунке 2.4.

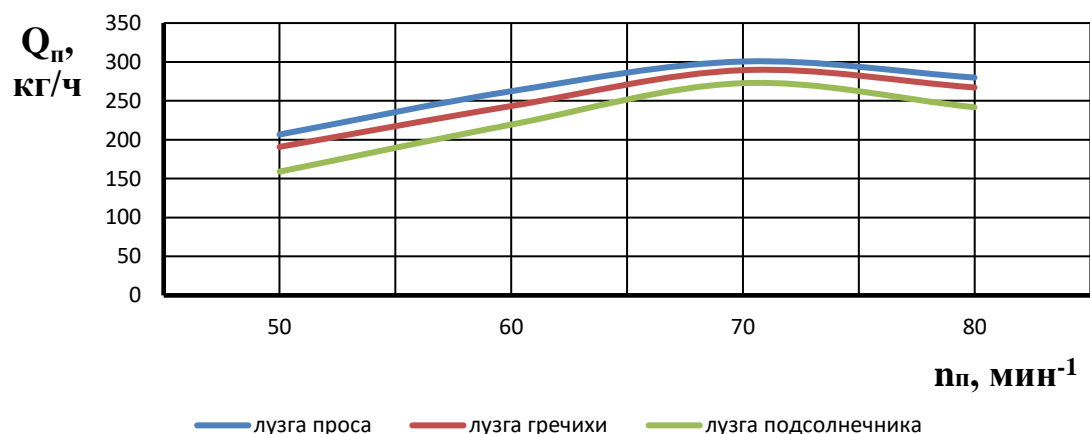


Рисунок 2.4 – Теоретическая зависимость величины подачи  $Q_{II}$  от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{II}$

Как видно из рисунка 2.4, что с увеличением частоты вращения вала питающего устройства до  $70 \text{ мин}^{-1}$  увеличивается и подача. Дальнейшее увеличение влечет за собой падение величины подачи так как насыпная плотность измельчаемого материала довольно низкая до  $300 \text{ кг/м}^3$ , то чем больше частота вращения, тем меньше происходит заполнение желоба питающего устройства.

### 2.2.3 Обоснование выбора конструкции питающего устройства и анализ влияния его параметров на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки

С целью определения основных конструктивно-режимных и технологических параметров питающего устройства, подающего исходный материал к рабочим органам молотковой дробилки, возникла необходимость проведения теоретических исследований данного процесса.

Одними из основных параметров, влияющих на процесс подачи, являются: частота вращения вала питающего устройства; скорость ввода измельчаемого материала в дробильную камеру; траектория движения частицы к рабочим органам дробилки.

Рассмотрим рабочий процесс молотковой дробилки с питающим устройством. Для этого примем следующие допущения [36]:

- масса материала, заполняющего элементарный сектор желоба питающего устройства, сосредоточена в одной точке и в дальнейшем будет рассматриваться как движение материальной точки;

- частица приводится в движение посредством воздействия на нее лопасти желоба питающего устройства;

- материал полностью заполняет элементарный сектор желоба;

Питающее устройство вращается с угловой скоростью  $\omega_{\Pi}$  и подает массу измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки со скоростью  $v_{\text{и.м.}}$ . Одновременно с этим ротор молотковой дробилки вращается с угловой скоростью  $\omega_p$ . В какой-то момент времени частица достигнет молотка, шарнирно-закрепленного на роторе, затем ее движение будет зависеть от кинематических параметров молоткового ротора дробилки. Следовательно, для изучения траектории движения частицы после схода ее с лопасти питающего устройства необходимо изучить влияние его конструктивно-режимных и технологических

параметров на значение и направление скорости ввода частиц измельчаемого материала.

Рассмотрим более подробно рабочий процесс питающего устройства.

Рабочий процесс питающего устройства можно разделить на три этапа [17].

Первый этап – вхождение лопасти желоба питающего устройства в массу измельчаемого материала и одновременный ее захват.

Процесс отделения порции измельчаемого материала можно сравнить с процессом фрезерования, при этом в нашем случае, роль зубьев выполняют лопасти желоба питающего устройства. Траекторию движения лопасти желоба можно принять за дугу окружности, описываемой ее концом.

В первоначальный момент внедрения происходит частичное смятие и захват массы измельчаемого материала лопастью желоба питающего устройства.

Разрушение и отделение от основной массы измельчаемого материала в желоб питающего устройства происходит в горизонтальной плоскости от сжатия его лопастью. Так как на отделяемую массу действует сила давления  $P$ , то ее горизонтальная составляющая  $P_x$  уменьшает силы сцепления основной массы, а вертикальная составляющая  $P_y$  отделяет измельчаемый материал от основной массы (рисунок 2.5).

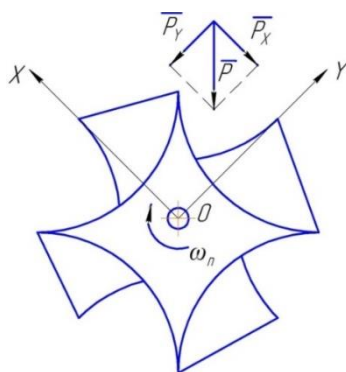


Рисунок 2.5 – Действие силы давления на массу измельчаемого материала в процессе ее захвата лопастью питающего устройства

Процесс отделения измельчаемой массы от основной и перемещение ее к месту разгрузки тесно связан между собой. В процессе отделения измельчаемого

материала лопастью желоба часть его обрушивается и захватывается следующей лопастью.

Второй этап – перемещение порции массы измельчаемого материала лопастью желоба питающего устройства относительно стенки горловины бункера до выгрузного окна.

Во время работы питающее устройство вращается с угловой скоростью  $\omega_{\Pi}$ , перемещая массу измельчаемого материала относительно стенки горловины бункера в сторону выгрузного окна, при этом происходит частичное подпрессовывание материала. Частицы, расположенные на наружной поверхности питающего устройства, будут поступать к рабочим органам молотковой дробилки со скоростью  $v_{\text{и.м.}}$ :

$$v_{\text{и.м.}} = \omega_{\Pi} \cdot R_{\Pi},$$

где  $R_{\Pi}$  - радиус питающего устройства, м.

Третий этап – разгрузка измельчаемого материала с лопасти желоба питающего устройства к рабочим органам молотковой дробилки. По мере поворота вала питающего устройства, порция материала, заполнившего желоб, начинает перемещаться вдоль его лопасти с относительной скоростью  $v_{\text{отн}}$ .

Самым основным из трех этапов рабочего процесса питающего устройства является процесс разгрузки.

Рассмотрим момент начала процесса сбрасывания массы измельчаемого материала  $m$  с лопасти питающего устройства. В данный момент на частицу измельчаемого материала в плоскости лопасти будут действовать следующие силы (рисунок 2.6):  $\overline{G} = m\overline{g}$  - сила тяжести;  $\overline{F}_u = m\omega_{\Pi}^2 \cdot \overline{r}_0$  - центробежная сила инерции;  $\overline{F}_K = 2m\omega_{\Pi} \overline{v}_{\text{отн}}$  - Кориолисова сила инерции;  $\overline{F}_{\text{мп}} = f\overline{N}$  - сила трения частицы о лопасть;  $N$  - сила, прижимающая частицу к лопасти питающего устройства (равна сумме составляющих Кориолисовой силы инерции, силы тяжести и центробежной силы инерции на плоскость, перпендикулярную плоскости лопасти)  $r_0$  - расстояние от оси вращения до частицы измельчаемого материала;  $f$  -

коэффициент трения массы измельчаемого материала о лопасть желоба питающего устройства.

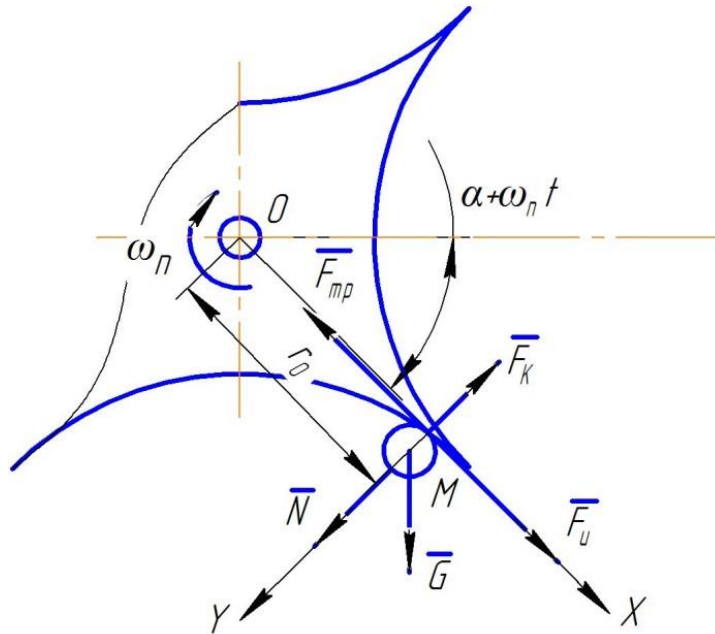


Рисунок 2.6 – Процесс разгрузки измельчаемого материала с лопасти питающего устройства

Составим дифференциальные уравнения движения точки в проекциях на оси  $X$  и  $Y$ :

$$m \frac{dv_x}{dt} = \sum F_x ;$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = \sum F_y ;$$

$$\sum F_x = F_u - F_{мп} + G \sin(\alpha + \omega_{п} t),$$

$$\sum F_y = N + G \cos(\alpha + \omega_{п} t) - F_k,$$

(2.13)

где  $\omega_{п} t$  - угол поворота лопасти за время  $t$ , рад.

Силу, прижимающая частицу к лопасти питающего устройства  $N$  определим исходя из условия, что материальная точка не имеет возможности перемещения в направлении оси  $Y$ :

$$N = F_k - G \cos(\alpha + \omega_{п} t).$$



Условие сбрасывания частиц измельчаемого материала с лопасти питающего устройства будет иметь вид [92, 100, 114, 116]:

$$\sum F_x \geq F_{\text{тр}},$$

где  $\sum F_x$  - сумма всех сил, действующих на частицу измельчаемого материала вдоль оси лопасти питающего устройства.

$$m\omega_{\text{п}}^2 r_0 + mg \sin(\alpha + \omega_{\text{п}} t) \geq f(2m\omega_{\text{п}} v_{\text{омн}} - mg \cos(\alpha + \omega_{\text{п}} t)). \quad (2.14)$$

После преобразования выражения (2.14) получим выражение для определения угла поворота лопасти желоба, при котором происходит его полная разгрузка от массы измельчаемого материала:

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{\cos \psi (\omega_{\text{п}}^2 r_0 - 2f\omega_{\text{п}} v_{\text{омн}})}{g} \right] + \psi, \quad (2.15)$$

где  $\psi$  - угол трения массы измельчаемого материала о лопасть желоба питающего устройства, град.

Из выражения (2.15) видно, что угол разгрузки лопасти зависит от угловой скорости вращения питающего устройства  $\omega_{\text{п}}$  и коэффициента трения массы измельчаемого материала о лопасть желоба питающего устройства  $f$ .

Для определения относительной скорости  $v_{\text{омн}}$  движения массы измельчаемого материала в дробильную камеру, составим дифференциальное уравнение движения частиц материала по поверхности лопасти желоба, которое с учетом всех действующих на нее внешних сил имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{F}_u + \bar{F}_K + \bar{G} + \bar{F}_{\text{мп}}, \quad (2.16)$$

После преобразования уравнение (2.16) можно записать в виде:

$$ma = m\omega_{\text{п}}^2 \cdot r_0 + mg \sin(\alpha + \omega_{\text{п}} t) - 2fm\omega_{\text{п}} \cdot v_{\text{омн}} + fmg \cos(\alpha + \omega_{\text{п}} t). \quad (2.17)$$

Уравнение (2.17) составлено из условий, при которых движение частицы измельчаемого материала по лопасти питающего устройства будет происходить в вертикальной плоскости, то есть в этом случае имеет место плоская система сил. Преобразовав уравнение (2.17), получим:

$$\ddot{r} + 2f\omega_{\Pi}\dot{r} - \omega_{\Pi}^2 r = g(\sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + f \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t)). \quad (2.18)$$

Уравнение (2.18) представляет собой линейное неоднородное дифференциальное уравнение 2-го порядка.

Общее решение данного уравнения имеет вид:

$$r = r_1 + r_2, \quad (2.19)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  - соответственно общее и частное решение линейного неоднородного дифференциального уравнения.

Общее решение дифференциального уравнения имеет вид:

$$r_1 = e^{kt}.$$

Запишем характеристическое уравнение выражения (2.18):

$$k^2 + 2f\omega_{\Pi} \cdot k - \omega_{\Pi}^2 = 0. \quad (2.20)$$

Найдем корни уравнения (2.20):

$$k_{1,2} = -\omega_{\Pi} (f \pm \sqrt{f^2 + 1}). \quad (2.21)$$

Корни характеристического уравнения (2.17) действительны и различны, отсюда общее решение данного уравнения будет иметь вид:

$$r_1 = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t}. \quad (2.22)$$

Частное решение уравнения (2.18) находим, представляя правую его часть в виде:

$$r_2 = A \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + B \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t) + C. \quad (2.23)$$

Для нахождения частного решения дифференциального уравнения (2.18) необходимо взять первую и вторую производные выражения (2.23):

$$\begin{aligned} \dot{r}_2 &= A\omega_{\Pi} \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t) - B\omega_{\Pi} \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t), \\ \ddot{r}_2 &= -A\omega_{\Pi}^2 \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) - B\omega_{\Pi}^2 \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t). \end{aligned} \quad (2.24)$$

Для определения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$  подставим значения  $r_2$ ,  $\dot{r}_2$  и  $\ddot{r}_2$  в выражение (2.18) и, преобразовав его, получим:

$$\begin{aligned} (-2A\omega_{\Pi}^2 - 2f\omega_{\Pi}^2 B) \cdot \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + (2f\omega_{\Pi}^2 A - B\omega_{\Pi}^2) \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t) - \omega_{\Pi}^2 C = g \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + \\ + fg \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t). \end{aligned}$$

В полученном уравнении приравняем коэффициенты левой и правой части, получим:

$$\begin{cases} -2A\omega_n^2 - 2Bf\omega_n^2 = g, \\ -2B\omega_n^2 + 2Af\omega_n^2 = fg, \\ \omega_n^2 C = 0. \end{cases}$$

Решая данную систему относительно коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$ , находим:

$$A = -\frac{g(f^2 - 1)}{2\omega_n^2(f^2 + 1)}; \quad B = -\frac{fg}{\omega_n^2(1 + f^2)}; \quad C = 0.$$

Подставляя полученные значения коэффициентов в выражение (2.23), получим:

$$r_2 = -\frac{g(f^2 - 1)}{2\omega_n^2(f^2 + 1)} \sin(\alpha + \omega_n t) - \frac{fg}{\omega_n^2(1 + f^2)} \cos(\alpha + \omega_n t)$$

Общее решение линейного неоднородного дифференциального уравнения будет иметь вид:

$$r = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + A \sin(\alpha + \omega_n t) + B \cos(\alpha + \omega_n t) \quad (2.25)$$

Продифференцировав уравнение (2.25), получим формулу для вычисления относительной скорости движения частиц материала по лопасти питающего устройства:

$$v_{\text{отн}} = \dot{r} = C_1 k_1 e^{k_1 t} + C_2 k_2 e^{k_2 t} + A \omega_n \cos(\alpha + \omega_n t) - B \omega_n \sin(\alpha + \omega_n t). \quad (2.26)$$

Значения коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$  определим путем частного решения системы, состоящей из уравнений (2.25) и (2.26) и удовлетворяющей начальным условиям при  $t = 0$ ,  $\dot{r} = v_{\text{отн}} = 0$ :

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\omega_n (A \cos \alpha - B \sin \alpha) + k_2 (A \sin \alpha + B \cos \alpha) - r_0 k_2}{k_1 - k_2}; \\ C_2 &= \frac{k_1 (r_0 - A \sin \alpha - B \cos \alpha) + A \omega_n \cos \alpha - B \omega_n \sin \alpha}{k_1 - k_2}. \end{aligned} \quad (2.27)$$

## 2.2.4 Определение траектории движения массы измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки

На массу измельчаемого материала  $m$ , движущуюся после схода с лопасти желоба питающего устройства, действуют две силы [30, 59, 92, 100, 114]: сила тяжести  $G = mg$  и сила аэродинамического сопротивления среды  $F_c = k_{\Pi} v_{\text{омн}}^2$  (где  $k_{\Pi}$  - коэффициент парусности, для лузги подсолнечника  $k_{\Pi} = 3,16 - 4,13 \text{ м}^{-1}$ , для лузги гречихи  $k_{\Pi} = 3,69 - 5,8 \text{ м}^{-1}$ , для лузги проса  $k_{\Pi} = 2,45 - 8,1 \text{ м}^{-1}$ ). Сила аэродинамического сопротивления среды направлена в сторону, противоположную направлению скорости ввода измельчаемого материала в дробильную камеру  $v_{\text{и.м.}}$ . Следовательно, равнодействующая этих сил равна:  $mg - k_{\Pi} v_{\text{омн}}^2$ . С другой стороны, величина действующая на частицу, пропорциональна ускорению движения и равна  $ma$ .

Тогда:

$$ma = mg - k_{\Pi} v_{\text{омн}}^2. \quad (2.28)$$

Если путь, считая от начала отсчета, равен  $s$ , то скорость  $v = \frac{ds}{dt}$ , и при прямолинейном движении  $a = \frac{d^2s}{dt^2}$ ; равенство (2.28) примет вид:

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = mg - k_{\Pi} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2. \quad (2.29)$$

Преобразуем уравнение (2.29):

$$m \frac{dv}{ds} v = mg - k_{\Pi} v^2,$$

или

$$\frac{m v dv}{mg - k_{\Pi} v^2} = ds,$$

откуда

$$\int \frac{m v dv}{mg - k_{\Pi} v^2} = \int ds,$$

или

$$-\frac{m}{2k} \ln |mg - k_{\text{п}} v^2| + C = s. \quad (2.30)$$

Пусть в начальный момент времени  $t = 0$  частица находилось в начале пути, т.е.  $s = 0$ , и начало падать с начальной скоростью, равной нулю, т.е.  $v = 0$ .

Подставим в уравнение (2.30)  $s = 0$  и  $v = 0$ , определим  $C$ :

$$-\frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln mg + C = 0, \quad C = \frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln mg.$$

Таким образом:

$$-\frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln |mg - k v^2| + \frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln mg = s,$$

или

$$s = \frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\text{п}} v^2} \right|.$$

Так как  $\frac{ds}{dt} = v$ , то:

$$s = \frac{m}{2k_{\text{п}}} \ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\text{п}} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2} \right|. \quad (2.31)$$

Уравнение (2.31) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка. Решаем его относительно  $\frac{ds}{dt}$ :

$$\ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\text{п}} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2} \right| = \frac{2k_{\text{п}} s}{m}.$$

Так как частица падает, то согласно уравнению (2.30)  $m \frac{d^2 s}{dt^2} > 0$ ; следовательно:

$$mg - k_{\Pi} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2 > 0 \text{ и } \frac{mg}{mg - k_{\Pi} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2} > 0,$$

поэтому имеем:

$$\frac{mg}{mg - k_{\Pi} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2} = e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}}, \quad \frac{mg - k_{\Pi} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2}{mg} = e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}}, \quad \frac{ds}{dt} = \pm \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}} \left( 1 - e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}} \right)}.$$

Так как  $s$  возрастающая функция  $t$ , то  $\frac{ds}{dt} > 0$ ,. Поэтому перед корнем берем

знак плюс:

$$\frac{ds}{dt} = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}} \left( 1 - e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}} \right)}.$$

Разделив переменные, получим:

$$\frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}}}} = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} dt,$$

отсюда

$$\int \frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}}}} = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t + C. \quad (2.32)$$

Интеграл в левой части равенства (2.32) берем подстановкой:

$$z = e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}}, \quad dz = \frac{k_{\Pi}}{m} e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} ds$$

и тогда

$$ds = \frac{m}{k_{\Pi}} e^{-\frac{k_{\Pi}s}{m}}, \quad dz = \frac{m}{k_{\Pi}} \frac{dz}{z}.$$

Таким образом:

$$\begin{aligned} \int \frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{2k_{\Pi}s}{m}}}} &= \frac{m}{k_{\Pi}} \int \frac{dz}{z \sqrt{1 - \frac{1}{z^2}}} = \frac{m}{k_{\Pi}} \int \frac{dz}{\sqrt{z^2 - 1}} = \frac{m}{k_{\Pi}} \ln \left( z + \sqrt{z^2 - 1} \right) = \frac{m}{k_{\Pi}} \ln \left( e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}} - 1} \right) = \\ &= \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t + C. \end{aligned}$$

Подставляя в полученное равенство начальные условия  $t=0$  и  $s=0$ , получим, что  $C=0$ .

Итак, решение уравнения (2.32):

$$\frac{m}{k_{\Pi}} \ln \left( e^{\frac{k_n s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_n s}{m}} - 1} \right) = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t,$$

отсюда:

$$e^{\frac{k_n s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_n s}{m}} - 1} = e^{\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t}, \quad (2.33)$$

$$\frac{1}{e^{\frac{k_n s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_n s}{m}} - 1}} = e^{-\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t}. \quad (2.34)$$

Умножая числитель и знаменатель левой части равенства (2.34) на выражение:

$$e^{\frac{k_n s}{m}} - \sqrt{e^{\frac{2k_n s}{m}} - 1},$$

получим:

$$e^{\frac{k_n s}{m}} - \sqrt{e^{\frac{2k_n s}{m}} - 1} = e^{-\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t},$$

откуда, учитывая равенство (2.35), получим:

$$e^{\frac{k_n s}{m}} = \frac{e^{\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t} + e^{-\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t}}{2}.$$

Окончательно закон движения частицы к рабочей поверхности молотка будет иметь вид:

$$s = \frac{m}{k_{\Pi}} \ln \frac{e^{\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t} + e^{-\sqrt{\frac{k_n g}{m}} t}}{2}. \quad (2.35)$$

Таким образом, проведенный анализ работы питающего устройства в виде барабана с желобами, противоположные стороны которого повернуты друг относительно друга, позволил установить закон движения массы измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки, выражение (2.35).

### 2.2.5 Определение мощности, затрачиваемой на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки

Для разработки питающих устройств трудносыпучих материалов необходимо выбрать такой режим работы, который обеспечивает минимальные затраты энергии.

Потребная мощность, необходимая для привода питающего устройства определяется из выражения:

$$P_{\text{под}} = M_{\text{кр.п}} \omega_{\text{п}} f_{\text{ц}} + P_{\text{х.х.п.}}, \quad (2.36)$$

где  $M_{\text{кр.п}}$  - крутящий момент на валу питающего устройства, Н·м;  $\omega_{\text{п}}$  - угловая скорость вращения питающего устройства, мин<sup>-1</sup>;  $P_{\text{х.х.п.}}$  - мощность на холостом ходу питающего устройства, Вт;  $f_{\text{ц}}$  - коэффициент сопротивления в цапфах: для подшипников качения ( $f_{\text{ц}} = 0,05$ ).

Крутящий момент на валу питающего устройства можно определить по формуле:

$$M_{\text{п.у.}} = Gr_0(\sin(\alpha + \omega_{\text{п}}t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}}t)), \quad (2.37)$$

где  $G$  - сила тяжести, Н;  $r_0$  - расстояние от оси вращения питающего устройства до частицы измельчаемого материала, м.

Подставим выражение (2.37) в (2.36), получим формулу для вычисления мощности, затрачиваемой на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки:

$$P_{\text{под}} = Gr_0(\sin(\alpha + \omega_{\text{п}}t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}}t))\omega_{\text{п}}f_{\text{ц}} + P_{\text{х.х.п.}}. \quad (2.38)$$



## 2.3 Теоретические исследования процесса измельчения луги предлагаемыми молотками

### 2.3.1 Теоретическое обоснование процесса измельчения луги в зоне загрузки

Качество и степень измельчения материалов в молотковых дробилках в основном определяется следующими факторами:

- окружной скоростью внешних концов молотков (т.е. скоростью удара рабочей поверхности молотка по массе измельчаемого материала);
- числом ударов (т.е. числом оборотов ротора в одну минуту)

На процесс измельчения в молотковых дробилках существенное влияние оказывает форма рабочей поверхности молотка, а также количество материала, потупившее на молоток в единицу времени.

Запас кинетической энергии молотка, от которого зависит дробящий эффект, выражается уравнением [59, 69, 100, 114]:

$$T_M = \frac{m_M v_M^2}{2}, \quad (2.39)$$

где  $T_M$  – кинетическая энергия молотка, Дж;  $m_M$  – масса молотка, кг;  $v_M$  – окружная скорость молотка, м/с.

Данная энергия расходуется на деформацию измельчаемого материала и на преодоление сопротивления воздуха. Очевидно, наибольшие потери энергии молотка будут иметь место во время прохождения его под загрузочной горловиной (рисунок 2.7). Нет оснований утверждать, что в данном случае масса молотка бесконечно велика по сравнению с массой порции материала, соударяющейся с молотком.

Согласно теории удара, энергия удара или работа деформации, если молоток не отклоняется от направления движения, при условии неупругого удара, будет равна [114]:

$$T_{уд} = \frac{m' m_M}{m' + m_M} \cdot \frac{v_{уд}^2}{2}, \quad (2.40)$$

где  $T_{уд}$  – энергия удара, Дж;  $m'$  – масса порции материала, участвующая в соударении с молотком, кг;  $u_{уд}$  – скорость удара, м/с.

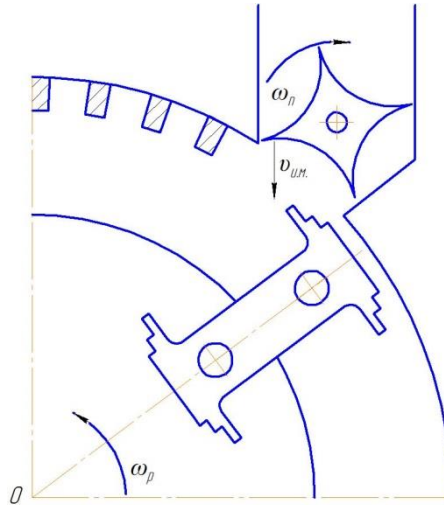


Рисунок 2.7 – Момент прохождения молотка под загрузочной горловиной

В молотковых дробилках около 15% энергии расходуется при измельчении ударом, остальная часть энергии расходуется на измельчение истиранием. Увеличить эффективность измельчения сыпучих материалов возможно путем увеличения энергии за счет удара, и уменьшения ее на истирание [6, 34, 35, 44, 62].

Увеличить энергию удара возможно при использовании предлагаемой нами конструкции молотка [73, 93, 94].

Так как предлагаемый нами молоток (рисунок 2.2) имеет три выступа, радиусы от вершин которых до точки подвеса равны, следовательно, энергия удара каждым из выступов будет одинаковая, тогда выражение (2.40) можно записать в виде:

$$T_{уд} = z_b \frac{m' m_m}{m' + m_m} \cdot \frac{u_{уд}^2}{2}, \quad (2.41)$$

где  $z_b$  – количество выступов на рабочей поверхности молотка.

Как видно из выражения (2.41), что энергия удара предлагаемой конструкцией молотка по сравнению с молотком прямоугольной формы увеличивается в 1,5 раза, при  $z_b = 3$ , за счет чего можно увеличить

производительность молотковой дробилки и снизить энергоемкость процесса измельчения.

Показатели работы молотковой дробилки зависят от конструктивных параметров молотка как основного измельчающего органа, физико-механических свойств измельчаемого материала, степени измельчения, показателей, а качество и эффективность в значительной мере – от разрушающей скорости.

Из анализа факторов, влияющих на эффективность рабочего процесса молотковой дробилки, следует, что наиболее важное значение имеет окружная скорость молотков.

Чтобы получить в дробильной камере действительную скорость соударений молотков с частицей измельчаемого материала, равную разрушающей скорости  $v_{\text{разр}}$ , окружную скорость молотков требуется назначить выше, так как необходимо учесть скорость воздушно-продуктового слоя  $v_{\text{сл}}$ .

Таким образом, окружная скорость молотков может быть определена по формуле:

$$v_{\text{м}} = v_{\text{разр}} + v_{\text{сл}} = v_{\text{разр}} (1 + \beta_{\text{сл}}), \quad (2.42)$$

где  $\beta_{\text{сл}} = \frac{v_{\text{сл}}}{v_{\text{разр}}} = 0,4 \dots 0,5$ .

После удара молотка измельчаемая масса материала ударяется с определенной скоростью об решето и снова попадает под удар молотков. В виду малого зазора между решетом и молотков происходит скалывание частицы, что дополнительно позволяет снизить энергоемкость процесса измельчения.

Минимальную разрушающую скорость при измельчении лузги крупяных и масличных культур можно определить по формуле:

$$v_{\text{разр}} = \sqrt{k_{\text{п}} k_{\text{д}} \ln \lambda / \rho}, \quad (2.43)$$

где  $k_{\text{д}}$  - коэффициент пропорциональности,  $k_{\text{д}} = 1,4 \dots 2,0$ ;  $k_{\text{п}}$  – коэффициент парусности, для лузги подсолнечника  $k_{\text{п}} = 3,16 - 4,13$ , для лузги гречихи  $k_{\text{п}} = 3,69$

- 5,8, для лужки проса  $k_{\text{н}} = 2,45 - 8,1$ ;  $\lambda$  – степень измельчения;  $\rho$  – насыпная плотность измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

### 2.3.2 Определение режимных параметров работы предлагаемой конструкции молотка

Рассмотрим взаимодействие радиально расположенного молотка с частицей измельчаемого материала (рисунок 2.8). Поскольку частота вращения ротора по сравнению со скоростью поступления измельчаемого материала в дробильную камеру невелика, то со стороны молотка по измельчаемой частице наблюдают импульсный удар.

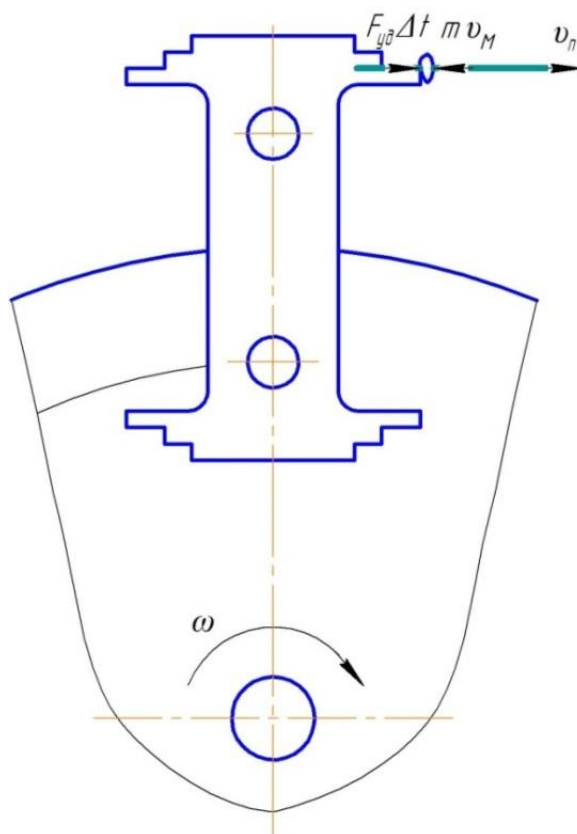


Рисунок 2.8 – Схема воздействия молотка на материал

Используя теорему об импульсивных силах можно записать уравнение удара [69,100, 114]:

$$F_{\text{уд}} \Delta t = m v_{\text{м}},$$

$$F_{\text{уд}} = \frac{m v_{\text{м}}}{\Delta t}, \quad (2.44)$$

где  $F_{\text{уд}}$  – сила удара молотка, Н;  $\Delta t$  – бесконечно малый промежуток времени воздействия молотка с частицей, с;  $m$  – масса измельчаемой частицы, кг;  $v_{\text{м}}$  – окружная скорость молотка, м/с.

Анализ уравнения (2.44) показывает, что изменение силы удара возможно при изменении массы соударяемой частицы или частоты вращения вала ротора молотковой дробилки.

В случае отклонения молотка от радиального положения за счет ударов по частицам измельчаемого материала на угол  $\alpha$  (рисунок 2.9) уравнение (2.44) будет иметь вид:

$$F_{\text{уд}} = \frac{m v_{\text{м}}}{\Delta t} \text{ или } F_{\text{уд}} = \frac{m v_{\text{м}} \cos \alpha}{\Delta t}, \quad (2.45)$$

где  $\alpha$  – угол отклонения молотка от радиального положения.

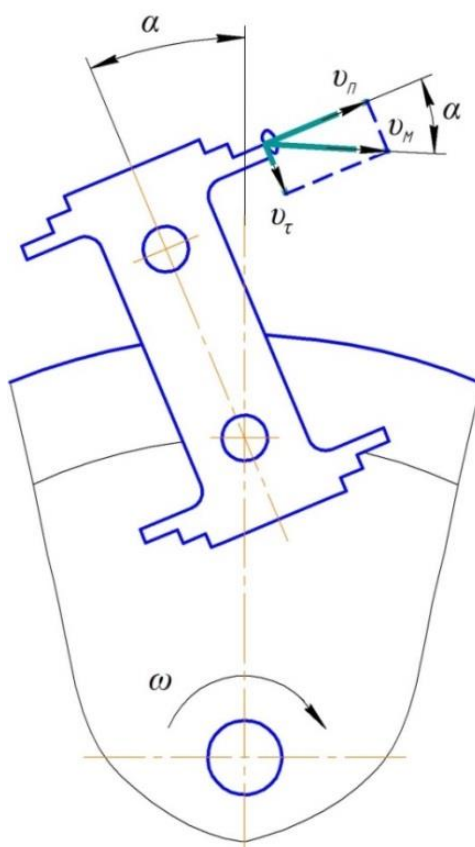


Рисунок 2.9 – Схема косо́го удара

При этом вектор окружной скорости частицы измельчаемого материала  $U_m$ , взаимодействующий с молотком в момент удара, равен по величине скорости точки их соприкосновения. Поэтому импульсный удар будет равен уже произведению массы измельчаемой частицы и нормальной составляющей  $U_n$  от окружной скорости  $U_m$ , в свою очередь  $U_n$  будет равна:

$$U_n = U_m \cos \alpha . \quad (2.46)$$

Судя по уравнению (2.45) при отклонении от радиального положения молотка, сила удара будет слабее, а частица измельчаемого материала будет стремиться к скольжению вдоль грани молотка за счет появления скорости  $U_t$ . Значит, отклонение молотков от радиального положения при измельчении материала снижает эффективность работы дробилки.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что шарнирно подвешенные на роторе молотки, во время работы должны находиться в радиальном положении. Это может быть обеспечено за счет действия центробежных сил при соответствующей частоте вращения ротора. Рассматривая взаимодействие молотков на массу измельчаемого материала, а также выясним условие равновесия, исходя из устойчивости вращения [6]. Для этого изобразим молоток в положении, отклоненном от радиального, и приведем все основные силы, взаимодействующие с ним во время работы (рисунок 2.10).

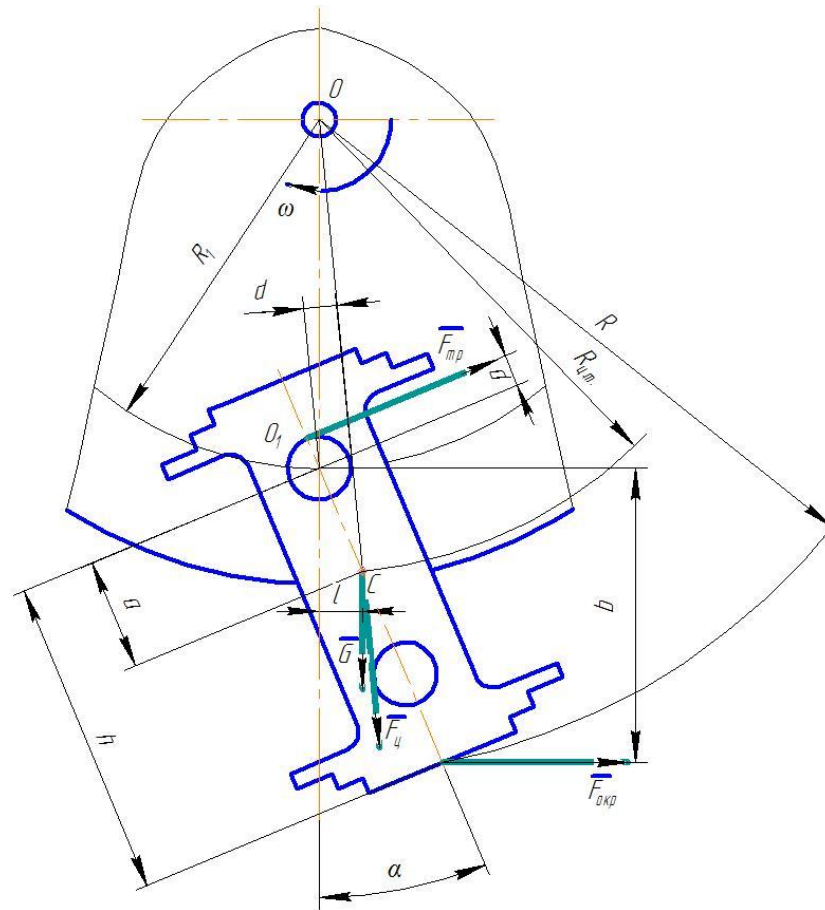


Рисунок 2.10 – Схема действия сил на молоток во время его работы

Составим уравнение моментов, при котором молоток не будет отклоняться от радиального положения:

$$F_{\text{окр}} b = Gl + F_{\text{тр}} p + F_{\text{ц}} d, \quad (2.47)$$

где  $F_{\text{окр}}$  – окружная сила, действующая со стороны молотка на материал, равная силе сопротивления среды, Н;  $b$  – плечо окружной силы, м;  $G$  – сила тяжести молотка, Н;  $l$  – плечо силы тяжести, м;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения молотка относительно поверхности шарнира, Н;  $p$  – плечо силы трения, м;  $F_{\text{ц}}$  – центробежная сила инерции, Н;  $d$  – плечо центробежной силы инерции, м.

Силу  $F_{\text{окр}}$  можно определить, исходя из выражения:

$$F_{\text{окр}} = \frac{k_c M_{\text{кр}}}{R z_M} = \frac{k_{\text{кр}} P}{R \omega_p z_M},$$

где  $k_c$  – коэффициент сопротивления движения молотка в воздушно-продуктовом слое лужги,  $k_c = 2,5 \dots 3$ ;  $M_{\text{кр}}$  – крутящий момент на валу ротора молотковой

дробилки, Н·м;  $R$  – расстояние от оси вращения вала ротора до точки приложения силы  $F_{\text{окр}}$ , м;  $z_m$  – количество молотков;  $P$  – потребная мощность привода ротора, Вт;  $\omega_p$  – угловая скорость вращения ротора с молотками,  $\text{с}^{-1}$ .

Из рисунка 2.9 видно, что плечо  $b$  можно выразить как

$$b = h \cos \alpha,$$

где  $h$  – расстояние от оси шарнира до точки приложения силы  $F_{\text{окр}}$ ;  $\alpha$  – угол отклонения молотка.

Тогда момент от силы  $F_{\text{окр}}$  будет равен:

$$F_{\text{окр}} b = \frac{k_c P h \cos \alpha}{R \omega_p z_m}. \quad (2.48)$$

Момент силы тяжести можно записать:

$$Gl = m_m g l = m_m g a \sin \alpha, \quad (2.49)$$

где  $m_m$  – масса молотка, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $a$  – расстояние от оси шарнира молотка до центра тяжести, м.

Момент силы трения, появляющийся при действии в шарнире нормального давления, приравненного по величине к центробежной силе переносного движения можно представить, как:

$$F_{\text{тр}} p = f F_{\text{ц}} p = f m_m \omega_p^2 R_{\text{ц.т.}} p, \quad (2.50)$$

где  $f$  – коэффициент трения в шарнире ( $f = 0,15$ );  $R_{\text{ц.т.}}$  – расстояние от оси вращения ротора до центра тяжести молотка, м.

Момент центробежной силы переносного движения молотка будет иметь вид:

$$F_{\text{ц}} d = m_m \omega_p^2 R_{\text{ц.т.}} d. \quad (2.51)$$

где произведение  $R_{\text{ц.т.}} d = R_1 a \sin \alpha$ ,  $R_1$  – расстояние от оси вращения вала ротора до оси шарнира молотка.

Подставим в выражение (2.53) значение произведения  $R_{\text{ц.т.}} d$ , получим:

$$F_{\text{ц}} d = m_m \omega_p^2 R_1 a \sin \alpha. \quad (2.52)$$

Подставим в выражение (2.49) выражения (2.50), (2.51), (2.52) и (2.54), получим:



$$\frac{k_c Ph \cos \alpha}{R \omega_p z_M} = m_M g \sin \alpha + f m_M \omega_p^2 R_{ц.т.} p + m_M \omega_p^2 R_1 a \sin \alpha, \quad (2.53)$$

При условии, когда молоток не будет отклонен от радиального положения, то есть  $\alpha = 0$ , то уравнение (2.53) примет вид:

$$\frac{k_c Ph}{R \omega_p z_M} < f m_M \omega_p^2 R_{ц.т.} p. \quad (2.54)$$

откуда

$$\omega_p \geq \sqrt[3]{\frac{k_c Ph}{f R z_M m_M R_{ц.т.} p}}. \quad (2.55)$$

Выполнение данного условия позволит обеспечить установившийся скоростной режим работы ротора дробилки при котором молотки не будут отклоняться от радиального положения.

Из выражения (2.54) можно определить минимальную массу молотка, которая будет обеспечивать его радиальное положение при установившемся режиме работы молоткового ротора:

$$m_M = m_{\min} \geq \frac{k_c Ph}{f R z_M \omega_p^3 R_{ц.т.} p}. \quad (2.56)$$

Минимальный диаметр оси подвеса молотка можно определить из условия прочности на срез:

$$\tau_{ср} = \frac{F_{ц}}{A_{ср}} \leq [\tau_{ср}] \quad (2.57)$$

где  $A_{ср} = \frac{\pi d_o^2}{4} k$  - площадь среза, оси молотка;  $d_o$  - диаметр оси подвеса молотка, мм;

$k$  - число плоскостей среза, определяемое количеством молотков;  $[\tau_{ср}]$  - допускаемое напряжение на срез.

$$\tau_{ср} = \frac{4F_{ц}}{\pi d_o^2 k} \leq [\tau_{ср}]$$

Тогда минимальный диаметр оси подвеса молотка будет равен:

$$d_o = \sqrt{\frac{4m_m \omega^2 R_{ц.г.}}{\pi k [\tau_{ср}]}}. \quad (2.58)$$

Учитывая, что ротор с молотками вращается с большой скоростью и наносят разрушающие удары по непрерывно поступающей массе измельчаемого материала в дробильную камеру, для устранения обратного удара на подшипники необходимо соблюдение условия [62]:

$$\rho^2 = cl, \quad (2.59)$$

где  $\rho$  - радиус инерции молотка относительно оси подвеса;  $c$  - расстояние от оси подвеса до центра тяжести молотка, м;  $l$  - расстояние от оси подвеса до наружной грани молотка, м.

При соблюдении условия (2.59) экспериментальные молотки будут уравновешены на удар, т.е. не передают реакции ударов рабочей частью молотков о массу измельчаемого материала на оси подвеса молотков.

## 2.4 Определение производительности молотковой дробилки

Технологический процесс измельчения лужги крупяных и масличных культур в молотковой дробилке протекает следующим образом. Измельчаемый материал подается в загрузочный бункер, откуда посредством вращения питающего устройства захватывается и подается в дробильную камеру, где часть материала разрушается ударным воздействием молотков и увлекается в пространство между решетом и молотками [68]. При вращении вала ротора дробилки возникает центробежная сила, которая прижимает измельчаемый материал к поверхности решета, кроме того, на измельчаемый материал действует сила со стороны молотков, под действием которой масса измельчаемого материала вращается с определенной скоростью. Под действием этих сил происходит его разрушение о поверхность решета и рабочую поверхность молотков [62, 68].

Роль каждого из рабочих органов в измельчении материалов раскрыта в исследованиях многих учёных: Мельникова С.В., Ревенко И.И., Сыроватки В.И. и

многих, других ученых. Работы которых явились основой для разработки новых рабочих органов для измельчения лузги крупяных и масличных культур и совершенствования на этой базе конструкции молотковой дробилки в целом [6, 21, 42, 62, 69, 99].

Для определения производительности молотковой дробилки при измельчении лузги можно использовать формулу:

$$Q = 0,06k_{кр}k_{ф.м.}k_{э}\rho D_{р.м.}^2L_p n_p, \quad (2.60)$$

где  $k_{кр}$  – коэффициент кратности удара,  $k_{кр} = 2.5 \dots 3$ ;  $k_{ф.м.}$  – коэффициент, зависящий от формы рабочей поверхности молотков,  $k_{ф.м.} = 1,2 \dots 1,5$ ;  $k_{э}$  – эмпирический коэффициент, зависящий от типа и размеров ячеек решета, для гладких решет с диаметром отверстий 3 мм  $k_{э} = (1,3 \dots 1,7) \cdot 10^{-4}$  (по С.В. Мельникову);  $\rho$  – плотность измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{р.м.}$  – диаметр ротора по окружности концов молотков в рабочем положении, м;  $L_p$  – длина ротора, м;  $n_p$  – частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>.

График теоретической зависимости производительности молотковой дробилки от диаметра ротора по окружности молотков представлен на рисунке 2.11.

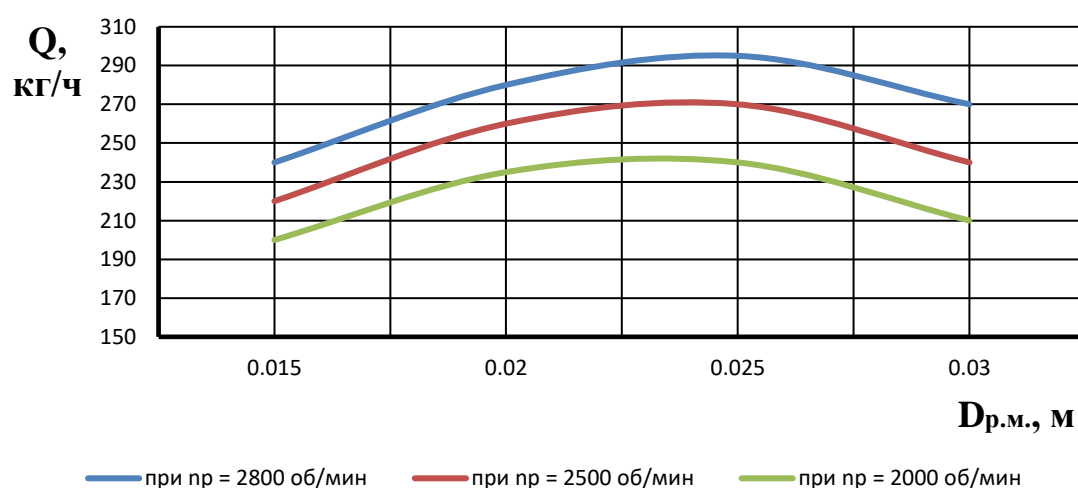


Рисунок 2.11 - Теоретической зависимости производительности  $Q$  молотковой дробилки от диаметра ротора  $D_{р.м.}$  по окружности молотков

Как видно из рисунка 2.11, что требуемая производительность молотковой дробилки 300 кг/ч достигается при диаметре ротора по окружности молотков в рабочем положении равном 0,025 м и частоте вращения вала ротора дробилки 2800 мин<sup>-1</sup>. Дальнейшее увеличение диаметра ротора влечет за собой уменьшение производительности за счет увеличения пути перемещения частицы в дробильной камере.

## **2.5 Расчет мощности, потребной для процесса измельчения луги в молотковой дробилке**

Согласно рабочего процесса внутри дробильной камеры молотковой дробилки, подводимая к ротору энергия, тратится на преодоление вредных сопротивлений, а также на процесс измельчения и на перемещение массы материала в дробильной камере, то есть полная мощность, затрачиваемая на измельчение, определяется по формуле:

$$P = P_{\text{под}} + P_{\text{и}} + P_{\text{ц}} + P_{\text{х.х}}, \quad (2.61)$$

где  $P_{\text{под}}$  – мощность, расходуемая на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки, кВт;  $P_{\text{и}}$  – мощность, расходуемая непосредственно на измельчение материала, кВт;  $P_{\text{ц}}$  – мощность, расходуемая на циркуляцию воздушно-продуктового слоя, кВт;  $P_{\text{х.х}}$  – мощность, затрачиваемая на холостой ход ротора с молотками, кВт.

Расход мощности на процесс подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки определяется по формуле (2.38).

Расход мощности на измельчение определяется по формуле:

$$P_{\text{и}} = QA_{\text{и}}, \quad (2.62)$$

где  $A_{\text{и}}$  – работа, расходуемая на измельчение 1 кг материала, Дж/кг.

Сумма мощностей на циркуляцию  $P_{\text{ц}}$  и холостой ход  $P_{\text{х.х}}$  выбирается по опытным данным в размере 15 ... 20% от мощности на измельчение  $P_{\text{и}}$ :

$$P_{\text{ц}} + P_{\text{х.х}} = (0,15 \dots 0,2)P_{\text{и}} \quad (2.63)$$

Энергоемкость процесса измельчения в молотковой дробилке с учетом степени измельчения и качества готового продукта рассчитывается по следующей формуле:

$$E = \frac{PK_k}{Q\lambda}, \quad (2.64)$$

где  $P$  – мощность, расходуемая на рабочий процесс молотковой дробилки с учетом затрат энергии на весь технологический процесс, кВт;  $Q$  – производительность молотковой дробилки, кг/ч;  $\lambda$  – степень измельчения;  $K_k$  – коэффициент качества готового продукта, характеризующий отношение недоизмельченных и переизмельченной массы материала к общей массе готового продукта.

Для подтверждения теоретических исследований и выявления оптимальных конструктивно-режимных и технологических параметров молотковой дробилки, влияющих на повышение эффективности процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур, необходимо провести экспериментальные исследования.

## 2.6 Выводы

На основании теоретических исследований процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур модернизированной конструкцией молотковой дробилки можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки (патенты РФ №№ 2615001, 166614), включающей в себя питающее устройство барабанного типа с желобами, противоположные стороны которых повернуты относительно друг друга и молотки, рабочая поверхность которых выполнена в виде трех выступов радиусы от вершин которых до оси подвеса равны.

2. Получены выражения для определения производительности предлагаемой конструкции питающего устройства (2.12), для определения угла поворота лопасти желоба, при котором происходит его полная разгрузка от массы измельчаемого материала (2.15), для определения относительной скорости движения массы измельчаемого материала по лопасти питающего устройства (2.26), закон

движения массы измельчаемого материала к рабочей поверхности молотка (2.35). Получены выражения для определения кинетической энергии удара предлагаемой конструкцией молотка (2.41). Были получены условия, позволяющие обеспечить устойчивое равновесие молотка, при котором он не будет отклоняться от радиального положения: угловая скорость вращения ротора с молотками (2.55) и минимальная масса молотков (2.56). Были получены выражения для определения производительность молотковой дробилки (2.60) и энергоемкости процесса измельчения с учетом степени измельчения и качества готового продукта (2.64).

## **ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Программа экспериментальных исследований**

С целью проверки теоретических данных и определения рациональных режимов работы молотковой дробилки была разработана программа экспериментальных исследований:

1. Разработка, обоснование параметров и изготовление рабочей модели молотковой дробилки с питающим устройством барабанного типа с желобами, противоположные стороны которых повернуты относительно друг друга.

2. Определение оптимального расположения питающего устройства для наиболее эффективного процесса подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки.

3. Получение зависимостей влияния окружной скорости молотков на качественные и энергетические показатели работы молотковой дробилки.

4. Получение зависимостей влияния подачи на качественные и энергетические показатели работы молотковой дробилки.

5. Проведение производственных испытаний при соблюдении полученных оптимальных параметров работы молотковой дробилки.

6. Проведение оценки эффективности основных результатов исследований.

### **3.2 Методика оценки точности измерений**

Снижение величины предельной ошибки способствует проведение тарирования и проверки измерительных приборов после каждой группы опытов [6, 10, 11, 68, 107, 111].

Предельная относительная ошибка величины удельного расхода энергии составляет:

$$\frac{\Delta n(A_{уд})}{A_{уд}} = \pm \left[ \frac{\Delta n(A_{эф})}{A_{эф}} + \frac{\Delta n(Q)}{Q} \right] = \pm(0,5 + 1,55) = \pm 2,05\%. \quad (3.1)$$

При определении производительности величину предельной относительно ошибки определяли по формуле:

$$\frac{\Delta n(Q)}{Q} = \pm \left[ \frac{\Delta n(q)}{q} + \frac{\Delta n(t)}{t} \right], \quad (3.2)$$

где  $q$  - масса пробы за время опыта, кг;  $t$  - время проведения опыта, с;  $\Delta n$  - отклонение измеряемой величины.

Величину предельной ошибки в процентах к верхнему пределу измерений при замере времени опыта секундомером и взвешивании пробы на лабораторных весах принимали в соответствии с их техническими характеристиками:

$$\frac{\Delta n(q)}{q} = \pm 0,1\% \text{ и } \frac{\Delta n(t)}{t} = \pm 0,55\%. \quad (3.3)$$

Тогда

$$\frac{\Delta n(Q)}{Q} = \pm(0,1 + 0,55) = \pm 0,65\%. \quad (3.4)$$

При взвешивании на лабораторных весах остатка на ситах принимали:

$$\frac{\Delta n(P_i)}{P_i} = 0,15\%. \quad (3.5)$$

Предельную величину статистической обработки измерений определяли способом теории ошибок и методов математической статистики [10, 47]. Наиболее вероятное значение измерений величины или среднеарифметическое значение определяется по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (3.6)$$

где  $y_i$  - величина значения  $i$ -го измерения;  $n$  - количество измерений.

Точность среднего арифметического значения неоднократно измеряемой величины приняли значение среднеквадратичного отклонения, определяемого по формуле:



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (3.7)$$

Коэффициент вариации определили по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{y}}. \quad (3.8)$$

Ошибку среднего значения находили по формуле:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.9)$$

При подборе оборудования их точность оценивалась по максимально возможной статистической ошибке. В общем случае при проведении экспериментальных исследований были использованы методики [1, 18, 47, 56, 61].

### 3.3 Описание и принцип работы лабораторной установки

Для подтверждения и проверки теоретических зависимостей, а также дальнейшего изучения процесса измельчения лужги крупяных и масличных культур в молотковой дробилке на кафедре «Механика и инженерная графика» Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова была разработана и изготовлена лабораторная установка [90]. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 3.1.

При разработке и изготовлении лабораторной установки учитывались следующие требования:

- возможность регулировать конструктивно-режимные и технологические параметры работы в широких пределах варьирования;
- возможность быстрой сборки и разборки основных узлов молотковой дробилки;
- возможность снятия входных и выходных параметров работы при помощи простых и надежных устройств;

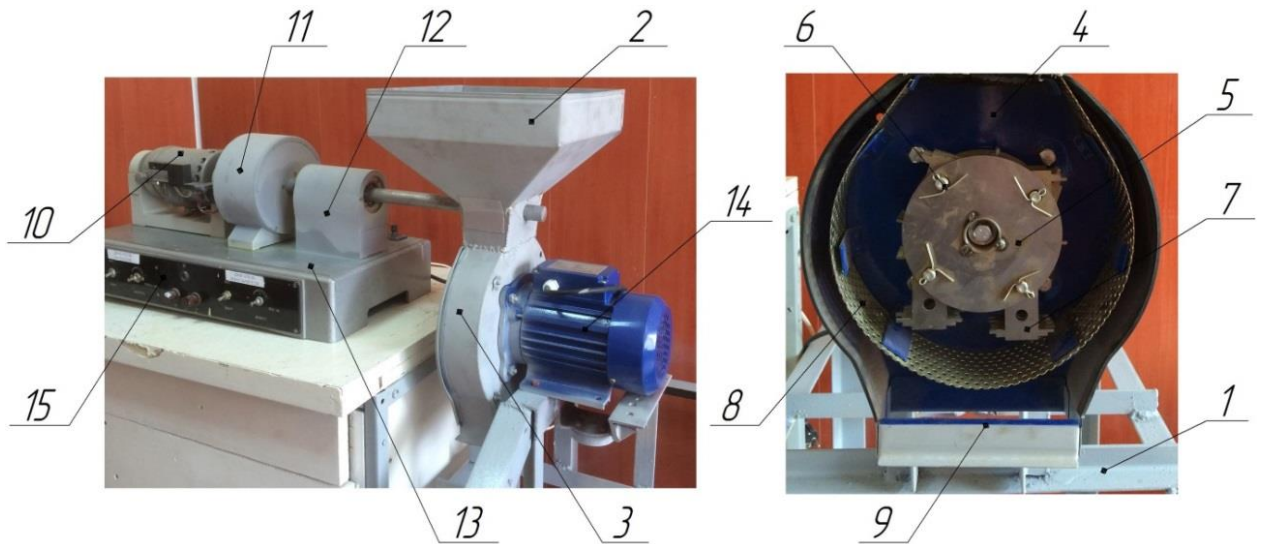


Рисунок 3.1 – Общий вид лабораторной установки

Молотковая дробилка размещена на раме 1 и состоит из загрузочного бункера 2, корпуса 3 с дробильной камерой 4, внутри которой установлены ротор 5 с шарнирно-закрепленными на его осях 6 молотками 7, решето 8 и выгрузного окна 9. В горловине загрузочного бункера установлено питающее устройство (рисунок 3.2), имеющее индивидуальный привод от электродвигателя 10 через редуктор 11 и подшипниковую опору 12, установленных на станине 13. Подача материала осуществляется против направления вращения ротора 5, а привод вала молотковой дробилки осуществляется от электродвигателя 14, закрепленного на торцевой стенке корпуса дробильной камеры.

Лабораторная установка выполнена с возможностью изменения частоты вращения вала питающего устройства и вала ротора молотковой дробилки при помощи регуляторов, установленных на панели управления 15.

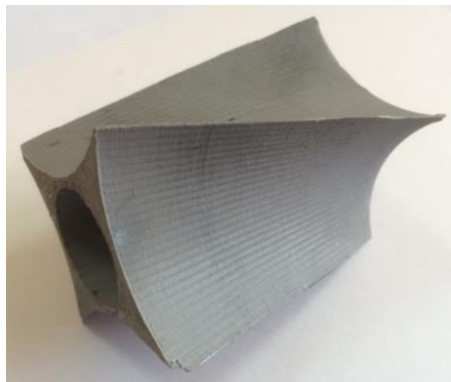


Рисунок 3.2 – Питающее устройство

Рабочий процесс измельчения лузги крупяных и масличных культур протекает следующим образом. В загрузочный бункер 2 засыпается измельчаемый материал (лузга подсолнечника, гречихи, проса), откуда посредством питающего устройства против направления вращения вала ротора 5 подается в дробильную камеру 4. В дробильной камере 4 измельчаемый материал подвергается ударному воздействию молотков 7 и получает частичное разрушение. Кроме разрушения от удара молотками 7 частицы измельчаются при ударах о поверхность решета 8, а также в результате взаимодействия друг с другом. Измельченный продукт выводится из дробильной камеры через выгрузное отверстие 9.

Общий вид ротора в сборе представлен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Общий вид ротора в сборе

В ходе проведения экспериментов имелся комплект сменных решет с отверстиями различного диаметра, которые устанавливались для своевременного вывода измельченного материала с заданным гранулометрическим составом из дробильной камеры молотковой дробилки.

Основные технические характеристики экспериментальной молотковой дробилки представлены в таблице 3.1.

Таким образом, конструкция лабораторной установки позволяет провести экспериментальные исследования по определению оптимальных конструктивно-режимных и технологических параметров работы молотковой дробилки, что позволит повысить эффективность процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур.

Таблица 3.1 – Технические характеристики лабораторной установки

№ п/п	Показатели	Значение показателей
1	Диаметр питающего устройства, мм	70
2	Длина питающего устройства, мм	90
3	Частота вращения вала питающего устройства, мин <sup>-1</sup>	60 ... 90
4	Подача измельчаемого материала, кг/ч	250 ... 300
5	Диаметр ротора по концам молотков, мм	250
6	Ширина ротора, мм	65
7	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	1600 ... 2800
8	Количество молотков, шт.	20
9	Толщина молотков, мм	3
10	Окружная скорость молотков, м/с	30 ... 45
11	Зазор между поверхностью решета и концами молотков, мм	5 ... 10
12	Производительность молотковой дробилки, кг/ч	250 ... 300
13	Мощность электродвигателя питающего устройства, кВт	1
14	Мощность электродвигателя дробилки, кВт	2
15	Габаритные размеры, мм:	
	длина	1200
	ширина	700
	высота	1500
16	Масса, кг	42

### **3.4 Измельчаемый материал и приборы, используемые при проведении экспериментальных исследований**

Для проведения экспериментальных исследований были отобраны следующие виды измельчаемого материала: лузга подсолнечника, гречихи и проса, как наиболее распространенные отходы сельскохозяйственного производства. Измельчаемый материал отбирался в производственных цехах после шелушения соответствующего вида культуры.

Основные физико-механические свойства лузги являются типичными, поэтому их данные были взяты из литературных источников [4, 5, 16, 22].

Пробы готового продукта отбирали при установившемся режиме работы молотковой дробилки. Для определения момента установившегося режима работы применяли цифровой мультиметр DT-9202A. Время опыта замеряли с помощью секундомера.

Частоту вращения вала ротора питающего устройства и ротора дробилки определяли с применением тахометра часового типа ТЧ-10Р с точностью до 0,1 об/мин.

Для взвешивания отобранных проб готового продукта применяли электронные весы марки ВЛКТ-500М с точностью до 0,01 кг.

Затраты энергии на процесс измельчения лузги определялись с применением электрического счетчика СО-5У с классом точности 2,5, предназначенного для учета электрической энергии с номинальной частотой тока 50 Гц с погрешностью 2,5 %, что вполне приемлемо в таких экспериментах.

### 3.5 Методика проведения экспериментальных исследований

#### 3.5.1 Определение равномерности и зависимости величины подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки от частоты вращения вала питающего устройства

Определение величины подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки при помощи питающего устройства с прямыми лопастями и экспериментального (рисунок 3.3) производилось следующим образом: исходный материал (лузга подсолнечника, гречихи, проса) загружался в бункер и равномерно распределялся по всему его объему. Предварительно из дробильной камеры молотковой дробилки были сняты решето и ротор, для того чтобы поступающая масса беспрепятственно попадала в приемную емкость. Влажность измельчаемого материала в каждом опыте была в пределах 10 ... 15 %.

Для определения зависимости величины подачи измельчаемого материала от частоты вращения вала питающего устройства переменной величиной в опытах была частота вращения вала питающего устройства, которая изменялась при помощи регулятора в пределах от 50 до 80 мин<sup>-1</sup> с интервалом через каждые 10 мин<sup>-1</sup>.

Экспериментальные исследования проводились при установившемся режиме работы в следующей последовательности: при включении электродвигателя, приводящего в движение питающее устройство, масса материала подавалась в емкость. Время сбора материала контролировалось секундомером, масса отобранного материала замерялась на весах. Продолжительность каждого опыта длилась 1 мин. Для исключения промахов была принята трёхкратная повторность опытов.

Величина секундной производительности определялась по формуле [6, 62]:

$$Q_n = 3600q / t, \quad (3.10)$$

где  $q$  - масса измельчаемого материала, поданного за время опыта, кг;  $t$  - продолжительность опыта, с.

По значениям  $Q$  определялась величина подачи, по разнице между  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  определялась равномерность подачи. Чем меньше разность значений между величинами подачи в каждом опыте, тем выше равномерность.

По результатам экспериментальных исследований были построены графики зависимости  $Q_n = f(n_n)$ .

### 3.5.2 Определение производительности молотковой дробилки

Производительность является одним из основных показателей работы молотковой дробилки.

Производительность исследуемой молотковой дробилки определяли в момент установившегося режима работы. Установившемся режимом считается такой, при котором расход энергии на измельчение постоянен. Момент наступления установившегося режима работы определяли по показателям цифрового мультиметра DT-9202A, фиксирующего величину мощности, затрачиваемую на рабочий процесс молотковой дробилки. Как только показания мультиметра принимали определенное установившееся значение, проводили отбор проб для расчета производительности молотковой дробилки, работающей в заданном режиме. Величину часовой производительности устанавливали методом взятия пробы за определенный период работы. Моменты отбора пробы фиксировались секундомером. Отобранную пробу взвешивали на электронных весах марки ВЛКТ-500М. Все опыты повторялись трехкратно, каждый результат расчета производительности молотковой дробилки есть среднеарифметическое из суммы трех проб, взятых во время опытов.

Секундную производительность определяли по формуле 3.10.

Приведенная методика определения производительности молотковой дробилки обеспечивает большую точность и достаточность получаемых результатов [106].

### 3.5.3 Определение окружной скорости молотков

Частоту вращения вала молоткового ротора дробилки меняли при помощи регуляторов, установленных на панели управления (рисунок 3.1).

Окружная скорость ротора с молотками определялась из выражения [6, 68]:

$$v_m = \frac{\pi n_p R_m}{30}, \quad (3.11)$$

где  $n_p$  - частота вращения вала молоткового ротора дробилки, мин<sup>-1</sup>;  $R_m$  - радиус ротора по концам молотков, м.

Частоту вращения вала ротора дробилки определяли при установившемся режиме работы с помощью тахометра часового типа Т410-Р.

### 3.5.4 Определение качественных показателей готового продукта

Абсолютные размеры и крупность частиц измельченного материала используются при оценке качества готового продукта и энергоемкости процесса измельчения.

Исследования фракционного состава готового продукта проводилось после измельчения лузги на экспериментальной установке.

Для определения фракционного состава готового продукта использовался ситовый классификатор (рисунок 3.4), разработанный А.В. Макаровым [6, 62, 68].

Принцип работы классификатора заключается в передаче вращательного движения посредством электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 эксцентриковому механизму 3, преобразующий вращательное движение, а колебательное колонки с набором сит 4. Частота колебания классификатора 200 колебаний в минуту с амплитудой 30 мм.

Отобранная проба измельченного материала массой 1 кг просеивалась в течении 5 минут через набор сит с диаметрами отверстий 3, 2, 1 и 0,2 мм.



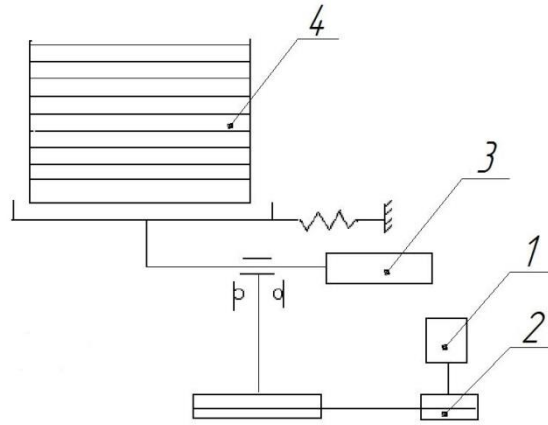


Рисунок 3.4 – Схема лабораторного классификатора:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – эксцентриковый механизм;  
4 – колонка с набором сит

Для повышения точности получаемых результатов пробы измельченного материала брались в трехкратной повторности.

В качестве критерия оценки степени измельчения можно применять показатель  $M$ , называемый модулем крупности, который можно определить по формуле (1.1).

### 3.5.5 Определения энергоемкости процесса измельчения

Основным показателем процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур в молотковой дробилке является энергоемкость процесса измельчения до заданного гранулометрического состава.

Энергоемкость процесса измельчения с учетом степени измельчения и качества измельченных частиц, которая определяется по формуле (2.69).

Энергоемкость процесса измельчения показывает, какое количество энергии необходимо подвести к молотковой дробилке для обеспечения заданной производительности.

### 3.6 Методика планирования эксперимента

Изучение литературных данных [1, 18, 56, 61], результатов теоретических исследований показывает, что модель измельчения лузги крупяных и масличных культур является функцией большого числа факторов.

Однако количественной взаимосвязи между этими факторами в процессе измельчения не установлено. Для оптимизации процесса измельчения необходимо построение его математической модели. Решение данной задачи теоретически невозможно, так как трудно учесть изменяющиеся во времени физико-механические свойства лузги крупяных и масличных культур.

Для обоснования конструктивно-режимных и технологических параметров рабочего процесса молотковой дробилки был выбран двухфакторный план. При проведении эксперимента в одном опыте фиксировались 2 фактора: подача измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки  $Q_{\text{п}}$  и окружная скорость молотков  $U_{\text{м}}$ .

Математическая модель объекта исследования второго порядка имеет вид [1, 56, 61]:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (3.12)$$

где  $b_0$  - свободный член;  $b_i, b_{ij}, b_{ii}$  - коэффициенты регрессии;  $X_i, X_j$  - независимые переменные (факторы).

Формально целью проведения экспериментальных исследований является определение численных значений коэффициентов регрессии. Однородность ряда дисперсии проверяем по критерию Кохрена [56, 61]:

$$G = \frac{S_{u.\text{max}}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}, \quad (3.13)$$

где  $S_{u.\text{max}}^2$  - максимальная в ряду дисперсия;  $\sum_{u=1}^N S_u^2$  - сумма дисперсий всех опытов.

По полученным данным строилась математическая модель второго порядка. Находим коэффициенты регрессии математической модели (3.12):

$$\begin{aligned}
b_o &= C_1 \sum_{u=1}^N y_u - C_2 \sum_{i=1}^K \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u \\
b_i &= C_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u \\
b_{ij} &= C_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j)_u y_u \\
b_{ii} &= C_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + C_6 \sum_{i=1}^K \sum_{u=1}^N x_{ij}^2 y_u - C_2 \sum_{u=1}^N y_u
\end{aligned} \tag{3.14}$$

где  $C_i$  - вспомогательные коэффициенты.

После расчета коэффициентов регрессии проверялась их значимость по критерию Стьюдента [1, 18, 61] с помощью доверительных интервалов оценок коэффициентов, которые определялись по формуле:

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i}, \tag{3.15}$$

где  $t$  - критерий Стьюдента, берется из таблиц в зависимости от уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $f_1$  при определении дисперсии опыта  $S_y^2$ ;  $S_{b_i}$  - среднеквадратичная ошибка в определении коэффициента регрессии.

Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему, то есть  $|b_i| > \Delta b_i$ .

Смысл последнего неравенства заключается в том, что абсолютная величина коэффициента должна быть в  $t$  раз больше, чем ошибка его определения [1, 18, 56].

Проверка гипотезы адекватности полученной математической модели второго порядка проверялась с помощью критерия Фишера  $F$  по формуле:

$$F = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \tag{3.16}$$

где  $S_{неад}^2$  - дисперсия неадекватности математической модели;  $S_y^2$  - дисперсия ошибки опыта в матрице плана.

В свою очередь дисперсия неадекватности математической модели рассчитывается по формуле:

$$S_{неад}^2 = \frac{m \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y}_u)^2}{N - n - 1}, \tag{3.17}$$

где  $\bar{y}_u$  - среднее значение критерия оптимизации в  $u$ -м опыте при  $m$  повторениях;  $n$  - число факторов;  $y_u$  - значение критерия оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии.

Дисперсия, характеризующая ошибку опыта, определяется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N(m-1)}, \quad (3.18)$$

где  $y_{iu}$  - значение  $i$ -го критерия оптимизации в параллельных опытах.

Для принятия гипотезы об адекватности необходимо, чтобы вычисленное значение  $F$ -критерия (3.16) не превышало табличное для выбранного уровня значимости.

### 3.7 Программа и методика производственных испытаний

По окончании лабораторных экспериментальных исследований и обработки полученных данных разрабатывалась программа и методика производственных испытаний, которые проводились с целью установить:

- эффективность предлагаемой молотковой дробилки, заключающуюся в повышении производительности и снижении энергоемкости процесса измельчения;

- достоверность теоретических разработок и результатов экспериментов по определению конструктивно-режимных и технологических параметров работы молотковой дробилки в производственных условиях;

- технико-экономические показатели предлагаемой конструкции молотковой дробилки.

Для этого на сельскохозяйственных предприятиях ООО «Марс-07» (г. Саратов), ЗАО «Алтайская крупа» (Алтайский край, Советский р-н, с. Советское), КФХ «Демкин А.П.» (Саратовская обл., Екатериновский р-н, с. Упоровка) были

проведены производственные испытания молотковой дробилки. Производственный образец молотковой дробилки представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Молотковая дробилка

Производственный образец молотковой дробилки был доработан на основе теоретических обоснований параметров, представленных во второй главе, и результатов полученных в ходе лабораторных исследований. Конструктивные и режимные параметры питающего устройства и молоткового ротора устанавливались для измельчения лузги подсолнечника, гречихи и проса.

Программа производственных испытаний предусматривала определение производительности молотковой дробилки и энергоемкости процесса измельчения.

### 3.8 Выводы

По третьей главе сделаны следующие выводы:

- изготовлена лабораторная установка, позволяющая исследовать конструктивно-режимные и технологические параметры работы молотковой дробилки.

## ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

### 4.1 Результаты исследования рабочего процесса питающего устройства

#### 4.1.1 Влияние частоты вращения питающего устройства на равномерность подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки

Для обеспечения нормального технологического процесса измельчения, поток материала, выходящий из питающего устройства должен обладать необходимой равномерностью. Равномерность потока измельчаемого материала обеспечивает снижение энергоемкости процесса измельчения, увеличение производительности, а также снижаются динамические нагрузки на ротор с молотками [91].

Учитывая физико-механические свойства измельчаемого материала, была поставлена серия опытов по выявлению зависимости равномерности  $\Delta q$  подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки от частоты вращения  $n_{\pi}$  вала питающего устройства (рисунок 4.1).

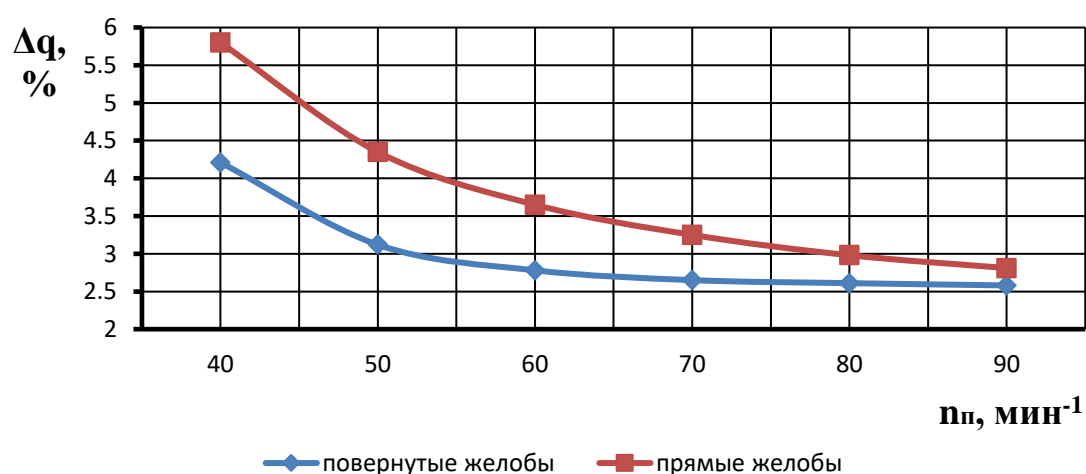


Рисунок 4.1 – Зависимость равномерности подачи измельчаемого материала  $\Delta q$  от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{\pi}$  (лузга гречихи)

Анализ зависимости неравномерности подачи измельчаемого материала  $\Delta q$  от частоты вращения вала питающего устройства показывает, что предлагаемая конструкция питающего устройства обеспечивает равномерность потока измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки при меньших частотах вращения по сравнению с питателем с желобами прямой формы. Для дальнейших исследований применяем питатель с желобами, противоположные стороны которых повернуты относительно друг друга.

#### **4.1.2 Влияние способа расположения питающего устройства на эффективность подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки**

Качественное измельчение лужки крупяных и масличных культур до требуемого гранулометрического состава неразрывно связано с процессом ее подачи к рабочим органам дробилки. Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена лабораторная установка с продольным и поперечным расположением питающего устройства относительно вала молоткового ротора дробилки [91].

Влияние способа расположения питающего устройства относительно вала ротора представлены на рисунках 4.2, 4.3.

Как видно из представленных зависимостей, продольное расположение питающего устройства обеспечивает увеличение величины подачи измельчаемого материала на 8 ... 12 %, а также снижение энергоемкости процесса подачи на 7 ... 10 %, в сравнении с поперечным, при частоте вращения вала питающего устройства  $70 \text{ мин}^{-1}$ .

Так же из зависимостей 4.2 и 4.3 видно, что с увеличением частоты вращения вала питающего устройства более  $70 \text{ мин}^{-1}$  происходит снижение величины подачи измельчаемого материала за счет уменьшения заполнения желобов питающего устройства, что влечет за собой увеличение энергоемкости процесса подачи.

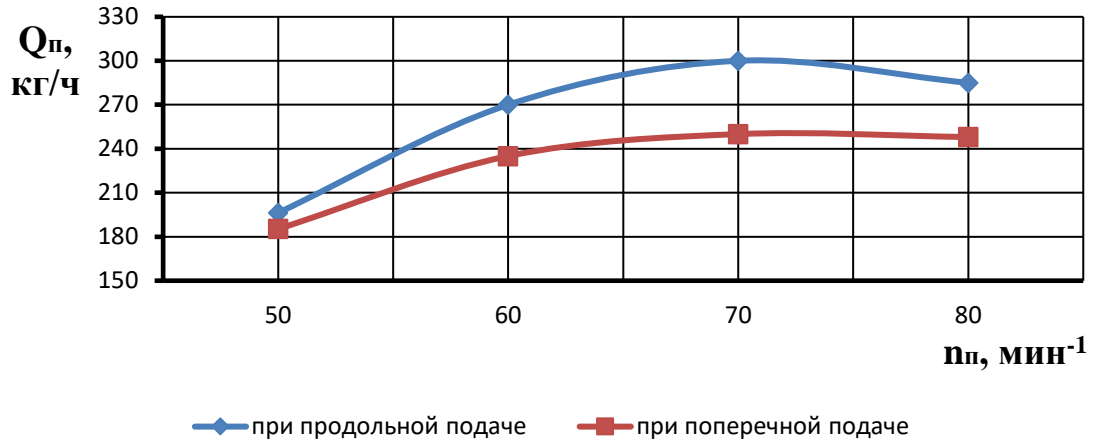


Рисунок 4.2 – Зависимость величины подачи  $Q_{п}$  измельчаемого материала от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{п}$  при  $D_{п} = 0,07$  м (лузга гречихи)

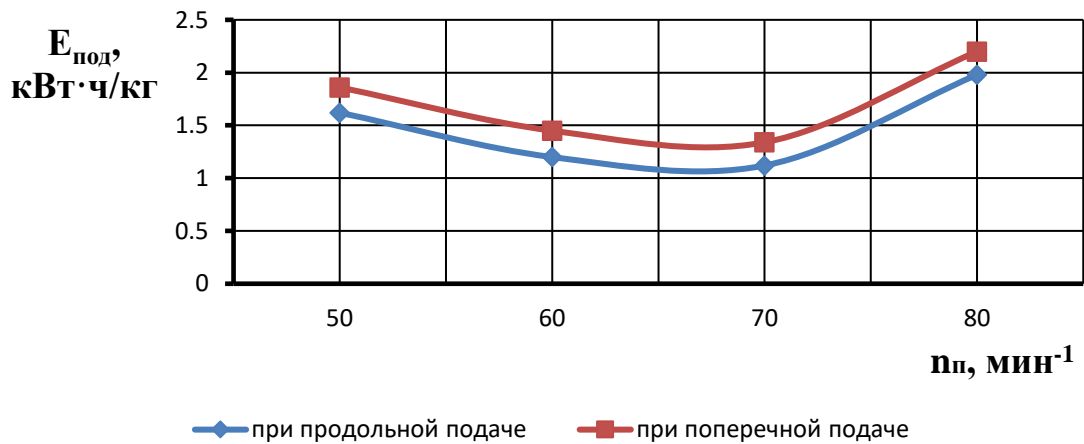


Рисунок 4.3 – Зависимость энергоемкости процесса подачи  $E_{\text{под}}$  от частоты вращения вала питающего устройства  $n_{п}$  при  $D_{п} = 0,07$  м (лузга гречихи)

#### 4.1.3 Исследование влияния величины подачи и энергоемкости процесса от конструктивных и режимных параметров питающего устройства

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, представленной в главе 3 на рисунке 3.1.

Величина подачи питающего устройства и энергоемкость процесса, как было выявлено при аналитических исследованиях, зависит от его геометрических



размеров, частоты вращения и физико-механических свойств измельчаемого материала.

С целью определения влияния величины подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки проводились исследования с различными конструктивными и режимными параметрами работы питающего устройства [30, 92]. Диаметр  $D_{\pi}$  барабана и частота вращения  $n_{\pi}$  вала питающего устройства имеют существенное значение для определения величины подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки.

По результатам обработки полученных экспериментальных данных было построено уравнение регрессии (4.1), адекватность которого проверялась по критерию Фишера, также вычислялись коэффициенты корреляции:

$$Q_{\pi} = 201,449 - 3,037 \cdot n_{\pi} - 5510,479 \cdot D_{\pi} - 0,0001 \cdot n_{\pi}^2 + 83,353 \cdot n_{\pi} D_{\pi} + 36759,391 \cdot D_{\pi}^2. \quad (4.1)$$

Графически зависимость величины подачи измельчаемого материала от частоты вращения  $n_{\pi}$  и диаметра  $D_{\pi}$  барабана питающего устройства представлена на рисунке 4.4.

Как видно из рисунка 4.4 диаметр  $D_{\pi}$  барабана питающего устройства ведет к увеличению величины подачи. Это объясняется ростом центробежных сил, увеличивающих скорость схода материала с лопасти желоба питающего устройства. То же самое происходит и с частотой вращения  $n_{\pi}$  вала питающего устройства в процессе подачи. При этом, с увеличением частоты вращения вала питающего устройства, увеличивается и подача.

В исследуемом диапазоне конструктивных и режимных параметров питающего устройства были построены уравнение регрессии для удельной энергоемкости процесса подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки (4.2) и графическая зависимость (рисунок 4.5).

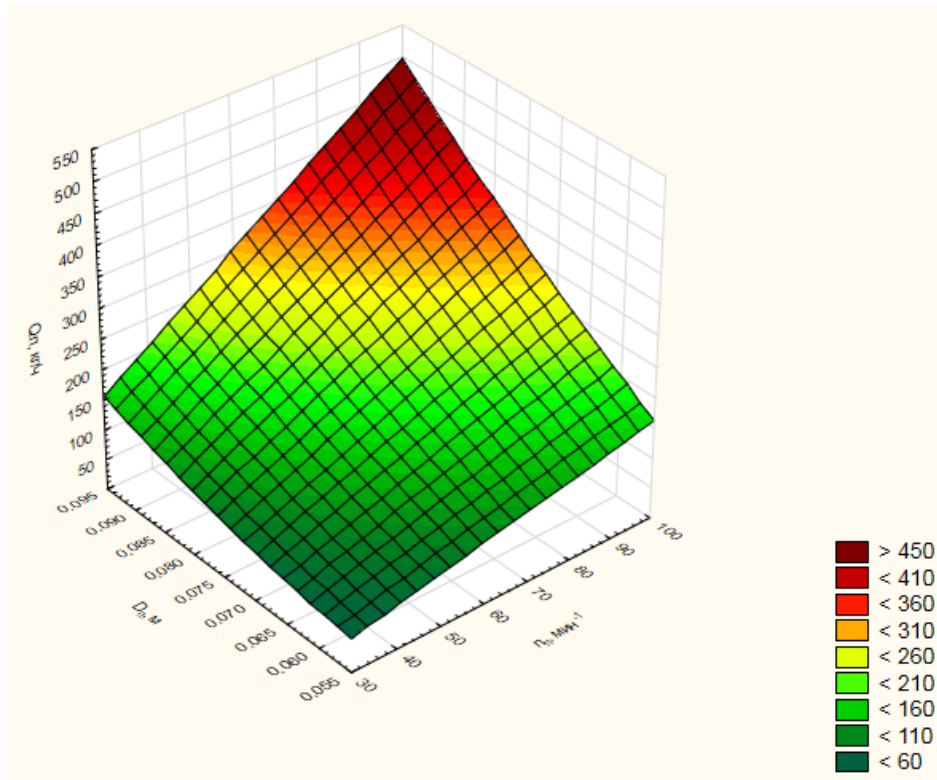


Рисунок 4.4 – Зависимость величины подачи  $Q_{\text{п}}$  измельчаемого материала от частоты вращения  $n_{\text{п}}$  и диаметра  $D_{\text{п}}$  барабана питающего устройства

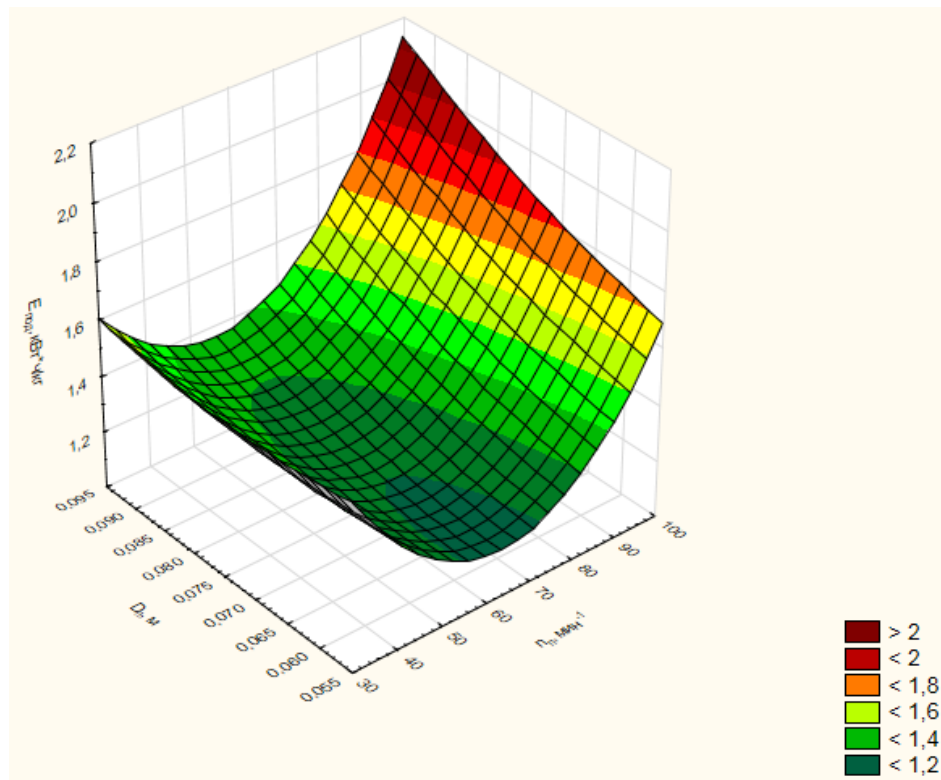


Рисунок 4.5 – Зависимость энергоемкости процесса подачи  $E_{\text{под}}$  от частоты вращения  $n_{\text{п}}$  и диаметра  $D_{\text{п}}$  барабана питающего устройства

Уравнение (4.2) проверялось по критерию Фишера.

$$E_{\text{под}} = 3,583 - 0,057 \cdot n_{\text{п}} - 22,547 \cdot D_{\text{п}} + 0,0004 \cdot n_{\text{п}}^2 + 0,155 \cdot n_{\text{п}} D_{\text{п}} + 121,431 \cdot D_{\text{п}}^2 \quad (4.2)$$

Анализ зависимости (рисунок 4.5) показывает, что энергоемкость изменяется по нелинейному закону.

Анализ зависимостей (рисунок 4.4, 4.5) показал, что минимальная энергоемкость процесса подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки, равная 1,12 ... 1,21 кВт·ч/кг достигается при частоте вращения  $n_{\text{п}}$  60 ... 70 мин<sup>-1</sup> и диаметре  $D_{\text{п}}$  барабана питающего устройства равном 0,07 м, при этом величина подачи измельчаемого материала составляет 250 ... 300 кг/ч.

## **4.2 Результаты обоснования конструктивно-режимных параметров работы молоткового ротора**

### **4.2.1 Исследование влияния формы молотков на производительность и энергоемкость процесса измельчения**

На производительность молотковой дробилки кроме влияния физико-механических свойств и величины подачи измельчаемого материала также оказывают значительное влияние и рабочие органы.

На рисунке 4.6 представлены зависимости производительности молотковой дробилки от окружной скорости молотков, которые показывают, что молотки со ступенчатой формой рабочей поверхности обеспечивают производительность молотковой дробилки на 20 % больше по сравнению с прямоугольными при окружной скорости молотков, равной 40 м/с.

На рисунке 4.7 представлена зависимость энергоемкости процесса измельчения лузги от окружной скорости молотков. Из данного рисунка видно, что в пределах изменения окружной скорости от 25 ... 35 м/с энергоемкость достаточно

высокая, это объясняется тем, что скорость молотков не достаточна для разрушения измельчаемого материала.

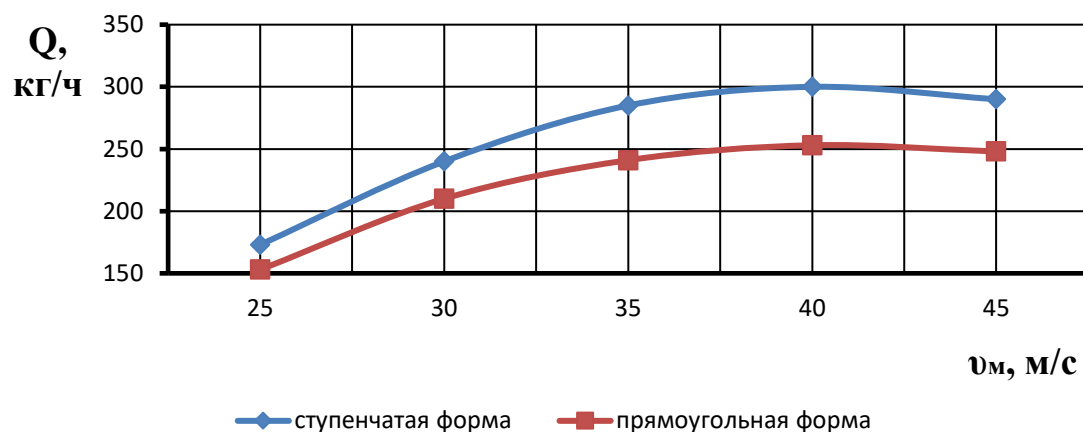


Рисунок 4.6 – Зависимость производительности  $Q$  молотковой дробилки от окружной скорости молотков  $v_m$ , лузга гречихи

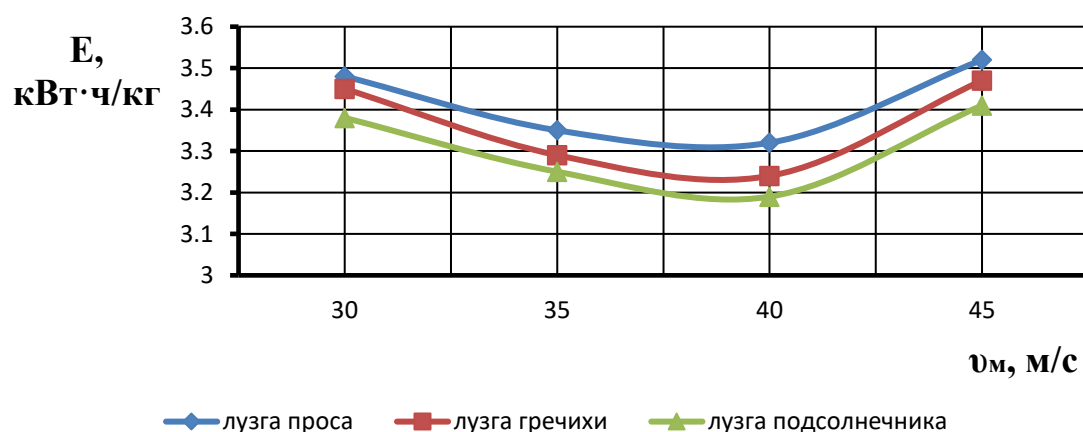


Рисунок 4.7 – Зависимость энергоемкости процесса измельчения  $E$  от окружной скорости молотков  $v_m$

При значении окружной скорости молотков 40 м/с энергоемкость процесса для каждого вида измельчаемого материала принимает минимальное значение, т.е. окружная скорость является оптимальной. Это связано с тем, что в дробильной камере происходит разрушение материала под действием ударов молотков и удаление измельченных частиц через решето. С увеличением окружной скорости молотков более 40 м/с энергоемкость начинает возрастать за счет увеличения затрат энергии на холостой ход.

#### 4.2.2 Исследование влияния окружной скорости молотков на модуль помола готового продукта

Проведение экспериментальных исследований позволили установить влияние окружной скорости молотков на модуль помола готового продукта (рисунок 4.8).

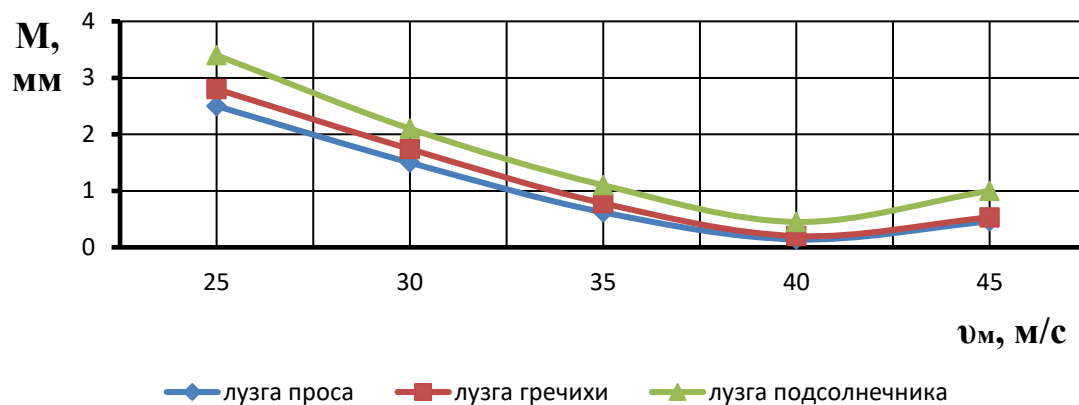


Рисунок 4.8 – зависимость модуля помола  $M$  готового продукта от окружной скорости молотков  $U_m$

Анализ зависимости модуля помола готового продукта от окружной скорости молотков показывает, что при достижении оптимальной окружной скорости молотков 40 м/с модуль помола уменьшается, дальнейшее увеличение окружной скорости ведет к увеличению модуля помола из-за сильного вентиляционного воздействия на измельчаемую массу. Экспериментальная молотковая дробилка обеспечивает мелкий помол 0,15 ... 0,4 мм.

#### 4.2.3 Исследование влияния величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков на производительность и энергоемкость процесса измельчения

По результатам проведенных исследований, было получено уравнение регрессии (4.3) и соответствующая ему графическая зависимость

производительности молотковой дробилки от величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков (рисунок 4.9).

$$Q = 291,915 + 0,449 \cdot Q_{II} - 8,267 \cdot v_M + 0,0004 \cdot Q_{II}^2 - 0,007 \cdot Q_{II} \cdot v_M + 0,14 \cdot v_M^2 \quad (4.3)$$

Адекватность описания опытных данных уравнением (4.4) проверялось по критерию Фишера.

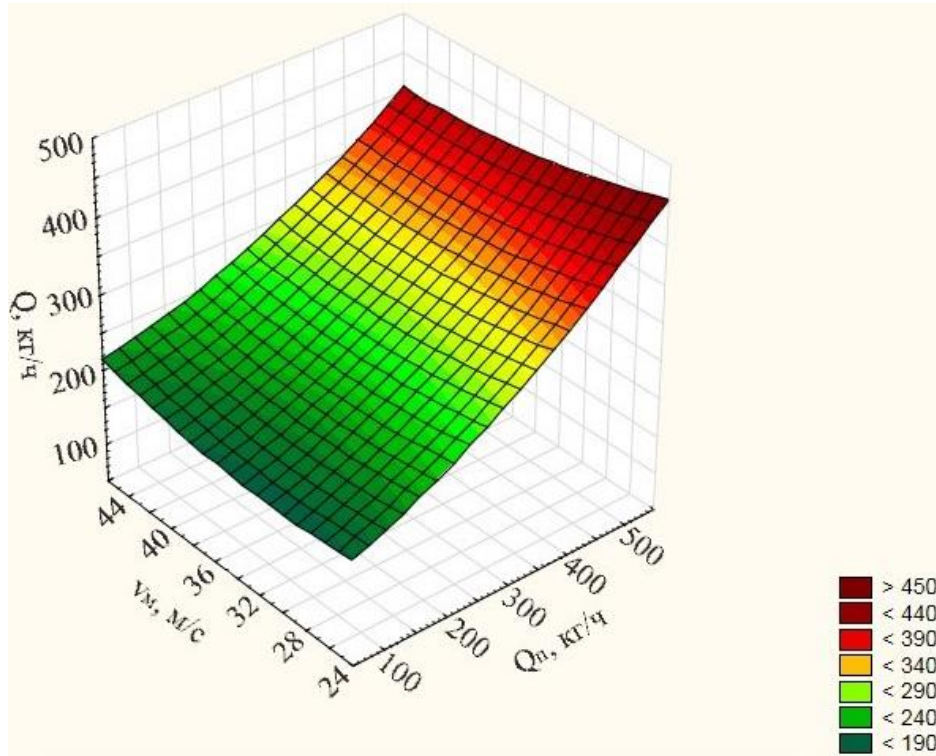


Рисунок 4.9 – Зависимость производительности  $Q$  молотковой дробилки от величины подачи  $Q_{II}$  измельчаемого материала и окружной скорости молотков  $v_M$

Как видно из графика (рисунок 4.9) при значениях величины подачи измельчаемого материала  $Q_{II}$  равном 300 кг/ч и окружной скорости молотков  $v_M = 40$  м/с достигается производительность молотковой дробилки 300 кг/ч.

По результатам проведенных исследований, было получено уравнение регрессии (4.4) и соответствующая ему графическая зависимость энергоемкости процесса измельчения лужги крупяных и масличных культур от величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков (рисунок 4.10).

$$E = 1,4865 - 0,0008 \cdot Q_{II} - 0,006 \cdot v_M + 3,6792E-6 \cdot Q_{II}^2 - 3,7716E-5 \cdot Q_{II} \cdot v_M + \quad (4.4)$$

$$+ 0,0002 \cdot v_m^2$$

Адекватность описания опытных данных уравнением (4.5) проверялось по критерию Фишера.

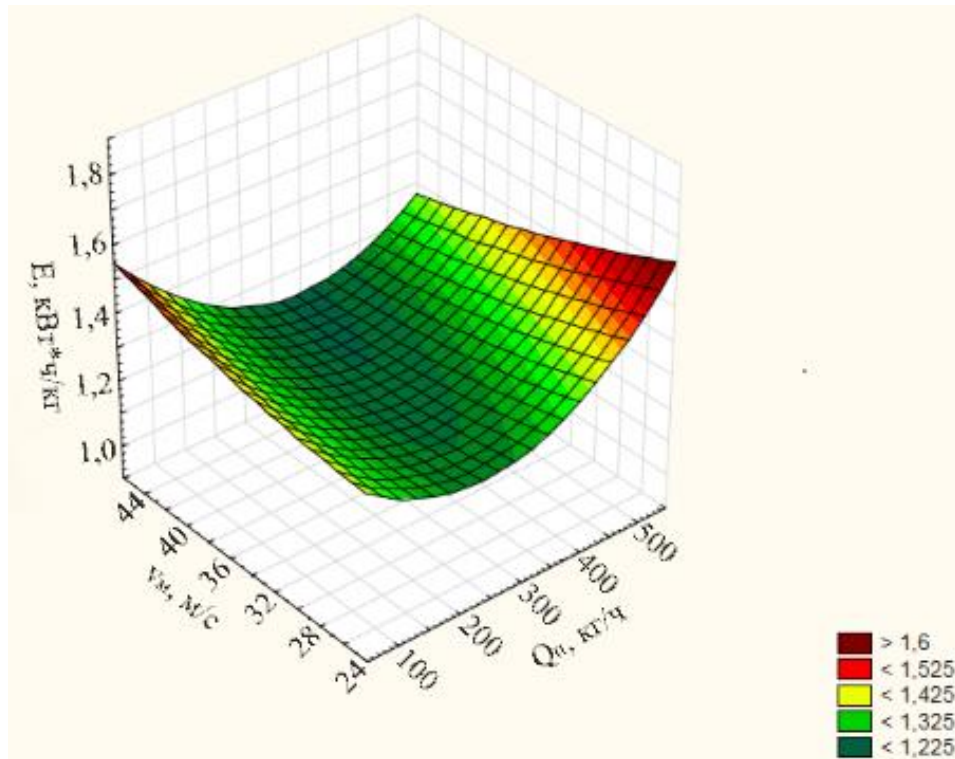


Рисунок 4.10 – Зависимость энергоемкости процесса измельчения  $E$  от величины подачи  $Q_{II}$  измельчаемого материала и окружной скорости молотков  $U_m$

Как видно из графика (рисунок 4.10), энергоемкость процесса измельчения при малой величине подачи измельчаемого материала  $Q_{II}$  до 250 кг/ч увеличивается, но с увеличением подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки энергоемкость начинает уменьшаться, поскольку подводимая мощность к ротору дробилки остается постоянной. При подаче 300 кг/ч достигается минимальное значение энергоемкости 1,23 ... 1,35 кВт·ч/кг. Дальнейшее увеличение величины подачи приводит к увеличению энергоемкости процесса измельчения и при подаче более 300 кг/ч дробилка работает в режиме завала.

### 4.3 Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований

На рисунках 4.11 и 4.12 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости влияния величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков на производительность молотковой дробилки.

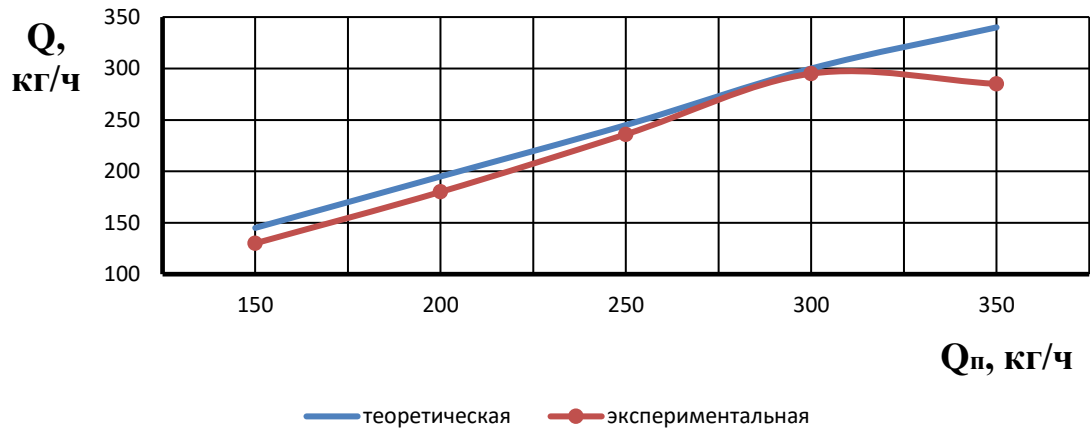


Рисунок 4.11 - Зависимость производительности  $Q$  молотковой дробилки от величины подачи  $Q_p$  измельчаемого материала

Из рисунка 4.11 видно, что экспериментальная кривая немного ниже теоретической, за счет непостоянства насыпной плотности измельчаемой массы и коэффициента заполнения желоба питающего устройства.

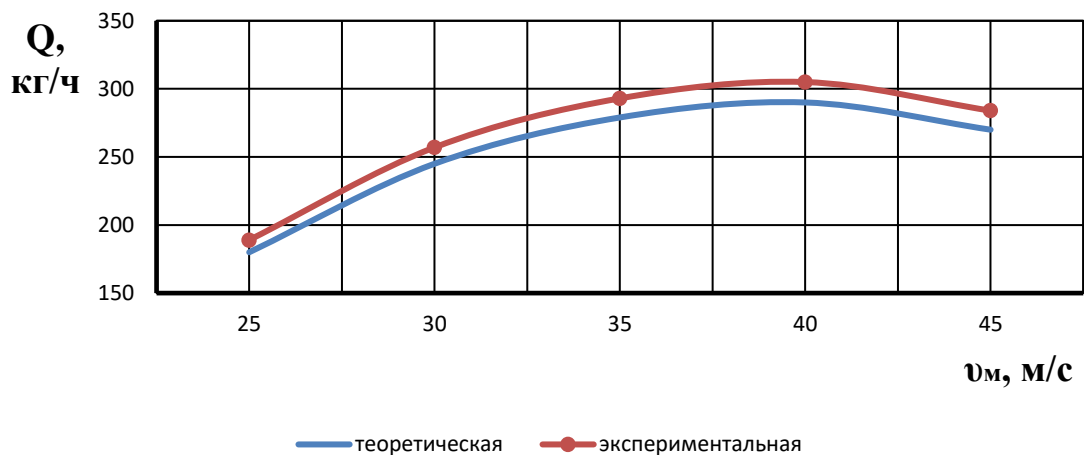


Рисунок 4.12 – Зависимость производительности  $Q$  молотковой дробилки от окружной скорости молотков  $v_m$



На рисунках 4.13 и 4.14 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости влияния величины подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков на энергоемкость процесса измельчения.

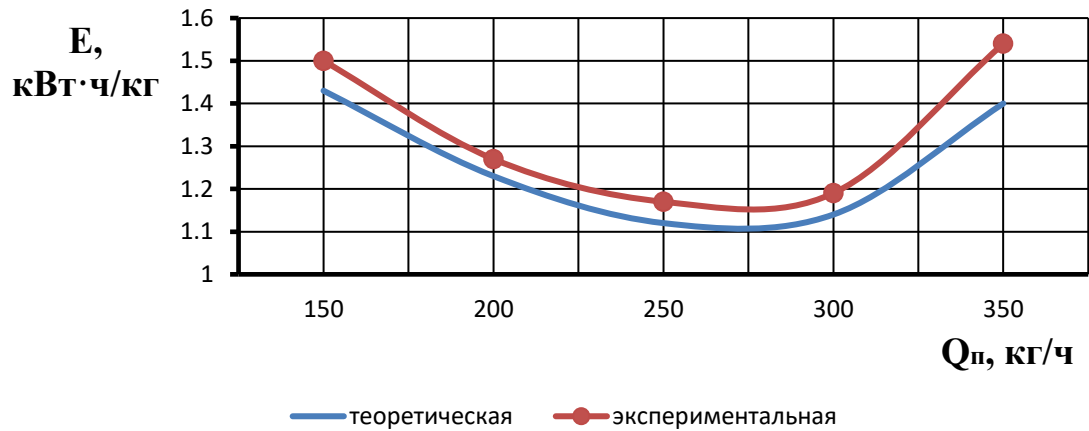


Рисунок 4.13 – Зависимость энергоемкости  $E$  процесса измельчения от величины подачи  $Q_{п}$  измельчаемого материала

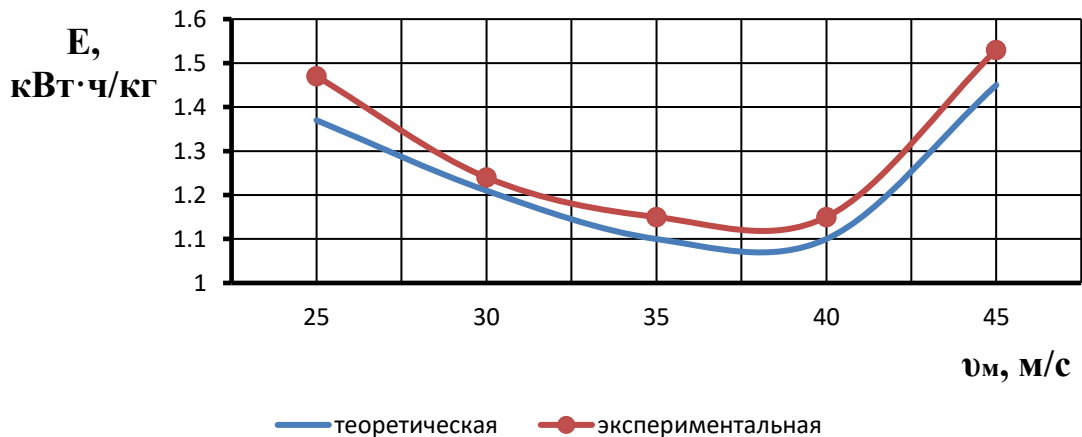


Рисунок 4.14 – Зависимость энергоемкости  $E$  процесса измельчения от окружной скорости молотков  $v_{м}$

Анализируя зависимости (рисунок 4.11 – 4.14) можно сделать вывод, что производительность и энергоемкость молотковой дробилки от подачи измельчаемого материала и окружной скорости молотков изменяются по нелинейной закономерности и согласуются на основании критерия Пирсона с доверительной вероятностью 0,95.

#### 4.4 Выводы

Исходя из результатов проведенных экспериментальных исследований были сформулированы основные выводы:

1. По результатам экспериментальных исследований было выбрано продольное расположение питающего устройства относительно вала ротора дробилки при котором величина подачи увеличивается на 5 ... 7 %, а энергоемкость процесса подачи снижается на 7 ... 10 %.

2. Минимальная энергоемкость процесса подачи измельчаемого материала к рабочим органам молотковой дробилки, равная 1,12 ... 1,21 кВт·ч/кг достигается при частоте вращения  $n_n$  60 ... 70 мин<sup>-1</sup> и диаметре  $D_n$  барабана питающего устройства равном 0,07 м, при этом величина подачи измельчаемого материала составляет 250 ... 300 кг/ч.

3. При значении окружной скорости молотков 40 м/с энергоемкость процесса для каждого вида измельчаемого материала принимает минимальное значение, т.е. окружная скорость в данных пределах является оптимальной.

4. По результатам экспериментальных исследований выбраны оптимальные значения исследуемых параметров работы молотковой дробилки, при которых обеспечивается мелкий помол. Так для оптимальных параметров работы экспериментальной молотковой дробилки обеспечивается мелкий помол 0,15 ... 0,4 мм при величине подачи 300 кг/ч и окружной скорости молотков 40 м/с.

5. При значении величины подачи равной 300 кг/ч достигается значение производительности молотковой дробилки 300 кг/ч и соответствующее ей значение энергоемкости 1,23 ... 1,35 кВт·ч/кг.

## ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

### 5.1 Результаты производственных испытаний молотковой дробилки

В поставленных задачах исследований были предусмотрены производственные испытания опытного образца молотковой дробилки.

Производственные испытания молотковой дробилки проводились на следующих сельскохозяйственных предприятиях: ООО «Марс-07» (г. Саратов), ЗАО «Алтайская крупа» (Алтайский край, Советский р-н, с. Советское), КФХ «Демкин А.П.» (Саратовская обл., Екатериновский р-н, с. Упоровка).

Для производственного сравнения была выбрана молотковая дробилка ИЗКБ-1. Она более доступна по цене и является одной из основных моделей, используемой в личных подсобных и малых фермерских хозяйствах [95, 102].

На молотковую дробилку ИЗКБ-1 были установлены новые молотки и питающее устройство. В течение 35 дней через каждую рабочую неделю производился отбор навесок измельченной массы весом 5 кг.

За период проведения эксперимента по молотковой дробилке ИЗКБ-1 количество измельченной массы, отвечающей требуемым значениям крупности, не превышало 68 %. При этом, недоизмельченную массу можно подвергнуть дополнительному измельчению, но это сопровождается дополнительным объемом работ и затратами. Частицы размером менее 0,35 мм, составили в среднем 27 % за весь эксперимент.

Производительность молотковой дробилки ИЗКБ-1, соответствует заявленной в техническом паспорте и составила 200 ... 245 кг/ч, а предлагаемой – 250 ... 300 кг/ч.

На одну тонну измельченной массы фракция требуемой крупности в среднем составила 954 кг в предлагаемой и 720 кг в ИЗКБ-1. Анализ средних показателей дробилок показал, что частицы размером менее 0,35 мм, в предлагаемой дробилке

составляют 2,5 %, что в 4,5 раза меньше, чем в ИЗКБ-1. Фракция с частицами требуемого размера в среднем составляет 97,5 % против 72 % в пользу предлагаемой дробилки, а недоизмельченные частицы присутствовали только в ИЗКБ-1.

## **5.2 Экономическая эффективность использования предлагаемой конструкции молотковой дробилки**

В соответствии с ГОСТ Р 53056-2008 и на основании нормативных документов [63 - 65], которые устанавливают единый подход при проведении экономической оценки сельскохозяйственной техники в Российской Федерации, провели сравнение предлагаемой усовершенствованной конструкции молотковой дробилки с ИЗКБ-1 в производственных условиях ООО «Марс-07».

При сравнительной оценке отдельных машин за счет влияния различных факторов годовой экономической эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \left( \frac{C_{\text{н}} Q_{\text{год.н}} - C_{\text{н}}}{Q_{\text{год.н}}} - \frac{C_{\text{б}} Q_{\text{год.б}} - C_{\text{б}}}{Q_{\text{год.б}}} \right) Q_{\text{год.н}}, \quad (5.1)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{год}}$  - годовой экономический эффект, руб.;  $C_{\text{н}}$ ,  $C_{\text{б}}$  - цена реализации готовой продукции по новому и базовому вариантам, руб./т;  $C_{\text{н}}$ ,  $C_{\text{б}}$  - себестоимость производства всей продукции по новому и базовому вариантам, руб.;  $Q_{\text{год.н}}$ ,  $Q_{\text{год.б}}$  - годовой объем работ для нового и базового вариантов, т.

Себестоимость производства всей продукции определяется по формуле:

$$C = Z_{\text{пл}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{з}}. \quad (5.2)$$

Себестоимость готового продукта (единицы продукции) при использовании сравниваемых дробилок:

$$C^1 = \frac{C}{Q_{\text{год}}}. \quad (5.3)$$

Годовой объем работ (готовой продукции):

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{см}} T \tau, \quad (5.4)$$

где  $Q_{\text{см}}$  - производительность молотковой дробилки за час сменного времени, кг/ч;  $T$  - годовая загрузка дробилки, ч;  $\tau$  - коэффициент использования сменного времени.

Затраты на оплату труда  $Z_{\text{пл}}$  определяются с учетом зарплаты за выполнение объема работ  $Z_{\text{оп}}$  и отчислений на социальные нужды  $Z_{\text{соц}}$ . Заработную плату на выполнение годового объема работ определяем по формуле:

$$Z_{\text{оп}} = \frac{L C_{\text{тар}} K_{\text{сл}} (1 + K_{\text{доп}})}{Q_{\text{см}}}, \quad (5.5)$$

где  $L$  - количество обслуживающего персонала, чел;  $C_{\text{тар}}$  - тарифная ставка оператора за выполнение работ, руб;  $K_{\text{сл}}$  - коэффициент сложности работ;  $K_{\text{доп}}$  - размер дополнительной оплаты работников.

Отчисления на социальные нужды представляют единый социальный налог (ЕСН) [28], который включает в себя: отчисления в Пенсионный фонд - 22%, отчисления в Страховой фонд - 2,9%, отчисления в Фонд медицинского страхования - 5,1%:

$$Z_{\text{соц}} = Z_{\text{оп}} K_{\text{отч}} / 100, \quad (5.6)$$

где  $K_{\text{отч}}$  - нормативные отчисления на социальные нужды, %,  $K_{\text{отч}} = 30\%$ .

Оплата труда с учетом отчислений на социальные нужды на готовый объем работ:

$$Z_{\text{пл}} = Z_{\text{оп}} + Z_{\text{соц}}. \quad (5.7)$$

Годовые прямые эксплуатационные затраты складываются из амортизационных отчислений (16,6%), затрат на их ремонт (18%), на электроэнергию.

Амортизационные отчисления на эксплуатацию машин определяют по формуле:

$$Z_A = \frac{BH_A}{100TQ_{см}} Q_{год}, \quad (5.8)$$

где  $B$  - балансовая стоимость машины, руб.;  $H_A$  - норма амортизационных отчислений, %;  $T$  - годовая загрузка машины, ч.

Балансовая стоимость машин определяется по выражению:

$$B = Ц + Ц \frac{1 + H_{НАЦ}}{100} + Z_{см} + Z_{тр}, \quad (5.9)$$

где  $Ц$  - цена завода-изготовителя, руб.;  $H_{НАЦ}$  - снабженческо-сбытовая наценка,  $H_{НАЦ} = 12,5$ ;  $Z_{см}$  - затраты на строительно-монтажные и пусконаладочные работы, руб.,  $Z_{см} = 15\%$ ;  $Z_{тр}$  - затраты предприятия на доставку техники, руб.,  $Z_{тр} = 1,5\%$ .

Затраты на ремонт и обслуживание машин определяются по формуле:

$$Z_{ТО} = \frac{BH_{ТО} Q_{год}}{100TQ_{см}}, \quad (5.10)$$

где  $H_{ТО}$  - норматив отчислений на ТО и ремонт машин, %,  $H_{ТО} = 18\%$ .

Затраты на электроэнергию можно определить по формуле:

$$Z_{э} = Ц_{э} H_{э} Q_{год}, \quad (5.11)$$

где  $Ц_{э}$  - тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;  $H_{э}$  - количество потребленной энергии, кВт·ч.

Затраты труда определяются по формуле:

$$Z_{т} = \frac{LQ_{год}}{Q_{см}}. \quad (5.12)$$

Кроме годового экономического эффекта, определим снижение себестоимости продукции [94]:

$$\mathcal{E}_с = \frac{C_б - C_н}{C_б} 100\%, \quad (5.13)$$

энергоёмкости:

$$\mathcal{E}_{эл} = \frac{H_{э}^б - H_{э}^н}{H_{э}^б} 100\%, \quad (5.14)$$

срок окупаемости:

$$T = \frac{B}{\Delta}. \quad (5.15)$$

В таблице 5.2 представлены основные показатели экономической эффективности молотковой дробилки лузги крупяных и масличных культур по сравнению с серийной дробилкой ИЗКБ-1.

Таблица 5.1 – Показатели экономической эффективности предлагаемой молотковой дробилкой по сравнению с ИЗКБ-1

№ п/п	Основные показатели	Молотковые дробилки	
		ИЗКБ-1 (базовый вариант)	Молотковая дробилка (новый вариант)
1	Годовая загрузка дробилки, т	1760	1760
2	Установленная мощность, кВт	30	21
3	Производительность, кг/ч	250	300
4	Число обслуживающего персонала, чел.	1	1
5	Коэффициент использования сменного времени	0,8	0,8
6	Коэффициент использования эксплуатационного времени	0,74	0,8
7	Себестоимость электроэнергии на единицу продукции, руб/кВт·ч	56,05	41,4
8	Годовой экономический эффект, руб.	-	45600
9	Срок окупаемости, лет	-	0,3

Анализ приведенных данных таблицы 5.1 позволяет сделать вывод, что при использовании в сельскохозяйственном производстве усовершенствованной конструкции молотковой дробилки: производительность увеличилась на 20%, расход электроэнергии снижен на 30%, годовой экономический эффект составляет 45600 руб., срок окупаемости - 0,3 года.

### 5.3 Выводы

По данной главе можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая конструкция молотковой дробилки в виде опытного образца прошла производственные испытания на сельскохозяйственных предприятиях: ООО «Марс-07» (г. Саратов), ЗАО «Алтайская крупа» (Алтайский край, Советский р-н, с. Советское), КФХ «Демкин А.П.» (Саратовская обл., Екатериновский р-н, с. Упоровка).

Анализ средних показателей сравниваемых дробилок показал, что частицы размером менее 0,35 мм, в предлагаемой молотковой дробилке составляют 2,5 %, что в 4,5 раза меньше, чем в ИЗКБ-1. Фракция с частицами требуемого размера в среднем составляет 97,5 % против 72 % в пользу предлагаемой дробилки, а недоизмельченные частицы присутствовали только в ИЗКБ-1.

2. Анализ экономической эффективности показывает, что при использовании в сельскохозяйственном производстве молотковой дробилки в сравнении с ИЗКБ-1 получены следующие показатели: производительность увеличилась на 20%, расход электроэнергии снижен на 30%, годовой экономический эффект составляет 45600 руб., срок окупаемости - 0,3 года.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе решена актуальная научно-производственная задача повышения производительности и снижения энергоемкости процесса измельчения лужги крупяных и масличных культур путем применения усовершенствованной конструкции молотковой дробилки.

2. Проведенный анализ существующих конструкций сельскохозяйственных измельчающих машин показал, что они мало применимы и энергоемки при измельчении лужги крупяных и масличных культур. В связи с чем, была разработана конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки, отличающаяся тем, что в ее конструкции используются молотки, рабочая поверхность которого выполнена в виде внешних трехступенчатых прямоугольных выступов, радиусы от вершин которых до оси подвеса равны, и питающим устройством, выполненным в виде барабана с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга (Патенты №№ 166614, 167330, 2615001).

3. Получены теоретические зависимости, позволяющие определить влияние конструктивно-режимных и технологических параметров работы молоткового измельчителя на его производительность и энергоемкость процесса измельчения: выражение (2.12) для определения производительности предлагаемой конструкции питающего устройства, (2.15) для определения угла поворота лопасти желоба, при котором происходит его полная разгрузка от массы измельчаемого материала, (2.26) для определения относительной скорости движения массы измельчаемого материала по лопасти питающего устройства, (2.35) закон движения массы измельчаемого материала к рабочей поверхности молотка. Получены выражения для определения кинетической энергии удара предлагаемой конструкцией молотка (2.41). Были получены условия, позволяющие обеспечить устойчивое равновесие молотка, при котором он не будет отклоняться от радиального положения: угловая скорость вращения ротора с молотками (2.55) и минимальная масса молотков (2.56). Были получены выражения для определения производительность

молоткового измельчителя (2.60), и энергоемкости процесса измельчения с учетом степени измельчения и качества готового продукта (2.64).

4. Применение питающего устройства, выполненного в виде барабана с четырьмя желобами, противоположные стороны которых повернуты относительно друг друга позволяет увеличить величину подачи измельчаемого материала на 8 ... 12 %, а также снизить энергоемкость процесса подачи на 7 ... 10 %, в сравнении с поперечным, при частоте вращения вала питающего устройства  $70 \text{ мин}^{-1}$ .

Полученные уравнения регрессии (4.3), (4.4) позволяют определить производительность молоткового измельчителя и энергоемкость процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур при оптимальных конструктивно-режимных параметрах молоткового измельчителя.

Экспериментальный молотковый измельчитель обеспечивает мелкий помол 0,15 ... 0,4 мм при величине подачи 300 кг/ч и окружной скорости молотков 40 м/с.

При значении диаметра барабана питающего устройства 0,07 м, и частоты вращения равной  $70 \text{ мин}^{-1}$ , а также окружной скорости молотков, равной 40 м/с, обеспечивается производительность молоткового измельчителя 300 кг/ч и соответствующая ей энергоемкость процесса 0,8 ... 1,0 кВт·ч/кг при измельчении лузги крупяных и масличных культур молотковым измельчителем.

5. Производственная проверка опытного образца молотковой дробилки подтвердила, что расход электроэнергии снижается на 30%, повышается производительность на 20 % в сравнении с серийной молотковой дробилкой и получено до 98% выровненного по размеру частиц готового продукта. Годовой экономический эффект от применения предлагаемой конструкции дробилки составляет 45600 руб., срок окупаемости – 0,3 года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.Б. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства: учебн. пособие для высш. с.-х. учеб. Заведений [Текст] / В.Р. Алешкин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.
3. Алферов, К.В. Бункерные установки. Проектирование, расчет и эксплуатация [Текст] / К.В. Алферов, Р.Л. Зенков. – М.: МАШГИЗ, 1955. – 304 с.
4. Антимонов, С.В. Энергосберегающая оптимизация процесса ударно - истирающего измельчения зернового сырья для приготовления кормов: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / С.В. Антимонов. – Оренбург, 1999. – 23 с.
5. Бабич, А.А. Животноводство: проблема кормов [Текст] / А.А. Бабич. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
6. Балданов, М.Б. Обоснование параметров малогабаритного молоткового измельчителя фуражного зерна: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / М.Б. Балданов. – Новосибирск, 2008. – 168 с.
7. Барабашкин, В.П. Молотковые и роторные дробилки. 2-е изд., доп. и перераб. изд [Текст] / В.П. Барабашкин. – М.: Наука, 1973. – 143 с.
8. Булатов, С.Ю. Совершенствование рабочего процесса кормоприготовительных машин путем обоснования их конструктивных и режимных параметров [Текст] / С.Ю. Булатов // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 2 (69). – С. 45 – 53.
9. Валиуллина, В.Н. Использование растительных отходов в производстве сорбционных фильтров [Текст] / В.Н. Валиуллина, В.В. Заболотских // Сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – 2014. – №7. – С. 273 – 276.
10. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.

11. Воронин, В.В. Совершенствование рабочего процесса безрешетной молотковой дробилки: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / В.В. Воронин. – Воронеж, 2006. – 157 с.
12. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в трёх томах [Текст] / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т.1. – 508 с.
13. Глебов, Л.А. Измельчение на бесситовой дробилке [Текст] / Л.А. Глебов, С.В. Зверев, А.А. Хитов, И.Г. Восина // Комбикормовая промышленность. – 1988. – № 4. – С. 45 – 46.
14. Глебов, Л.А. Оценка эффективности работы дробилок [Текст] / Л.А. Глебов, С.В. Зверев, А.А. Хитов // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1987. – № 6. – С. 26 – 42.
15. Глебов, Л.А. Основные направления в совершенствовании процесса измельчения компонентов комбикормов [Текст] / Л.А. Глебов, А.Я. Соколов, А.А. Хитов // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1987. – № 7. – С. 145.
16. Глебов, Л.А. Гранулометрический состав измельченного зерна [Текст] / Л.А. Глебов, Г. Газмаев // Комбикормовая промышленность. – 1997. – № 8. – С. 15 – 16.
17. Гордеев, А.А. Обоснование параметров барабанного дозатора малосыпучих кормов: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А.А. Гордеев. – Чебоксары, 2001. – 199 с.
18. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов [Текст] / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 198 с.
19. Громыко, Н.В. Применение подсолнечной лузги в качестве сорбента для очистки природных вод от ионов тяжелых металлов [Текст] / Н.В. Громыко // Инновационная наука. – 2016. – № 1-3 (13). – С. 41 – 42.
20. Гудкова, Е.А. Стратегия энергосбережения и повышения экологической безопасности ресурсов в фокусе перспективы использования пеллетного топлива [Текст] / Е.А. Гудкова // Строительство: наука и образование. – 2012. - Вып. 3. - Ст. 4. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.

21. Денисов, В.А. Повышение эффективности процесса измельчения зерновых компонентов комбикормов: автореф. дис ... докт. техн. наук [Текст] / В.А. Денисов. – Москва, 1992. – 32 с.
22. Драгилев, А.И. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей [Текст] / А.И. Драгилев. – М.: Колос, 2001. – 352 с.
23. Дробилка ДЗР // URL: <http://agrotm.pro/drobilki-zasypnye-rotornye/> (дата обращения 16.06.2016).
24. Дробилка кормов // <http://www.cnshb.ru> (дата обращения 16.06.2016).
25. Дробилка фирмы «Альпине» // <http://www.activestudy.info> URL: <http://www.activestudy.info/drobilka-firmy-alpine/> (дата обращения 16.06.2016).
26. Дробилки молотковые МДМ 200/400 // <http://uuprint.ru> URL: [http://uuprint.ru/catalog/Oborudovanie/Hlebopekarnoe\\_oborudovanie/Drobilki/6774.html](http://uuprint.ru/catalog/Oborudovanie/Hlebopekarnoe_oborudovanie/Drobilki/6774.html) (дата обращения 16.06.2016).
27. Дружинин, Р.А. Совершенствование рабочего процесса ударно-центробежного измельчителя: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Р.А. Дружинин. – Воронеж, 2014. – 169 с.
28. Единый социальный налог - Справочник: Режим доступа: <http://esn-info.ru/>.
29. Елисеев, В.А. Влияние числа пакетов молотков на работу дробилок [Текст] / В.А. Елисеев, А.М. Тарасенко // Механизация животноводческих ферм: Тр. Саратовского ин-та мех. с.-х им. Калинина. – Саратов, 1970. – Вып. 46. – С. 9 – 13.
30. Елисеев, М.С. Обоснование конструктивно-кинематических параметров питающего устройства [Текст] / М.С. Елисеев, Д.А. Рыбалкин, А.М. Леонтьев, А.А. Марадудин // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 9. – С. 50 – 56.
31. Елисеев, В.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование методов повышения эффективности процесса измельчения зерновых кормов на животноводческих фермах: автореф. дис. ... докт. техн. наук [Текст] / В.А. Елисеев. – Воронеж, 1970. – 62 с.

32. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р.Л. Зенков. – М.: Машгиз, 1964. – 251 с.
33. Зенков, Р.Л. Бункерные устройства [Текст] / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
34. Золотарев, С.В. Ударно-центробежные измельчители фуражного зерна (основы теории и расчета) [Текст] / С.В. Золотарев. – Барнаул: ГИПП «Алтай», 2001. – 200 с.
35. Иванов, В.В. Совершенствование режимов работы дискового измельчителя кормового зерна: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / В.В. Иванов. – Москва, 2014. – 120 с.
36. Иноземцева, Л.В. Совершенствование технологического процесса и обоснование параметров увлажнителя концентрированных кормов: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Л.В. Иноземцева. – Саратов, 2000. – 198 с.
37. Искендеров, Р.Р. Молотковые дробилки: достоинства и недостатки [Текст] / Р.Р. Искендеров, А.Т. Лебедев // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – №1(17). – С. 27 – 30.
38. Использование лузги и шелухи подсолнечника, сосновых иголок для удобрения почвы. URL: <http://www.agro-biz.ru/udobreniya/ispolzovanie-luzgi-sheluhi-podsolnechnika-sosnovyih-igolok-dlya-udobreniya-pochvyi.html> (дата обращения: 04.11.2016).
39. Карпова, Г.В. Влияние биоконверсии целлюлозосодержащих кормов на состояние естественной резистентности, Т- и В-систем иммунитета телят [Текст] / Г.В. Карпова // Вестник ОГУ. – 2007. – №4. – С. 130 – 132.
40. Карпова, Г.В. Влияние твердофазной бактериальной ферментации целлюлозосодержащих кормов на уровень витаминов в молоке коров [Текст] / Г.В. Карпова, Р.Т. Маннапова // Вестник ОГУ. – 2007. – №10. – С. 152 – 155.
41. Клушанцев, Б.В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации [Текст] / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

42. Коваленко, В.П. Механизация технологических процессов в животноводстве [Текст] / В.П. Коваленко, И.М. Петренко. – Краснодар, Агропром полиграфист, 2003. – 432 с.
43. Коношин, И.В. Перспективный способ регулирования степени измельчения сыпучих продуктов в молотковых дробилках [Текст] / И.В. Коношин, А.В. Черепков // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – Т. 1 - № 1 – С. 178 – 181.
44. Коношин, И.В. Повышение эффективности функционирования молотковых дробилок при измельчении зерна [Текст] / И. В. Коношин, А.В. Звекон, А.В. Черепков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2014. – № 1(13). – С. 127 – 132.
45. Коношин, И.В. Совершенствование процесса измельчения и обоснование конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки с решетом спиралевидной формы: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / И.В. Коношин. – Орел, 2004. – 160 с.
46. Корма: приготовление, хранение, использование: Справочник [Текст] / В.В. Щеглов, Л.Г. Боярский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 255 с.
47. Костин, В.Н. Статистические методы и модели: Учебное пособие [Текст] / В.Н. Костин, Н.А. Тишина. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 138 с.
48. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов [Текст] / Г.М. Кукта // Кормопроизводство. – 1992. – № 3. – С. 6 – 7.
49. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник. Ч.1 [Текст] / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 285 с.
50. Куприц, Я.Н. Технология переработки зерна [Текст] / Я.Н. Куприц. – М.: Колос, 1965. – 504 с.
51. Лебедев, А.Т. Экспериментально теоретические подходы к оценке эффективности процесса измельчения зерновых материалов [Текст] / А.Т. Лебедев, Н.В. Валуев, Р.Р. Искендеров // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – №2 (14). – С. 61 – 64.

52. Лебедев, А.Т. Основные направления повышения эффективности технологических процессов [Текст] / А.Т. Лебедев. // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №6. – С. 3 – 5.

53. Лебедь, Н.И. Обоснование движения материала в роторном измельчителе плодоовощной продукции [Текст] / Н.И. Лебедь // Сельский механизатор. – 2017. – № 6. – С. 32 – 33.

54. Левченко, Г.В. Механизация приготовления субстратов для промышленного грибоводства [Текст] / Г.В. Левченко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 11-2 (30). – С. 78 – 79.

55. Леонтьев, А.А. Повышение эффективности погрузчика картофеля путем обоснования параметров роторно-цепного питателя погрузчика непрерывного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А.А. Леонтьев. – Саратов, 2010. – 22 с.

56. Листопад, И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства [Текст] / И.А. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1989. – 88 с.

57. Лысенко, Н.Н. Повышение продуктивности гладиолусов при применении биологически активных веществ [Текст] / Н.Н. Лысенко, М.А. Догадина // Вестник ОрелГАУ. – 2015. – №5. – С. 34 – 39.

58. Макаров, В.И. Машины для дробления и сортировки материалов: Справочник [Текст] / В.И. Макаров, В.П. Соколов. – М.; Л.: Машиностроение, 1966. – 158 с.

59. Марадудин, А.М. Теоретическое обоснование частоты и амплитуды колебаний при вибровыпуске кормовых смесей из бункеров дозирующих и кормоприготовительных машин [Текст] / А.М. Марадудин, М.Г. Загоруйко, А.В. Перетятыко, А.А. Леонтьев // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 46 – 50.

60. Машины, оборудование и приспособления для переработки и приготовления кормов. Дробилки зерна и пищевых отходов // <http://dm-st.ru> URL: <http://dm-st.ru/node/434> (дата обращения: 17.10.2016).



61. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
62. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм [Текст] / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1987. – 560 с.
63. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. – М.: Минсельхозпром России, 1998. – 220 с.
64. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч.2. Нормативно-справочный материала. – М.: Минсельхозпром России, 1998. – 252 с.
65. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве. Под. Ред. Драгайцева В.И. Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. – М.: 2010. – 146 с.
66. Молотковая дробилка DFZC // <http://www.buhlergroup.com> URL: <http://www.buhlergroup.com/europe/ru/2103.htm#.V2JknR91Gf8> (дата обращения 16.06.2016).
67. Молотковые дробилки фирмы «Сокам» // <http://www.activestudy.info> URL: <http://www.activestudy.info/molotkovye-drobilki-firmy-sokam/> (дата обращения 16.06.2016).
68. Мурзагалиев, К.Г. Совершенствование технологического процесса подачи и измельчения грубых кормов бункерными измельчителями с молотковыми рабочими органами: дис. ... док. техн. наук [Текст] / К.Г. Мурзагалиев. – Костанай, 1999. – 432 с.
69. Мухин, В.А. Механизация приготовления кормов: Учебное пособие [Текст] / В.А. Мухин. – Саратов: Саратов. гос. с.-х. акад., 1994. – 188 с.
70. Мухтасипов, Н.М. Совершенствование процесса измельчения и обоснование параметров кормодробилки молоткового типа: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Н.М. Мухтасипов. – Оренбург, 2001. – 126 с.
71. Оболенский, Н.В. Влияние конструктивных и технологических параметров измельчителя грубых кормов на удельную работу измельчителя [Текст]

/ Н.В. Оболенский, С.Ю. Булатов, М.С. Вандышева // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 4. – С. 38 – 40.

72. Основные показатели сельского хозяйства в России. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1140096652250](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140096652250).

73. Патент 166614 РФ, МПК В02С 13/28 Молоток дробилки / Елисеев М.С., Рыбалкин Д.А.; заявитель и патентообладатель: СГАУ имени Н.И. Вавилова. - № 2016110503/13; опубл. 10.12.2016. Бюл. № 34. – 2 с.

74. Патент 2252819 РФ, МПК В01J 20/24, В01J 20/30 Способ утилизации лузги подсолнечной / Осадченко И.М., Горлов И.Ф., Шигаева Н.И.; заявитель и патентообладатель: ГУ ВНИТИ ММС и ППЖ РАСХН. - № 2008143817/15; опубл. 27.05.2005. Бюл. № 15. – 4 с.

75. Патент 2311224 РФ, МПК В01J 2/00, А23К 1/20 Способ получения гранул из подсолнечной лузги / Сидоров Л.Л., Лукашев В.Е.; заявитель и патентообладатель: Сидоров Л.Л., Лукашев В.Е. - № 2005117376/15; опубл. 27.11.2007. Бюл. № 33. – 7 с.

76. Патент 2373262 РФ, МПК С10L 5/44 Способ получения топливных гранул / Смирнов В.Ф., Фомин Ю.Н.; заявитель и патентообладатель: Открытое акционерное общество Группа компаний "Держава". - № 2007139598/04; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32. – 6 с.

77. Патент 2395336 РФ, МПК В01J 20/20, В01J 20/24 Способ получения углеродного адсорбента из лузги подсолнечной / Овчаров С.Н., Долгих О.Г.; заявитель и патентообладатель: ООО НПФ «Нефлесорбенты». - № 2008143817/15; опубл. 27.17.2010. Бюл. № 21. – 10 с.

78. Патент 2447044 РФ, МПК С04В 40/00 Строительный материал (варианты) и способ изготовления изделий из него (варианты) / Рамазанов А.Г. Туренко В.М.; заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение «БИОМИН». - № 2009144019/03; опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10. – 24 с.

79. Патент 2615001 РФ, МПК В02С 13/00, В02С 13/28. Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции / Елисеев М.С., Загоруйко М.Г., Елисеев И.И., Рыбалкин Д.А.; заявитель и патентообладатель: СГАУ имени Н.И. Вавилова. - № 2016110300; опубл. 03.04.2017. Бюл. № 10. – 9 с.
80. Петров А.А. Повышение надежности рабочих органов кормодробилок молоткового типа: дис. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2007. – 153 с.
81. Пленчатость зерна. – Режим доступа: <http://www.activestudy.info/plenchatost-zerna/> (дата обращения: 25.08.2017).
82. Разработка и расчет молотковой дробилки // <http://privetstudent.com>  
URL: <http://privetstudent.com/diplomnyye/diplomnye-raboty-po-mashinostroeniyu/3361-razrabotka-i-raschet-molotkovoy-drobilki.html> (дата обращения 16.06.2016).
83. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 63 с.
84. Ревенко, И.И. О влиянии скорости молотков на эффективность процесса измельчения кормовых материалов [Текст] / И.И. Ревенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1971. – С. 31 – 33.
85. Резник, Е.И. Механизация обработки соломы [Текст] / Е.И. Резник // Молочное и мясное скотоводство. – 1977. – № 4. – С. 39 – 42.
86. Рециклинг отходов в АПК: справочник [Текст] / И.Г. Голубев [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2011. – 296 с.
87. Рогинский, Г.А. Дозирование сыпучих материалов [Текст] / Г.А. Рогинский. – М.: Химия, 1978. – 176 с.
88. Руденко, С.А. Исследование Российского рынка древесных пеллет: сырьевой аспект [Текст] / С.А. Руденко, О.М. Репина // Вестник Орел ГИЭТ. – 2014. – № 1(27). – С. 136 – 141.
89. Рыбалкин, Д.А. Использование отходов переработки сельскохозяйственной продукции для производства твердого биотоплива [Текст] / М.С. Елисеев, И.И. Елисеев, Д.А. Рыбалкин // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 49 – 50.

90. Рыбалкин, Д.А. Перспективная схема молоткового измельчителя [Текст] / М.С. Елисеев, И.И. Елисеев, Д.А. Рыбалкин // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 56 – 57.

91. Рыбалкин, Д.А. Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса молоткового измельчителя [Текст] / М.С. Елисеев, Д.А. Рыбалкин, А.В. Перетятыко // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 11. – С. 48 – 51.

92. Рыбалкин, Д.А. Теоретическое обоснование параметров работы устройства для ориентированной подачи измельчаемого материала к рабочим органам молоткового измельчителя [Текст] / М.С. Елисеев, И.И. Елисеев, Д.А. Рыбалкин // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 3. – С. 53 – 55.

93. Рыбалкин, Д.А. Обоснование процесса измельчения лузги молотковыми дробилками [Текст] / М.С. Елисеев, И.И. Елисеев, Д.А. Рыбалкин // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 6. – С. 53 – 55.

94. Рыбалкин, Д.А. Разработка средств механизации по измельчению отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции [Текст] / М.С. Елисеев, М.Г. Загоруйко, И.И. Елисеев, Д.А. Рыбалкин // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 4. – С. 54 – 57.

95. Рындин, А.Ю. Молотковая дробилка для личных подсобных и крестьянских фермерских хозяйств [Текст] / А.Ю. Рындин // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 8 (39). – С. 97 – 101.

96. Савиных, П.А. Исследование измельчителя фуражного зерна роторно-центробежного типа с различными рабочими органами [Текст] / П.А. Савиных, А.В. Палицын, И.И. Иванов // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. - № 2 (26). – С. 119 – 129.

97. Савиных, П.А. Малогабаритная молотковая зернодробилка [Текст] / П.А. Савиных, В.Н. Нечаев, С.Н. Завиваев, А.Ю. Рындин // Сельский механизатор. – 2015. – № 5. – С. 23.

98. Селиванов, А.С. Комплексная переработка целлюлозосодержащих отходов лесоперерабатывающих и сельскохозяйственных предприятий на основе

биоконверсии [Текст] / А.С. Селиванов // Биотехнология на рубеже веков: проблемы и перспективы. – Киров, 2001. – С. 89 – 91.

99. Сыроватка, В.И. Исследование процесса измельчения зерна ударом [Текст] / В.И. Сыроватка // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1962. – №11. – С. 27 – 29.

100. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С.М. Тарг. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.

101. Терюшков, В.П. Исследование устройства измельчения сыпучих материалов скалывающего типа [Текст] / В.В. Коновалов, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков, А.П. Чириков, Ю.В. Родионов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 2 (30). – С. 57 – 63.

102. Терюшков, В.П. Обоснование рациональных параметров устройства измельчения кормов скалывающего типа [Текст] / В.В. Коновалов, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков, А.П. Чириков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 2 (24). – С. 140 – 145.

103. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник [Текст] / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, А.Е. Яблоков, I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Деменского. – М.: ДеЛи принт, 2010. – 696 с.

104. Универсальная дробилка кормов КДУ-2,0 // <http://mehanik-ua.ru> URL: <http://mehanik-ua.ru/oborudovanie-dlya-drobleniya-kormov/664-universalnaya-drobrilka-kormov-kdu-2-0.html> (дата обращения 16.06.2016).

105. Фарбман, Г.Я. Исследование процесса гранулирования кормов для птиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Г.Я. Фарбман. - Ленинград-Пушкин, 1963. – 26 с.

106. Хлынин, П.П. Совершенствование конструктивно-режимных параметров дробилки молоткового типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / П.П. Хлынин. – Оренбург, 2003. – 19 с.

107. Черепков, А.В. Совершенствование процесса измельчения зерна с обоснованием конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки: дис. канд. техн. наук [Текст] / А.В. Черепков. – Воронеж, 2016. – 152 с.

108. Черняев, Н.П. Технология комбикормового производства [Текст] / Н.П. Черняев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

109. Чикина, Н.С. Сорбент на основе пенополиуретана и шелухи гречихи для сбора нефтяных разливов [Текст] / Н.С. Чикина, А.В. Мухамедшин, Л.А. Зенитова // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – №12 (80). – С. 38 – 42.

110. Чирков, С.Е. Совершенствование процесса измельчения в молотковой дробилке: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / С.Е. Чирков. – М. 1984. – 25 с.

111. Шагдыров, И.Б. Технология и параметры многоступенчатых измельчителей фуражного зерна с внутренней сепарацией: дис. ... док. техн. наук [Текст] / И.Б. Шагдыров. – Новосибирск, 2013. – 316 с.

112. Шелуха от семечек найдет применение в строительстве. – Режим доступа: <http://newsland.com/user/4297712996/content/shelukha-ot-semechek-naidet-primeneniye-v-stroitelstve/4479916> (дата обращения: 28.02.2016).

113. Шуб, Г.И. Исследование технологического процесса измельчения сырья комбикормового производства на молотковой дробилке: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Г.И. Шуб. – Целиноград, 1966. – 21 с.

114. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: учебник [Текст] / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. - 16-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2011. – 608 с.: ил.

115. Ямансарова, Э.Т. Перспектива применения новых сорбционных материалов для улучшения экологического состояния водных ресурсов [Текст] / Э.Т. Ямансарова, Н.В. Громыко, Д.Н. Хасанова, М.И. Абдуллин // Экономика и экологический менеджмент. – 2015. – №1. – С. 265 – 270.

116. Яровой, М.Н. Оценка эффективности использования модернизированной безрешетной молотковой дробилки [Текст] / В.В. Воронин, М.Н. Яровой, А.А. Сундеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2015. – № 11. – С. 7 - 10.

117. Bond, F.C. Some recent advances in grinding theory and practice / F.C. Bond // Brit. Enang. – 1963. – No. 9. – P. 4 – 9.
118. Healy, B.J. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs / B.J. Healy, J.D. Hancock, G.A. Kennedy. P.J. Bramel-Cox, K.C. Behnke, and R.H. Hines // Swine Day. – 1994.
119. Hendrix, A.T. Desing and Perfomans of as mall automatic Hammer mill / A.T. Hendrix // Agricultural Engineering. – 1927. – No. 10. – P. 6 – 7.
120. Kruger, W.S. Basic Principles in volved in desing of the feed gringer / W.S. Kruger // Agricultural Engineering. – 1927. – No. 7. – P. 25 – 26.
121. Savinyh, P. Motion of grain particle along blade of rotor fan of hammer crusher / P. Savinyh, V. Nechaev, M. Nechaeva // 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development. – 2016. – pp. 1072 – 1076.
122. Silver, E.A. A simple system for terting ground feeds / E.A. Silver // Agricultural Engineering. – 1959. – No. 3. – P. 18.
123. Stokman, K. Technologie der Michfutter Herstellung / K. Stokman. – 1960. – 210 s.
124. Sysuev, V. Movement and transformation of grain in twostage crusher Engineering for Rural Development, Proceedings / V. Sysuev, S. Ivanovs, P. Savinyh, V. Kazakov. – 2015. – Vol. 14. – pp. 22 – 27.
125. Sysuev, V. Simulation of elastic deformation propagation of grain under impact crushing in crusher / V. Sysuev, P. Savinyh, A. Aleshkin // 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development. – 2016. – pp. 1065 – 1071.
126. Zhao, X. Research on the New Combined Type Crusher Hammer / X. Zhao, H. Zhou, S. Rong // International Conference on Advanced Engineering Materials and Architecture Science. – 2014. – Vol. 488-489. – pp. 1160 – 1164.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2615001

**Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Авторы: *Елисеев Михаил Семенович (RU), Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU), Елисеев Иван Иванович (RU), Рыбалкин Дмитрий Алексеевич (RU)*

Заявка № 2016110300

Приоритет изобретения 21 марта 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 03 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 марта 2036 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 615 001** (13) **C1**(51) МПК  
B02C 13/00 (2006.01)  
B02C 13/28 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016110300, 21.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.03.2016Дата регистрации:  
03.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.03.2016

(45) Опубликовано: 03.04.2017 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ  
ВО "Саратовский государственный аграрный  
университет имени Н.И. Вавилова", патентный  
отдел

(72) Автор(ы):

Елисеев Михаил Семенович (RU),  
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU),  
Елисеев Иван Иванович (RU),  
Рыбалкин Дмитрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2236295 C2, 20.09.2004. US 2010/  
0019074 A1, 28.01.2010. RU 157761 U1,  
10.12.2015. SU 643185 A, 28.01.1979. US  
4037796 A, 26.07.1977.

(54) Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскохозяйственному производству и может быть использовано для измельчения отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции. Молотковый измельчитель содержит цилиндрический корпус с загрузочным бункером и выгрузным окном, ротор с шарнирно закрепленными посредством пальцев молотками, ребра-противорезы. Ротор расположен соосно с корпусом, а ребра-противорезы, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника, установлены перед загрузочной горловиной и после нее до выгрузного окна, перпендикулярно оси ротора в зазорах между траекториями движения

молотков. Решето с отверстиями, выполненными в виде усеченного конуса, расположено напротив выгрузного окна, а в горловине загрузочного бункера смонтировано средство для ориентированной подачи отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции, представляющее собой цилиндр с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга. Рабочая поверхность молотков разделена на ударный прямой участок и участок схода отходов в виде эвольвенты. Молотковый измельчитель обеспечивает снижение удельной энергоемкости. 4 ил.

RU 2 615 001 C1

RU 2 615 001 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 615 001** (13) **C1**(51) Int. Cl.  
*B02C 13/00* (2006.01)  
*B02C 13/28* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2016110300, 21.03.2016

(24) Effective date for property rights:  
21.03.2016Registration date:  
03.04.2017

Priority:

(22) Date of filing: 21.03.2016

(45) Date of publication: 03.04.2017 Bull. № 10

Mail address:

410012, g. Saratov, Teatralnaya pl., 1, FGBOU VO  
"Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet  
imeni N.I. Vavilova", patentnyj otdel

(72) Inventor(s):

Eliseev Mikhail Semenovich (RU),  
Zagorujko Mikhail Gennadevich (RU),  
Eliseev Ivan Ivanovich (RU),  
Rybalkin Dmitrij Alekseevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Saratovskij gosudarstvennyj  
agrarnyj universitet imeni N.I. Vavilova" (RU)(54) **HAMMER-TYPE SHREDDER OF AGRICULTURAL PRODUCTION GROCERY GROUP PROCESSING WASTE**

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: hammer-type shredder comprises a cylindrical body with a loading hopper and an unloading window, a rotor with hammers gimbal-mounted by pins, shearing ribs. The rotor is positioned coaxially to the body, shearing ribs having a rectangular shape in cross-section are fixed in front of the loading neck and behind it before the unloading window, perpendicular to the rotor axis in the gaps between the motion trajectories of hammers. Sieve with holes made in the form of a

truncated cone is positioned opposite the unloading window, while a tool for oriented feeding of agricultural production grocery group processing waste is mounted at the neck of the loading hopper, representing a cylinder with four grooves, which opposite sides are turned relative to each other. The working surface of hammers is divided into straight percussion section and section of waste overtail in the form of involute.

EFFECT: reduced energy intensity.

4 dwg

RU 2 615 001 C 1

RU 2 615 001 C 1

RU 2 615 001 C1

Изобретение относится к сельскохозяйственному производству и может быть использовано для измельчения отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции.

Известна молотковая дробилка (Патент РФ №2287371, МПК В02С 13/04, опубл. 20.11.2006 г., бюл. №32), содержащая дробильную камеру, бункер с загрузочной горловиной, решето, установленное по периферии дробильного ротора с молотками, отличающаяся тем, что решето выполнено в виде сегментов, расположенных так, что радиальный зазор между сегментами решета и молотками ротора периодически уменьшается по направлению вращения ротора, начиная от загрузочной горловины на величину от  $S_{max}$  до  $S_{min}$ , при этом тыльная часть кромки каждого отверстия решета выступает к центру ротора по ходу его вращения, а загрузочная горловина установлена тангенциально.

Недостатком данного устройства является увеличение времени нахождения измельчаемого материала в рабочей зоне и невозможность установки ребер-противорезов, вследствие расположения сегментного решета по всей дробильной камере. А изнашивание одного участка сегмента решета увеличивает материальные затраты на замену всего решета.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является молотковый измельчитель кормов (Патент РФ №2046661, МПК В02С 13/284, опубл. 27.10.1995 г.), содержащий корпус с загрузочным бункером и выгрузным окном, ротор с молотками, охватывающие его броневую плиту и классификатор, установленный с возможностью поворота и имеющий участки, на каждом из которых размеры отверстий одинаковы и отличны от размеров отверстий других участков, привод, отличающийся тем, что корпус и классификатор выполнены в виде цилиндров, а броневая плита в виде кругового желоба и размещена внутри классификатора, при этом корпус, классификатор и броневая плита расположены соосно, ротор смещен вниз относительно оси с образованием серповидного зазора между концами молотков и внутренней поверхностью желоба, причем на последнем параллельно оси ротора смонтированы ребра различной высоты.

Данная конструкция имеет следующие недостатки.

Невозможность расположения ребер-противорезов в зазорах между траекториями движения молотков, так как ротор с молотками смещен вниз относительно корпуса, цилиндра и желоба.

Наличие броневой плиты в виде кругового желоба и классификатора в виде перфорированного цилиндра значительно увеличивает металлоемкость, а также усложняет ремонтно-восстановительные работы.

Наличие классификатора в виде перфорированного цилиндра с участками, на каждом из которых размещены отверстия разного диаметра, усложняет его изготовление.

Технической задачей изобретения является упрощение конструкции измельчителя, повышение производительности и снижение удельной энергоемкости.

Поставленная задача решается в молотковом измельчителе отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции, содержащем цилиндрический корпус с загрузочным бункером с выгрузным окном, ротор с шарнирно закрепленными посредством пальцев молотками, ребра.

Отличием от прототипа является то, что ротор расположен соосно с корпусом, ребра-противорезы, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника, установлены на корпусе перед загрузочной горловиной и после нее до выгрузного окна, перпендикулярно оси ротора в зазорах между траекториями движения молотков, кроме того, решето с отверстиями, выполненными в виде усеченного конуса,

RU 2 615 001 C1

обращенными внутрь дробильной камеры, расположено напротив выгрузного окна, а в горловине загрузочного бункера смонтировано средство для ориентированной подачи отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции, представляющего собой лопасть, выгнутую по спирали, рабочая поверхность молотков разделена на ударный прямой участок и участок схода отходов в виде эвольвенты.

На фиг. 1 показан поперечный разрез молоткового измельчителя отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции; на фиг. 2 - разрез А-А на фиг. 1; на фиг. 3 - молоток; на фиг. 4 - средство для ориентированной подачи отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции.

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции состоит из цилиндрического корпуса 1 с загрузочным бункером 2 и выгрузным окном 3, дробильной камерой 4. Внутри корпуса установлены соосно с ним ротор 5 с шарнирно закрепленными посредством пальцев 6 молотками 7, рабочая поверхность которых разделена на ударный прямой участок и участок схода отходов в виде эвольвенты. На цилиндрическом корпусе 1 измельчителя перед загрузочным бункером 2 и после него до выгрузного окна 3, перпендикулярно оси ротора 5 в зазорах между траекториями движения молотков 7 установлены ребра-противорезы 8, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника. Также в цилиндрическом корпусе 1 напротив выгрузного окна 3 установлено решето 9. Отверстия 10 в решете выполнены в виде усеченного конуса, обращенные большим основанием внутрь дробильной камеры 4. В горловине загрузочного бункера 2 смонтировано средство для ориентированной подачи отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции 11, представляющее собой цилиндр с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга.

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции работает следующим образом.

Из бункера накопителя (не показан) отходы переработки (шелуха зерновых и масличных культур) поступает в загрузочный бункер 2, на средство для ориентированной подачи отходов 11, установленное в горловине загрузочного бункера, с которого попадает в цилиндрический корпус 1 с дробильной камерой 4, где вовлекается во вращательное движение и под действием центробежных сил накапливается в рабочей зоне молотков 7, шарнирно закрепленных посредством пальцев 6 на роторе 5. Попадая на прямые участки молотков 7, отходы за счет удара о них измельчаются. Частично измельченные отходы под действием скорости, сообщенной молотками 7, ударяются с большой скоростью о корпус 1 и ребра-противорезы 8, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника, таким образом, чтобы молотки проходили между ними и доизмельчаются. По участку молотков 7 в виде эвольвенты через отверстия 10 решета 9 измельченные отходы удаляются из дробильной камеры в выгрузное окно 3.

Частицы, размеры которых меньше размеров отверстий 10 решета 9, проходят эти отверстия и через выгрузное окно 3 удаляются из дробилки. Более крупные частицы, не прошедшие через отверстия 10 решета 9, подвергаются дополнительному измельчению.

Изобретение позволяет упростить конструкцию измельчителя с целью снижения себестоимости, повысить производительность и снизить удельную энергоемкость при измельчении отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции.

(57) Формула изобретения

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы

RU 2 615 001 C1

сельскохозяйственной продукции, содержащий цилиндрический корпус с загрузочным бункером и выгрузным окном, ротор с шарнирно закрепленными посредством пальцев молотками, ребра-противорезы, отличающийся тем, что ротор расположен соосно с корпусом, ребра-противорезы, имеющие в поперечном сечении форму прямоугольника, 5  
установлены перед загрузочной горловиной и после нее до выгрузного окна перпендикулярно оси ротора в зазорах между траекториями движения молотков, кроме того, решето с отверстиями, выполненными в виде усеченного конуса, обращенными 10  
внутрь дробильной камеры, расположено напротив выгрузного окна, а в горловине загрузочного бункера смонтировано средство для ориентированной подачи отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции, представляющее 15  
собой цилиндр с четырьмя желобами, противоположные стороны которого повернуты относительно друг друга, рабочая поверхность молотков разделена на ударный прямой участок и участок схода отходов в виде эвольвенты.

15

20

25

30

35

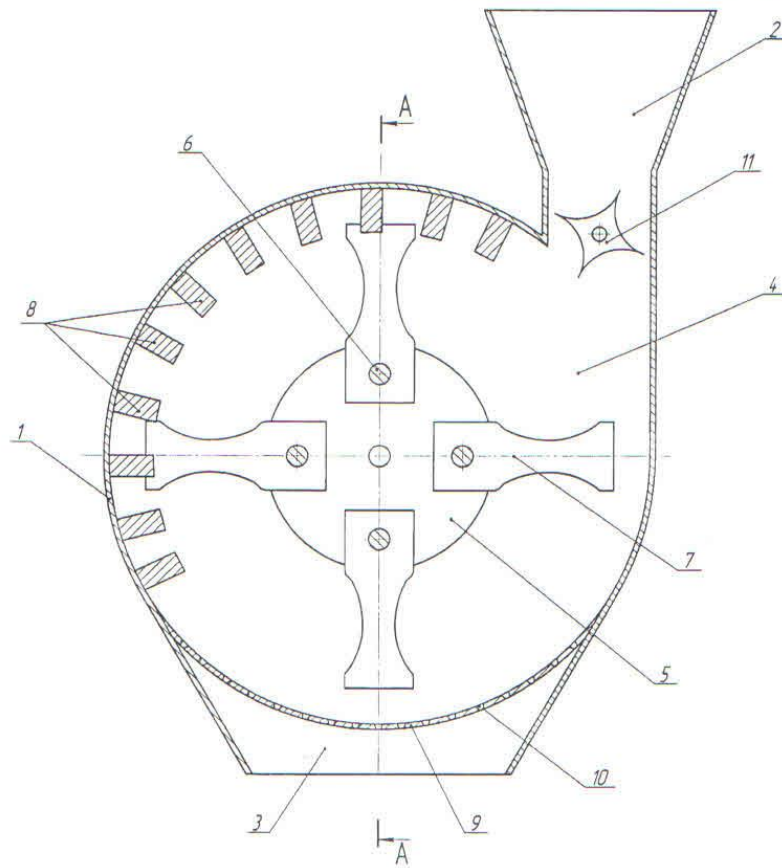
40

45

RU 2 615 001 C1

1

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы  
сельскохозяйственной продукции

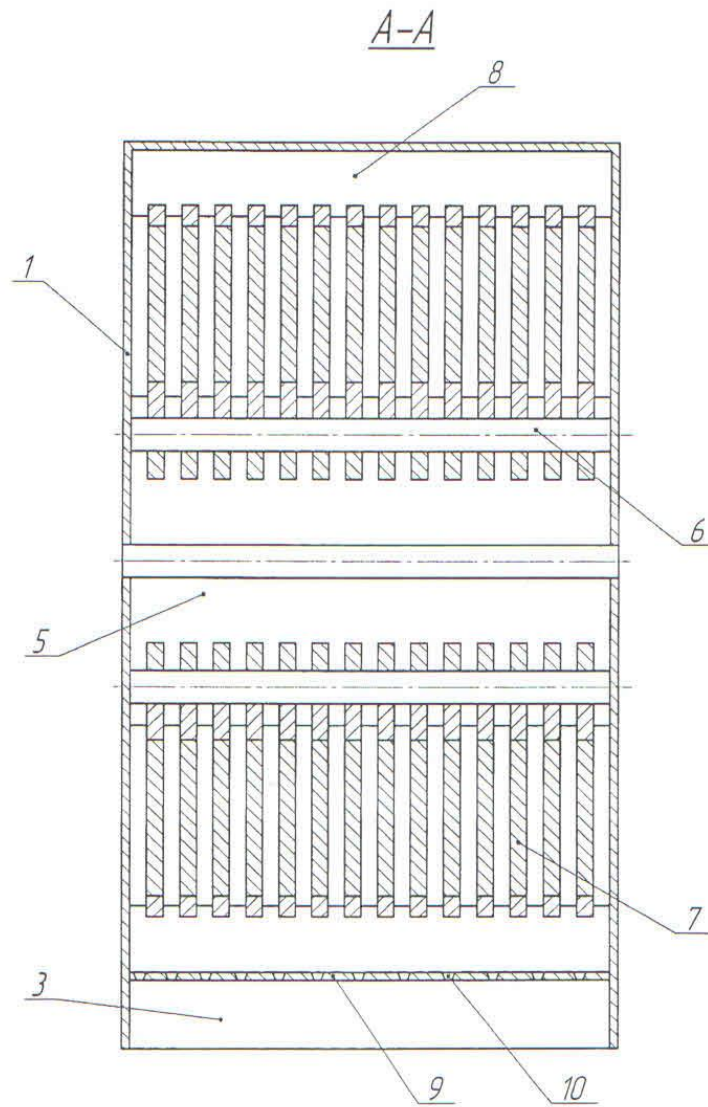


Фиг. 1

2

RU 2 615 001 C1

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы  
сельскохозяйственной продукции

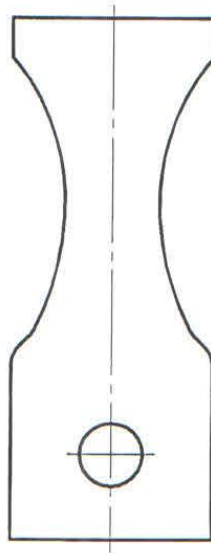


Фиг. 2



RU 2 615 001 C1

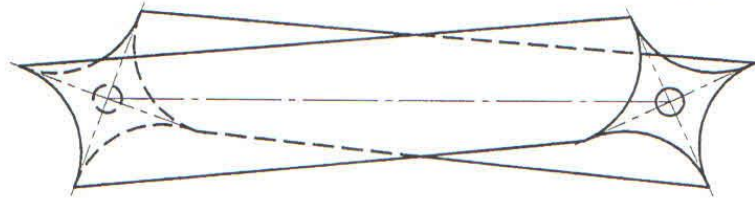
Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы  
сельскохозяйственной продукции



Фиг. 3

RU 2 615 001 C1

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы  
сельскохозяйственной продукции



Фиг. 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 166614

**МОЛОТОК ДРОБИЛКИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2016110503

Приоритет полезной модели 22 марта 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 15 ноября 2016 г.

Срок действия патента истекает 22 марта 2026 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **166 614** (13) **U1**(51) МПК  
B02C 13/28 (2006.01)**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016110503/13, 22.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.03.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.03.2016

(45) Опубликовано: 10.12.2016 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, пл. Театральная, 1, ФГБОУ  
ВО Саратовский ГАУ, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Елисеев Михаил Семенович (RU),  
Рыбалкин Дмитрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

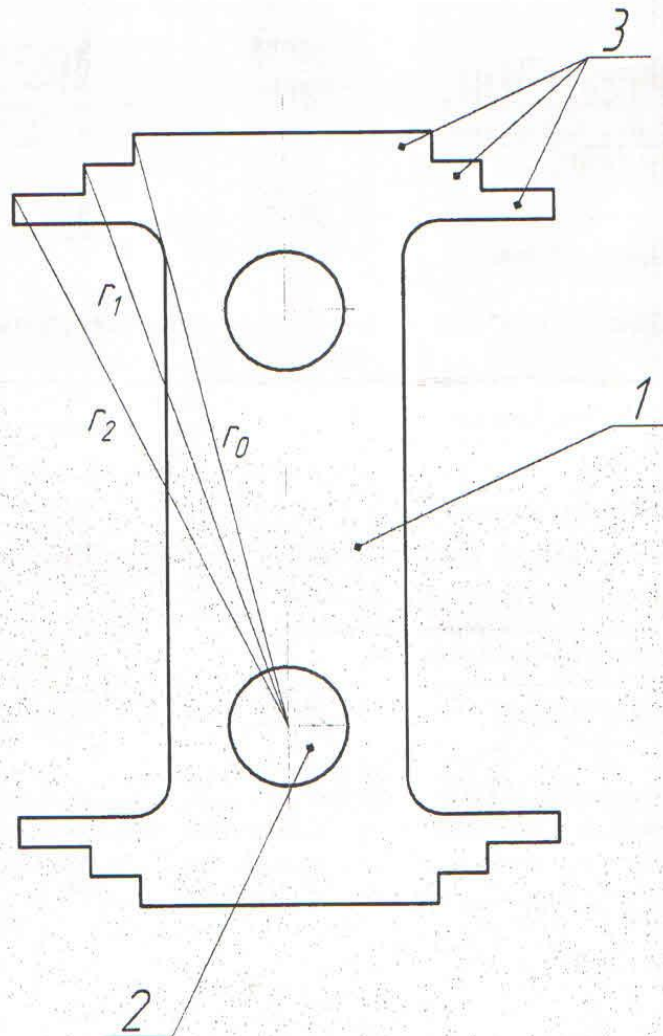
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"  
(RU)(54) **МОЛОТОК ДРОБИЛКИ**

(57) Формула полезной модели

Молоток дробилки, рабочая грань которого выполнена в виде внешних  
трехступенчатых прямоугольных выступов, отличающийся тем, что рабочая поверхность  
молотка выполнена в виде трех выступов, радиусы от вершин которых до точки подвеса  
равны  $r_0=r_1=r_2=r_{\text{оптимальное}}$ .

RU 166614 U1

RU 166614 U1



RU 166614 U1

RU 166614 U1

## Окончание приложения Б

Полезная модель относится к конструктивным элементам устройств, предназначенных для измельчения сыпучих материалов, и может быть использована в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности.

Известен молоток дробилки (А.с. СССР №1159630, кл. В02С 13/28, опубл. 07.06.1985 г., бюл. №21), содержащий пластину, вдоль которой расположены отверстия для его крепления, отличающийся тем, что пластина составлена из двух пар разновеликих трапеций, расположенных вдоль продольной оси симметрии молотка и направленных меньшими основаниями к поперечной оси симметрии, причем меньшие трапеции находятся в центральной части молотка.

Недостатком данного молотка является низкая эффективность измельчения шелухи крупяных, масличных и других культур.

Известен измельчитель кормового материала (Патент РФ №2306695, МПК А01F 29/00, В02С 13/04, В02С 13/28, опубл. 27.09.2007 г., бюл. №27), включающий дробильную камеру в виде барабана с шарнирно-подвешенными молотками, питающий транспортер, режущий ножевой аппарат барабанного типа, отличающийся тем, что рабочие грани молотков выполнены в виде внешних трехступенчатых прямоугольных выступов по радиально нарастающей линии и одного внутреннего прямоугольного выступа.

Недостатком конструкции молотка в измельчителе кормового материала является низкая эффективность измельчения шелухи крупяных, масличных и других культур.

Технической задачей полезной модели является повышение эффективности измельчения шелухи крупяных, масличных и других культур.

Задача решается в молотке дробилки, рабочая грань которого выполнена в виде внешних трехступенчатых прямоугольных выступов.

Отличием от прототипа является то, что рабочая поверхность молотка выполнена в виде трех выступов, радиусы от вершин которых до точки подвеса равны, т.е.  $r_0=r_1=r_2=r_{\text{оптимальное}}$ .

На фиг. представлен молоток дробилки.

Молоток содержит пластину 1, вдоль которой расположены отверстия 2 для его крепления, выступы 3, радиусы от вершин которых до точки подвеса равны, т.е.  $r_0=r_1=r_2=r_{\text{оптимальное}}$ .

Молоток дробилки работает следующим образом.

В процессе запуска дробилки молоток, содержащий пластину 1, вдоль которой расположены отверстия 2 для его крепления, под действием центробежных сил располагается так, что его центр тяжести находится на радиусе, проходящем через центр оси подвеса. Силы сопротивления измельчаемого материала отклоняют молоток относительно его оси подвеса против направления его движения. Так как радиусы выступов 3 от вершин до точки подвеса равны, т.е.  $r_0=r_1=r_2=r_{\text{оптимальное}}$ , то скорость удара измельчаемого материала о данные выступы  $v=\omega \cdot r$  будет оставаться неизменной,

$$T = \frac{mv^2}{2}$$

следовательно кинетическая энергия удара остается неизменной. Поэтому удар молотков всеми тремя выступами будет одинаковым.

Применение предлагаемой полезной модели приведет к увеличению эффективности измельчения шелухи крупяных, масличных и других культур.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **167 330** (13) **U1**(51) МПК  
B02C 13/286 (2006.01)  
B02C 23/14 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016113625, 08.04.2016

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
08.04.2016Дата регистрации:  
13.12.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.04.2016

(45) Опубликовано: 10.01.2017 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, пл. Театральная, 1, ФГБОУ  
ВО Саратовский ГАУ, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Елисеев Михаил Семенович (RU),  
Рыбалкин Дмитрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Саратовский государственный  
аграрный университет имени Н.И. Вавилова"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 959681 A1, 23.09.1982. SU 645700  
A1, 05.02.1979. US 6648253 B1, 18.11.2003. US  
2941731 A1, 21.06.1960. US 4339085 A1,  
13.07.1982.

(54) Молотковая дробилка

(57) Реферат:

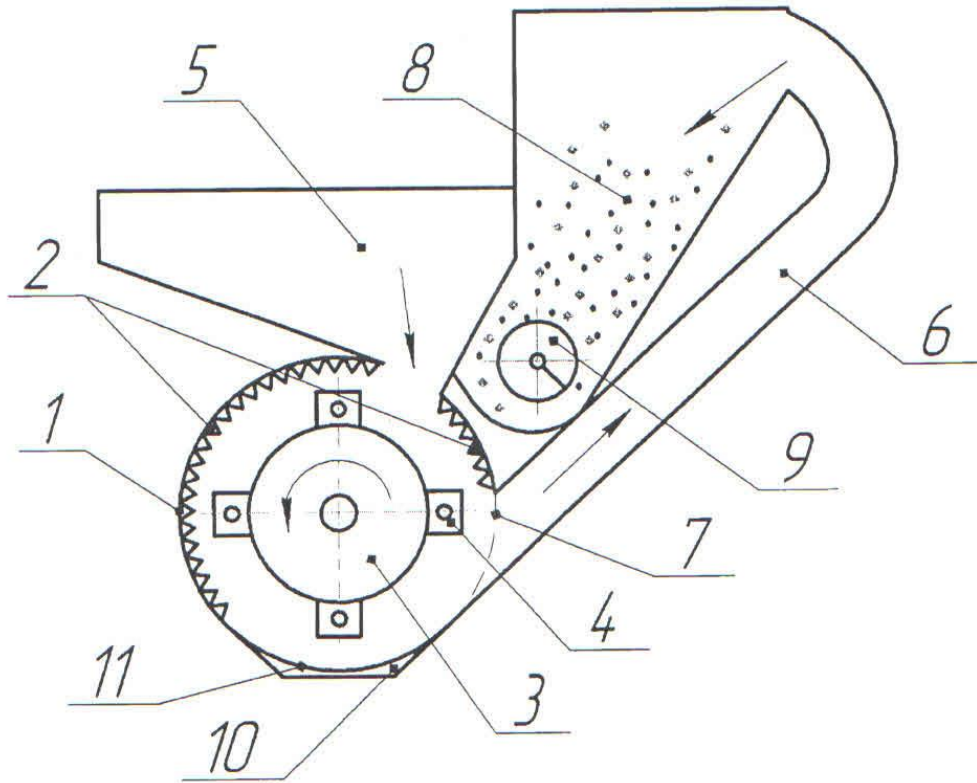
Полезная модель относится к устройствам для измельчения и может быть использовано в сельскохозяйственной и других отраслях промышленности. Молотковая дробилка, содержащая нагнетательный патрубок, соединенный замкнутым трубопроводом с разделительной камерой, отличающаяся тем, что дополнительно содержит выгрузное окно, для удаления пылевидной фракции, а так же решето

для отделения средней фракции измельчаемого материала от крупной, установленное в основании нагнетательного патрубка. Таким образом, использование предлагаемой молотковой дробилки позволит повысить процесс разделения на фракции измельчаемого материала, а так же уменьшить содержание пылевидной фракции в основной фракции.

RU 167330 U1

RU 167330 U1





RU 167330 U1

RU 167330 U1

RU 167 330 U1

Полезная модель относится к устройствам для измельчения и может быть использована в сельскохозяйственной и других отраслях промышленности.

Известно устройство для измельчения кормов (АС №959681, М.кл. А01F 29/00, В02С 13/00, опубл. 23.09.1982 г., бюл. №35), содержащее дробилку с загрузочным патрубком, соединенную замкнутом трубопроводом с разделительной камерой, на входе которой установлен пакет параллельно расположенных вертикальных пластин, под которыми смонтирована поворотная заслонка, образующая с нижними кромками пластин приемную воронку для отбора измельченных кормов, отличающееся тем, что, с целью расширения диапазона разделения измельченных кормов на фракции в разделительной камере, пластины выполнены перфорированными с размером отверстий, превышающий максимальный размер частиц измельченных кормов, и размещены поперек направления их перемещения.

Недостатком данного устройства является невозможность получения постоянного фракционного состава из-за диаметра отверстий в перфорированной пластине, которые превышают размер частиц измельчаемого материала.

Известно устройство для измельчения корма (АС №645700, М.кл. В02С 13/00), прототип, содержащее дробилку с загрузочным патрубком, с загрузочным патрубком соединенную замкнутом трубопроводом с разделительной камерой, снабженной задвижкой, отличающееся тем, что разделительная камера на входе снабжена перфорированной криволинейной пластиной, нижняя грань которой образует с задвижкой регулируемый зазор.

Недостатком данного устройства является низкая эффективность процесса разделения измельчаемого материала на фракции.

Технической задачей является повышение эффективности разделения измельчаемого материала на пылевидную и среднюю фракции.

Поставленная задача решается в молотковой дробилке, содержащей нагнетательный патрубок, соединенный замкнутом трубопроводом с разделительной камерой.

Отличием от прототипа является то, что молотковая дробилка дополнительно содержит выгрузное окно, для удаления пылевидной фракции, а также решето для отделения средней фракции измельчаемого материала от крупной, установленное в основании нагнетательного патрубка.

На фигуре представлена молотковая дробилка, общий вид.

Молотковая дробилка состоит из корпуса 1, внутри которого расположена рифленая дека 2, и дробильный ротор 3 с молотками 4. Над молотковой дробилкой установлен загрузочный бункер 5. Корпус 1 нагнетательным патрубком 6, внизу которого установлено решето 7, соединен замкнутом трубопроводом с разделительной камерой 8, внутри которой в нижней части имеется шнек 9 для выгрузки измельченного материала средней фракции, доля которой составляет около 60-65% от общей массы измельчаемого материала. Также в корпусе 1 молотковой дробилки имеется выгрузное окно 10, напротив которого установлено решето 11, через которое удаляется пылевидная фракция, доля которой составляет 15-20% от общей массы измельчаемого материала.

Молотковая дробилка работает следующим образом.

Измельчаемый материал из загрузочного бункера 5 подается в корпус 1, где подвергается ударам молотками 4 дробильного ротора 3 и рифленых дек 2, затем направляется по нагнетательному патрубку 6 через решето 7, в разделительную камеру 8, где посредством шнека 9 выгружаются наружу. При этом пылевидные частицы проходят через решето 11 и удаляются из корпуса молотковой дробилки через выгрузное окно 10. Частицы, размер которых больше размера отверстий решета 11, остаются в

RU 167 330 U1

корпусе молотковой дробилки и доизмельчаются до соответствующей фракции.

Таким образом, использование предлагаемой молотковой дробилки позволит повысить процесс разделения на фракции измельчаемого материала, а так же уменьшить содержание пылевидной фракции в основной фракции.

5

(57) Формула полезной модели

Молотковая дробилка, содержащая нагнетательный патрубок, соединенный замкнутым трубопроводом с разделительной камерой, отличающаяся тем, что дополнительно содержит выгрузное окно, для удаления пылевидной фракции, а так же решето для отделения средней фракции измельчаемого материала от крупной, установленное в основании нагнетательного патрубка.

10

15

20

25

30

35

40

45

Таблица Г.1 – Зависимость величину подачи измельчаемого материала от частоты вращения вала питающего устройства

$n_p, \text{мин}^{-1}$	50	60	70	80	
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	207	262	301	280	для лузги проса, $\rho = 300$ $\text{кг/м}^3$
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	191	243	289	267	для лузги гречихи $\rho =$ $230 \text{ кг/м}^3$
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	159	219	273	242	для лузги подсолнечника $\rho = 180 \text{ кг/м}^3$

Таблица Г.2 - Зависимости производительности молотковой дробилки от диаметра ротора по окружности молотков

$D_{р.м.}, \text{м}$	0,015	0,02	0,025	0,03	
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	243	281	296	272	при $n_p = 2800$ $\text{мин}^{-1}$
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	221	259	273	237	при $n_p = 2500$ $\text{мин}^{-1}$
$Q_{п}, \text{кг/ч}$	198	235	243	208	при $n_p = 2000$ $\text{мин}^{-1}$

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Марс-07»

 В.П. Кубанкин

« 08 » июня 2017 г.

АКТ

**испытания и внедрения молоткового измельчителя отходов переработки  
бакалейной группы сельскохозяйственной продукции**

Комиссия в составе: представителей ООО «Марс-07» - зам. директора Васильева С.И. (председатель комиссии) и членов комиссии: начальника производства Барабонина А.В., а также представителей Саратовского ГАУ к.т.н., доцента Елисеева И.И. и аспиранта Рыбалкина Д.А. составили настоящий акт о проведении производственных испытаний молоткового измельчителя отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции, разработанного на основании выполненных исследований аспирантом Рыбалкиным Д.А. и его патентов № 166614; № 167330; № 2615001 (соавтор научный руководитель, д.т.н., профессор Елисеев М.С.).

Молотковый измельчитель отходов переработки бакалейной группы сельскохозяйственной продукции позволяет измельчать лузгу подсолнечника, гречихи, проса и др.

На территории ООО «Марс-07» в присутствии комиссии на экспериментальной установке было произведено измельчение просяной лузги, являющейся отходом производства пшена. Измельчению подвергалась просяная лузга, имеющая следующие параметры: влажность 10 - 12 %, фракционный состав 1,5 - 2,5 мм, насыпная плотность 240 - 270 кг/м<sup>3</sup>.

В ходе испытаний молотковый измельчитель работал в режимах и с параметрами, обусловленными исследованиями аспиранта Рыбалкина Д.А. Установленное в конструкции молоткового измельчителя питающее устройство равномерно подавало измельчаемый материал (просяная лузга) к его рабочим

органам, в результате чего улучшается процесс дробления и снижается энергоемкость процесса измельчения.

В ходе испытаний и при дальнейшей эксплуатации установлено, что молотковый измельчитель легко обслуживается одним оператором.

В результате рабочего процесса молоткового измельчителя было установлено, что все узлы и детали работают удовлетворительно и без поломок. Установка надежна в работе и обеспечивает достаточную производительность 200-300 кг/ч и требуемую степень измельчения, а так же обладает малой энергоемкостью.

Наряду с общей положительной оценкой конструкции молоткового измельчителя комиссия отмечает следующие недостатки:

1. Ненадежная герметизация боковых стенок питающего устройства, в связи с отсутствием пыльников.

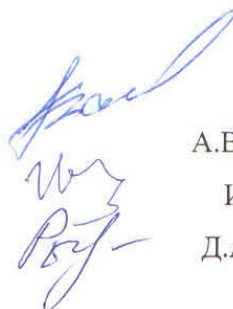
По результатам испытаний и эксплуатации молоткового измельчителя комиссия пришла к выводу, что установка надежна в работе, обеспечивает достаточную производительность и пригодна для ее использования на производствах, связанных с производством различных круп.

Председатель комиссии:  
Зам. директора ООО «Марс-07»



С.И. Васильев

Члены комиссии:  
Начальник производства ООО «Марс-07»  
к.т.н., доцент  
Аспирант



А.В. Барабонин

И.И. Елисеев

Д.А. Рыбалкин

УТВЕРЖДАЮ  
 Генеральный директор  
 ЗАО «Алтайская крупа»  
 Ренцетник С.И.  
 «12» Июня 2017 г.



### АКТ

#### испытания и внедрения молоткового измельчителя

Комиссия в составе начальника складского хозяйства Сердюкова В.И., старшего специалиста по управлению качеством Зубченко Е.Б., а также представителя Саратовского ГАУ аспиранта Рыбалкина Д.А. составили настоящий акт о проведении производственных испытаний молоткового измельчителя.

В присутствии комиссии на экспериментальной установке было произведено измельчение отходов переработки гречихи, имеющих следующие параметры: влажность 10 - 12 %, фракционный состав 2 - 5 мм, насыпная плотность 130 - 180 кг/м<sup>3</sup>. По результатам производственных испытаний производительность экспериментальной установки составила 200 - 300 кг/ч. Также установлено, что питающее устройство, установленное в данной конструкции молоткового измельчителя обеспечивает равномерную подачу материала к его рабочим органам.

По результатам испытаний и эксплуатации молоткового измельчителя комиссия пришла к выводу, что установка надежна в работе, обеспечивает достаточную производительность и пригодна для ее использования на предприятиях и хозяйствах, связанных с производством гречневой крупы.

начальника складского хозяйства



В.И. Сердюков

старшего специалиста

по управлению качеством



Е.Б. Зубченко

Аспирант



Д.А. Рыбалкин

УТВЕРЖДАЮ

Исполнитель  
 Демкин А.П. 2017 г.



АКТ

### ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ МОЛОТКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Комиссия в составе механиков Демкина Н.П. и Назьмова А.Н., а также представителя Саратовского ГАУ аспиранта кафедры «Механика и инженерная графика» Рыбалкина Д.А. составили настоящий акт о проведении производственных испытаний молоткового измельчителя отходов переработки сельскохозяйственной продукции.

В присутствии комиссии на экспериментальной установке было произведено измельчение отходов переработки подсолнечника, имеющих следующие параметры: влажность 10 - 12 %, фракционный состав 6 - 10 мм, насыпная плотность 250 - 520 кг/м<sup>3</sup>. По результатам производственных испытаний производительность экспериментальной установки составила 250 - 300 кг/ч. Также установлено, что питающее устройство, установленное в данной конструкции молоткового измельчителя обеспечивает равномерную подачу материала к его рабочим органам.

По результатам испытаний и эксплуатации молоткового измельчителя комиссия пришла к выводу, что установка надежна в работе, обеспечивает достаточную производительность и пригодна для ее использования на предприятиях и хозяйствах, связанных с производством зерновых культур.

Механик КФХ «Демкин А.П.»

Механик КФХ «Демкин А.П.»

Аспирант



Н.П. Демкин

А.Н. Назьмов

Д.А. Рыбалкин