

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС ДОСТИЖЕНИЙ ТАЛАНТЛИВОЙ  
МОЛОДЁЖИ  
«НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ РОССИИ»**

---

**Направление: Сельское хозяйство  
Тема: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

**Соискатели: Власов Денис Александрович, Ныров Тембулат Муратович**

**Научный руководитель: Фиапшев Амур Григорьевич**

**Место выполнения работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова»**

**2026**

**Содержание**

<b>Введение</b>	3
1. Анализ исследований свойств	4
2. Обоснование конструктивной схемы измельчающей машины	6
2. Определение количества режущих элементов, измельчающей машины	11
3.3. Проведения опытов по определению полезной мощности и степени измельчения	13
5. Выводы по главе	15
6. Расчет экономической эффективности измельчающей машины	15
Заключения	18
Список использованной литературы	19

Разработка эффективных кормовых измельчающих машин (дробилок), позволяет снизить потребление удельной энергии и металлов при одновременном получении готовой продукции с зоотехнически высокими требованиями к качеству.

При кормлении дробленным зерном усвояемость питательных веществ увеличивается. Зерновой корм, измельченный до определенного размера в соответствии с техническими требованиями зоопарка, увеличивает среднюю массу на 25-28%. Таким образом, измельчение зерновых кормов осуществляется для доведения исходного материала до требуемых размеров. В то же время они стараются избегать образования чрезмерно измельченных частиц размером менее 0,2 мм, что отрицательно сказывается на пищеварении животных.

Самой распространенной измельчающей машиной, используемой в аграрном комплексе для измельчения кормовой зерновой массы, является молотковая дробилка, имеющая некоторые недостатки: это большое энергетическое потребление (20-25 кВт.ч/т) на измельчение; значительное металлоёмкость конструкций; низкая производительность; неравномерное распределение частиц по размерам полученного продукта с высокой долей пыли 25% и общим содержанием необработанных зерен 1% и более.

Данная работа посвящена обоснованию основных параметров измельчающей машины кормового зерна, которые могут снизить энергопотребление и металлоёмкость процесса измельчения исходной зерновой массы при заданном качестве продукции, соответствующей техническим требованиям.

Проводя анализ исследований физико-механических свойств зернового сырья можно сделать следующие выводы:

- физические и механические свойства зерновой массы сильно различаются в зависимости от сорта, размера, влажности, состояния поверхности и площади роста;
- минимальное усилие требуется, чтобы разрушить зерно, когда усилие направлено поперек зерна;
- твердые частицы корма соответствуют большой величине разрушительной силы;
- эффективность процесса измельчения может быть улучшена повторным измельчением путем резания.

Измельчающие машины грубых кормов предназначены для резки соломы и других крупнозернистых кормов перед приготовлением на пару, а также перед дозированием соломы и травы, подаваемых в смеси с концентратами. Эти измельчающие машины могут быть использованы для измельчения соломы в постельные принадлежности. Среди измельчителей, производимых многими заводами в стране, выпускается небольшое количество соломорезок ручной работы, однако в последние годы также началось серийное производство электрических машин.



В личных подсобных хозяйствах используют самые разнообразные корма, их переработка требует применения нескольких специальных измельчителей (зерна, корнеклубнеплодов, соломы, пищевых отходов). Ограниченность видов перерабатываемых кормов является одним из недостатков специальных измельчителей.

Более рациональным представляется использование машин, совмещающих несколько операций, в частности измельчение различных кормов. Такие измельчающие машины называются комбинированными. Большинство комбинированных измельчителей перерабатывают два вида кормов, из них наиболее часто зерно, корнеклубнеплоды и грубые корма.

Поскольку в изученной литературе недостаточно внимания уделяется целесообразности использования определенного типа измельчающей машины, необходимы дальнейшие исследования, чтобы найти конструкцию измельчающей машины с наилучшими техническими и экономическими показателями.

Анализ опубликованных работ по эффективности подачи дробленого корма животным, устройство измельчающих машин, анализ теоретических и экспериментальных исследований по измельчению кормовой зерновой массы позволяет сделать следующие выводы:

1. Конструкция и технологические параметры дробилок ситового молотка, основных измельчающих машин в настоящее время, были достаточно изучены, и значительное повышение эффективности работы было в значительной степени исчерпано.

2. В существующих конструкциях дробилок ситового молотка удаление получаемого продукта через сита требует дополнительных энергетических затрат, кроме того, качество продукта ограничено сменными ситами.

3. Наиболее подходящими методами измельчения с точки зрения энергоемкости и улучшения качества измельчения являются резка и дробление.

5. Измельчение зернового материала до оптимального гранулометрического состава, сокращает время кормления, позволяет уменьшить потребление корма, повысить усвояемость продукта.

Исходя из вышеизложенного, поставлена задача разработать центробежно-роторную дробилку с вращающимся диском, работающую методом измельчения путем сдвига и среза, что позволяет получать готовый продукт с заданным распределением частиц по размерам, удовлетворяющей зоотехническим требованиям к измельчению продукта, значительно упрощают конструкцию, снижают удельную металлоемкость и энергоемкость.

На основании результатов анализа и в соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Теоретически и экспериментально исследовать процесс измельчения подаваемой зерновой массы в измельчающую машину, работающую измельчением путем резкой.

2. Учитывая динамику зерновой массы в канале рабочего диска, аналитически обосновать структурные и кинематические параметры измельчающей машины.

3. Провести анализ по результатам результатам теоретического и экспериментального исследования по разработке методики расчета основных параметров измельчающей машины.

4. Разработать опытный образец измельчающей машины и провести лабораторные и производственные испытания, оценить экономическую эффективность его использования в производстве.

## 2. Обоснование конструктивной схемы измельчающей машины.

Исследования, проведённые П.А. Ребиндером, позволяют оценить работу, направленную на измельчение твердых тел, по данному выражению:

$$A = A_y + A_s + A_u, \quad (1)$$

где  $A_y$  - работа по упругой и пластической деформации измельченных частиц;

$A_s$  - работа по формированию поверхности раздела;

$A_u$  - деформационные и абразивные работы.

Рассматривая процесс измельчения по Ребиндеру [формула (1)] как единое целое, можно видеть, что работа по формированию новой поверхности  $A_s$  является полезной, а упругая деформация  $A_y$  и работа по износу  $A_u$  - бесполезной.

В этом случае коэффициент полезного действия (КПД) процесса измельчения определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{A_s}{(A_y + A_s + A_u)}, \quad (2)$$

Анализируя выражение (2) с учётом исследований проведённых в первой главе, можно заключить, что следующие условия должны быть соблюдены для повышения эффективности и результативности процесса измельчения:

- использование многоуровневого измельчения, то есть:  $A_s \rightarrow \max$ ;
- снижение усилий направленных на упругие деформации, то есть  $A_y \rightarrow \min$ ;
- Обеспечить конструктивное сокращение работ на износ рабочих органов, то есть  $A_u \rightarrow \min$ .

Чтобы соответствовать установленным условиям, была разработана схема классификации факторов, влияющих на производительность и эффективность работы измельчителя кормовой зерновой массы.

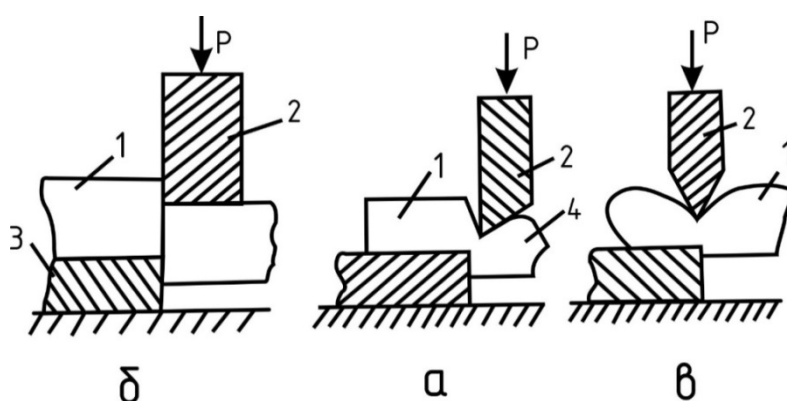


Рисунок 1. Виды резания: а - пуансоном; б -резцом; в - лезвием.

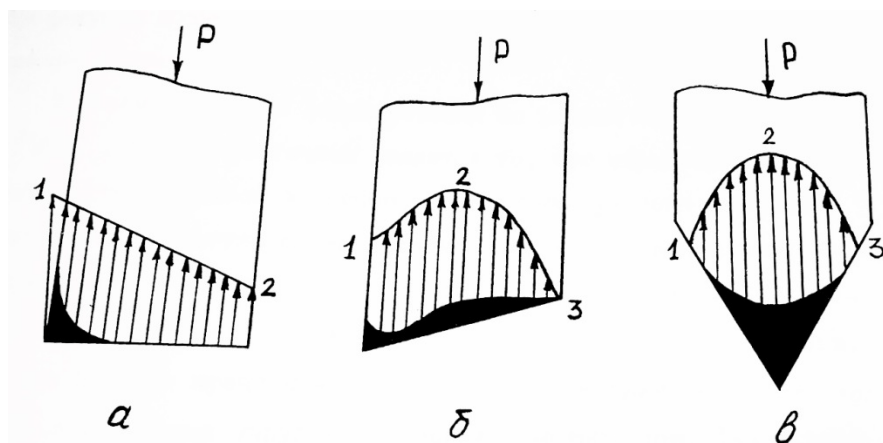


Рисунок 2. Эпюры реакций усилию резания для: а – пуансона, б - резца, в - лезвия.



Рисунок 1. Классификация факторов, влияющих на эффективность работы измельчителя кормовой зерновой массы. Желеговский В.А. термин «резка» считает концепцией, которая объединяет три технических процесса резания с помощью пуансона, резака и лезвия.

Характеристики этих процессов можно схематически выразить следующим образом.

Резец 2 (рис. 1, а), введенный путем приложения силы к материалу 1, в основном действует как клин своей поверхностью, воздействуя на него и отрывной стружкой 4 как клин своими гранями.

Пуансон (2) (рис. 1, б) движется под действием силы в направлении, перпендикулярном рабочей плоскости, режущая поверхность материала (1) проходит через режущую кромку пуансона и кромку матрицы (3), касательное напряжение приводит к резанию. По сути, это разрушение соответствует концепции, принятой в теории материального сопротивления.

Когда лезвие 2 (рис. 1, в) вводится в материал 1 под действием силы, оно разрушает материал главным образом режущей кромкой, которая представляет собой двустороннюю вершину, образованную кромкой лезвия.

По мнению Н.Е. Резника в рассматриваемом типе резания, существенным отличием является образование новой поверхности материала из-за возникновения внутреннего напряжения сдвига при действии пуансонов и резцов, тогда как в процессе резания лезвием указанная поверхность является прямым давлением кромки лезвия.

При резке пуансоном детали в основном разделяются жестким упругим пластиковым материалом. Тот же эффект достигается при резке эластичных вязких материалов с помощью лезвий.

Для пуансона (рис. 2, а) элементарные реакции обозначены прямой линией, соединяющей реакцию 1 максимального значения на переднем крае пуансона с реакцией 2 минимального значения на его заднем крае. Для резца (рис. 2, б) реакции обозначены выпуклой кривой со значительно более низким значением реакции 1 на переднем ребре и 0, равным реакции 3 на заднем ребре. У лопастей максимальное значение реакции 2 падает на ребро и значительно меньше по величине реакции на ее фаски (рис. 2, в).

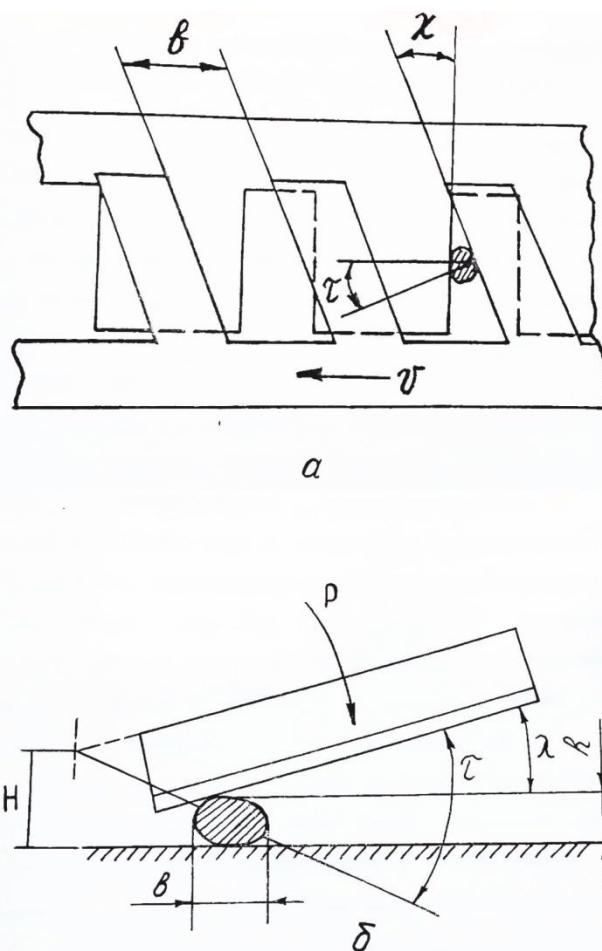


Рисунок. 3 Схема режущей пары в плоскости, перпендикулярной к плоскости резания: а – в измельчающей машине; б – в плоскостном аппарате.

В случае процесса резки с использованием лезвия, принимая во внимание свойства физико-механических свойств, все основные методы, установленные для некоторых материалов, должны быть действительными для других материалов. Принимая во внимание широкий спектр свойств различных материалов для данного типа резки, легко определить универсальные законы, обогатить теорию резки и повысить ценность ее применения.

Измельчение кормовой зерновой массы - это в основном трудоемкие технические задачи, выполняемые энергоемкой молотковой дробилкой, а качество измельченного корма не всегда соответствует зоотехническим требованиям.

Поскольку усовершенствование молотковой дробилки невозможно, актуальной задачей является разработка измельчающей машины которая работает по принципу «резки и скалывания» с низким энергопотреблением для достижения требуемого качества готового продукта [2].

Эффективность кормления коров, обработанных с помощью необходимого помольного модуля, во многом определяется повышенной продуктивностью коров, увеличением суточного прироста во время откорма, 1 тонны первичного жирного молока, 1 тонны мяса и другими техническими факторами, что приводит к увеличению продукции животноводства: получения дополнительной прибыли в расчёте на 1т молока базисной жирности, 1т мяса.

При скармливании дойным коровам каждого центнера кормов, в зависимости от конкретных зоотехнических требований, если размер частиц составляет от 1,2 до 1,8 мм, можно получить дополнительно 10-15 кг молока или 3-4 кг мяса.

Разработанная в Кабардино-Балкарском ГАУ универсальная измельчающая машина кормовой зерновой массы может обеспечить равномерность распределения частиц измельченного сырья до 70% [3] и состоит из рамы, камеры измельчения, редуктора, бункера вспомогательных механизмов и приводится в действие от электродвигателя.

Помольная камера 1 (рис.4) представляет собой литой чугунный цилиндр, с размещенным внутри ротором 2 с измельчающими рабочими органами новой конструкции, и решета. На цилиндрической поверхности камеры имеется выходная горловина 6, через которую выводился измельченная масса. Верхняя часть камеры представляет собой откидную крышку, во внутренней части крышки и цилиндрического корпуса вмонтированы противорежущие элементы 7. Ротор состоит из диска, на котором закреплены кронштейны 4 для размещения режущих элементов 3(рис.4).

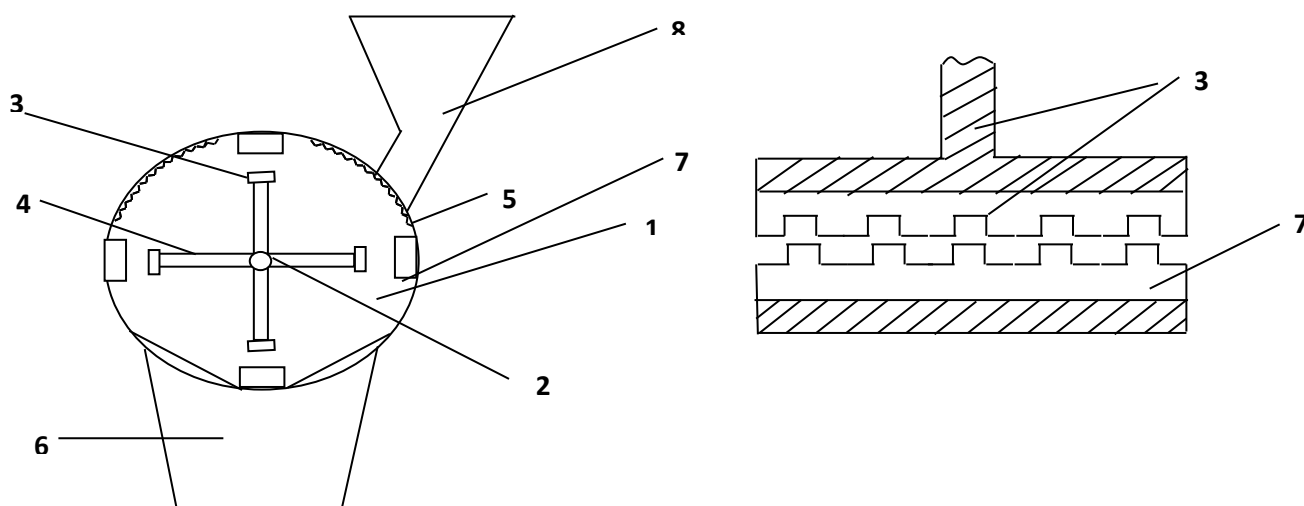


Рисунок 4 - Схема измельчающей машины:

- 1 –камера измельчения; 2 -ротор; 3-режущий элемент; 4-кронштейн;  
 5 –дека; 6 –выходная горловина; 7-противорежущий элемент;  
 8-приемный бункер.

Противорежущий элемент 7 представляет собой металлическую пластину, имеющей «П»-образные впадины, а режущий элемент 3 представляет собой металлическую пластину, имеющей

«Т»- образные выступы. Измельчаемый материал попадает из приемного бункера 8 в камеру 1 и измельчается за счет взаимодействия режущих граней рабочих органов 3 ротора и противорежущих граней элементов 7, закрепленных на корпусе, и частично за счет удара о деки 5. Часть измельчаемого материала просачивается через сита и выводится из машины. Остальная масса отбрасывается к режущим элементам доизмельчается и выводится из машины.

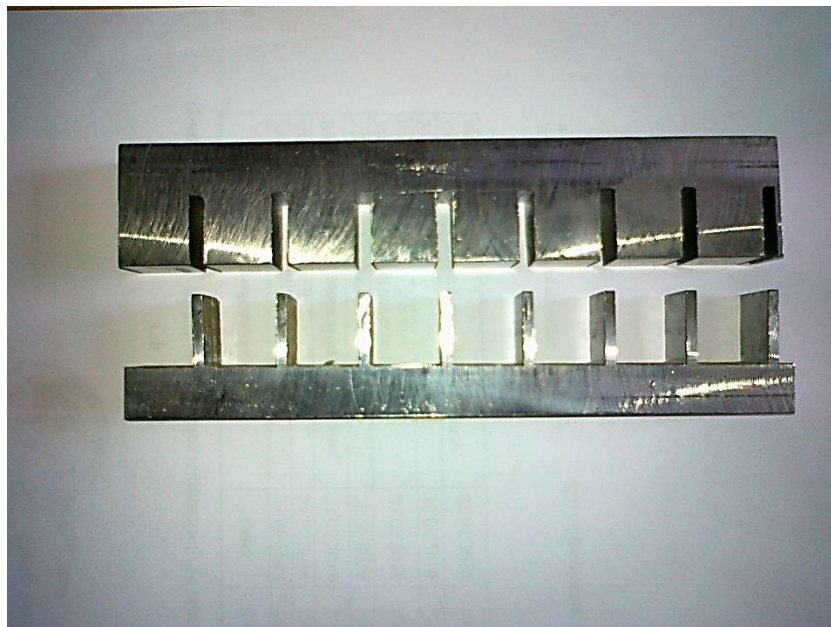


Рисунок 5 – Общий вид режущих рабочих органов

Противорежущий элемент 1 представляет собой металлическую пластину, имеющей «П» - образные впадины, а режущий элемент 3 представляет собой металлическую пластину, имеющей «Т» - образные выступы. Измельчаемый материал попадает из приемного бункера в камеру и измельчается за счет взаимодействия режущих граней рабочих органов 3 ротора и противорежущих граней элементов 1, закрепленных на корпусе, и частично за счет удара о деки. Часть измельчаемого материала просачивается через сита и выводится из машины. Остальная масса отбрасывается к режущим элементам доизмельчается и выводится из машины.

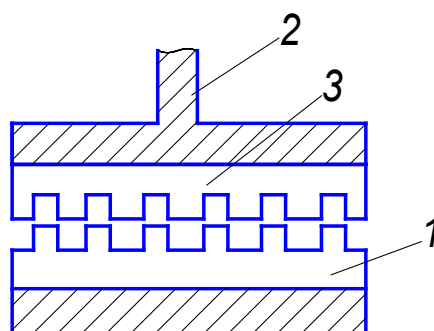


Рисунок 6- Схема измельчающего устройства

1 – противорежущий элемент; 2 – кронштейн; 3 – режущий элемент

Основными показателями всех измельчающих машин являются производительность и степень измельчения. Чтобы определить их, необходимо рассчитать скорость движения зерновой массы в рабочей зоне измельчителя [4].

### 3. Определение необходимой мощности измельчающей машины.

Распределение энергетических затрат по отдельным элементам процесса измельчения характеризуется следующим уравнением энергетического баланса:

$$N = N_{изм} + N_{под} + N_{хх}; \quad (3)$$

где  $N_{изм}$  - мощность, потребляемая измельчителем на резание;

$N_{под}$  - потребляемая мощность для преодоления сопротивления подачи материала;

$N_{хх}$  - мощность холостого хода.

$N_{изм}$  уменьшается, если работа шлифовальной машины сконструирована таким образом, чтобы исключить чрезмерное измельчение и быстрее удалить готовый продукт из камеры измельчения.

Эффективность измельчения заключается в следующем:

$$\eta_{изм} = \frac{N_{изм}}{N}; \quad (4)$$

Высокая производительность может снизить потребление энергии для измельчения, снизить затраты энергии на холостом ходу и повысить эффективность за счет исключения автономных вентиляторов и ненужных трансмиссий при проектировании и техническом планировании.

Крутящий момент от двигателя к ротору практически постоянен, поэтому принимаем  $M_{дв} = M_{вр}$ .

Момент двигателя будет определяться как сумма моментов процесса резания, подачи зерновой массы и холостого хода:

$$M_{дв} = M_{рез} + M_{под} + M_{хх}, \quad (5)$$

где  $M_{рез}$  - средний момент процесса и измельчения резанием;

$M_{под}$  - момент, обусловленный сопротивлением подачи зерновой массы каналам рабочих органов;

$M_{хх}$  - момент от сопротивления холостому ходу.

Мощность двигателя определяется по данному выражению:

$$N_{дв} = M_{дв} \cdot \omega, \quad (6)$$

где  $\omega$  - угловая скорость ротора.

В конструкции предлагаемой измельчающей машины зерновой материал благодаря центробежной силе движется по радиальным пазам рабочих органов. В то же время, при соединении смежных канавок, зерно перемещается на определенную величину и режется до края режущего элемента.

Зная геометрическое представление канала рабочего диска, можно определить энергопотребление:

$$N_{изм} = (q_1 Z_1 l_{cp} R_{cp} + q_2 h R_{ток}) \cdot \omega \xi K_3, \quad (7)$$

где  $q_1$  - удельное давление режущих элементов на первой ступени, Н/м;

$Z_1$  - количество каналов ротора, шт.;

$l_{cp}$  - средняя длина режущего элемента, м;

$R_{cp}$  - средний радиус зоны измельчения, м;

$q_2$  - удельное давление режущих элементов на второй ступени, Н/м;

$h$  - высота канала кольца, м;

$Z_k$  - количество каналов кольца, шт.;

$R_{ток}$  - радиус ротора, м;

$\omega$  - частота вращения ротора,  $c^{-1}$ ;

$\xi$  - коэффициент пористости  $\left( \xi = \frac{\gamma}{\gamma_0} \right)$ ;

$K_3$  - коэффициент заполнения пазов ротора.

Мощность, расходуемая на обеспечение подачи зерновой массы к рабочим органам, определится из уравнения:

$$N_{под} = \frac{Q_3 \cdot V_1^2}{2 \cdot 102g}, \quad (8)$$

где  $Q_3$  - подача зерновой массы из бункера к рабочим органам, кг/с;

$V_1$  - скорость зерновой массы в момент движения по ротору к первой ступени измельчения, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Таким образом, если рассчитать требуемую полезную мощность по формулам (7) и (3) и суммировать результаты в соответствии с выходным балансом (3), получим требуемую мощность измельчения. Потребление энергии для других потерь отнесены к холостому ходу.

С учетом экспериментального исследования общая движущая сила измельчающей машины, определяется следующим образом:

$$N_{общ} = (1,1 \dots 1., 2) N_{изм} \quad (9)$$

Проведенные теоретические исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема измельчающей машины и сделан выбор рабочих органов, обеспечивающих процесс измельчения зерновой массы путем резки и измельчения.

2. Реализованы основные параметры режущего элемента и получена математическая модель, описывающая свойства движения массы частицы в канале рабочего тела.

3. С учетом динамики зерновой массы в канале рабочего диска получено уравнение для относительной скорости его движения на первом и втором этапах измельчения.

4. Выявлены факторы, влияющие на производительность и измельчение.

#### 4. Проведение опытов по определению полезной мощности и степени измельчения.

Регулировку напряжения для изменения числа оборотов вала электродвигателя осуществляем регулятором напряжения РНО-250-10 и выпрямителем, а измерения проводим стробоскопическим и механическим тахометрами.

В начальный момент, когда включается измеритель мощности регистратора, ручка отмечает энергопотребление экспериментальной установки для холостого хода прямой линией. При открытии крышки бункера исходный продукт поступает в камеру измельчения. В устойчивом состоянии зерновой материал в бункере измельчается, и устройство отключается.

Отбор проб для определения степени измельчения, доли порошкообразных и цельных частиц в измельченном материале, а также распределения материала по размеру проводился в специальных контейнерах объемом не менее 300г.

Рассчитать мощность, затрачиваемую на экспериментальную установку, с учетом КПД электродвигателей и проводов. Изменение КПД двигателя с нагрузкой показано на графике. Характеристики интервала нагрузки электродвигателя с нагрузкой 0,4 ... 1,5 (эквивалентно 1,285 ... 4,8 кВт для электродвигателя) аппроксимируются прямой линией. Предел изменения факторов, влияющих на энергоемкость процесса измельчения, был выбран с учетом работы электродвигателя при указанном интервале нагрузки.

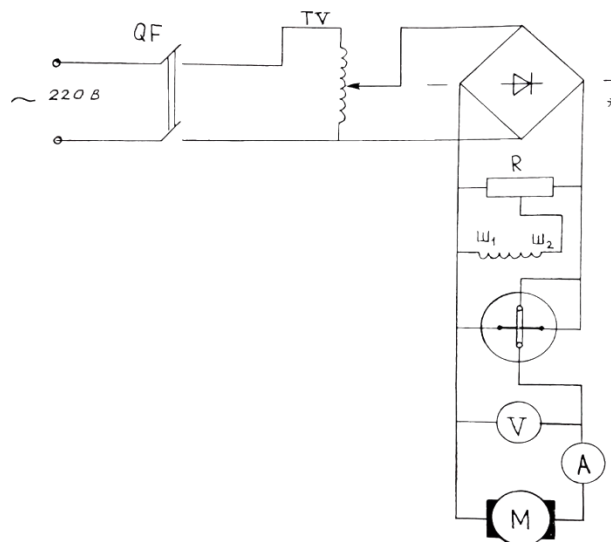


Рисунок 7. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки.

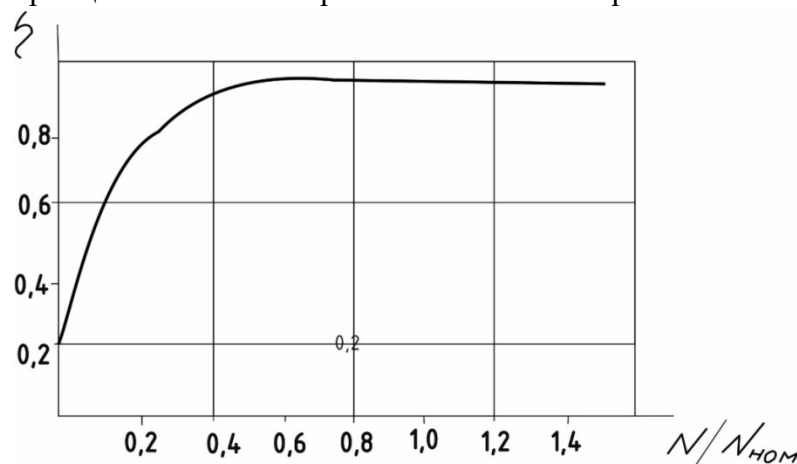


Рисунок 8. График зависимости коэффициента полезного действия от загрузки.

Часовую производительность определяли по данному выражению:

$$Q = 3,6 \frac{q}{t}, \quad (10)$$

где  $Q$  - производительность установки, т/ч.

$q$  - масса пробы за время опыта, кг;

$t$  - время опыта, с.

В наших экспериментах качество помола продукта определялось методом сита.

Средневзвешенный диаметр частиц (модуль измельчения) определяется по одной из следующих формул.

$$M = (0,5p_0 + 1,5p_1 + 2,5p_2 + 3,5p_3) / 100, \quad (11)$$

или

$$M = (0,1p_0 + 0,6p_{0,25} + 1,5p_1 + 2,5p_2 + 3,5p_3) / 100, \quad (12)$$

где  $M$  - средневзвешенный диаметр частиц (модуль), мм;

$p_0$  - остаток частиц на дне сита, %;

$p_{0,25}$  - остаток частиц на сите с отверстиями  $\varnothing 0,25$  мм, %;

$p_1, p_2, p_3$  - остатки частиц на ситах с отверстиями соответственно  $\varnothing 1, 2$  и  $3$  мм, %.

Стандарт для комбикорма определяет три степени измельчения, которые характеризуются средним размером частиц (модуль измельчения):  $0,2 \dots 1,0$  мм - тонкое измельчение;  $1,0 \dots 1,8$  мм - средний помол;  $1,8 \dots 2,6$  мм - грубый помол.

На основании результатов анализа сита строится графическое изображение распределения частиц по размерам продуктов измельчения, где размеры отверстий сита изображены вдоль абсциссы, а массовые выходы в процентах - по ординате.

Таким образом, экспериментальная установка, лабораторное оборудование и измерительное оборудование полностью соответствуют требованиям к ним и могут быть использованы для экспериментальных исследований.

Поскольку анализ просеивания не дает представления о фактическом размере частиц, прошедших через дно сбора, свойства экспериментального измельчения в верхней части кривой ограничены размером пор самого тонкого сита в наборе и являются неполными. При необходимости размер этих частиц можно определить с помощью микроскопического анализа. Грубое представление о распределении мельчайших частиц может заключаться в неполных свойствах измельчения, экстраполированных на  $R_x = 100/20$ .

Средний размер частиц (коэффициент помола) относится к пшенице, что означает средний помол. Нижняя кривая является вогнутой, что указывает на преобладание мелких частиц в образце.

Высокая статическая стабильность распределения частиц дерти по размеру обеспечивает основу для применения тех же критериев, основанных на содержании, к классу образцов, что определяется по остатку (фракции) одного из сит для оценки размера.

Вы также можете оценить размер дерти по остатку на одном из экранов без определения модуля. Поэтому для небольших размеров остаток сита с отверстиями  $\varnothing 2$  мм допускается не более 5%. В случае просеивания остаток  $\varnothing 3$  мм составляет менее 12%.

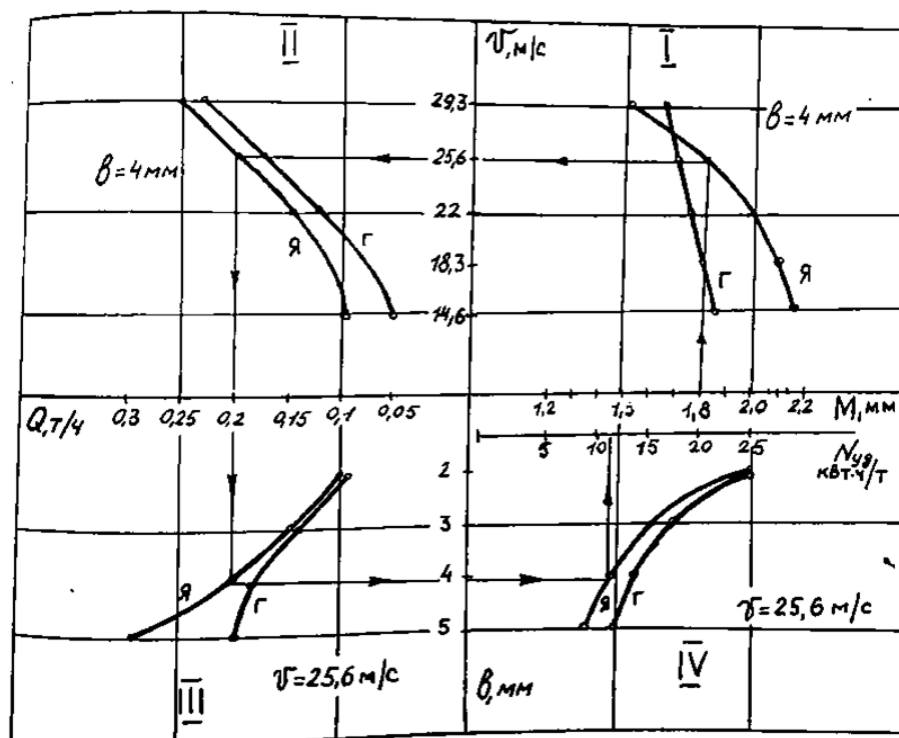


Рисунок 9. Номограмма для определения основных параметров измельчающей машины кормовой зерновой массы при измельчении ячменя и гороха.

## 5. Выводы по главе.

Из анализа результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Качество полученного корма по своему гранулометрическому составу превосходит превышает качество традиционных дробилок.
2. Получены наглядные графические зависимости, производительность и удельный расход энергии процесса измельчения.
3. Эмпирическая формула построена для определения производительности, модуля измельчения и удельного потребления энергии измельчающей машины.
4. Номограмма была разработана для определения основных параметров измельчающей машины.

## 6. Расчет экономической эффективности измельчающей машины.

При измельчении кормовой зерновой массы измельчающая машина затрачивает 10 кВт·ч/т, при удельной металлоёмкости конструкции 100 кг·ч/т. Используя коэффициент перевода энергоёмкости и металлоёмкости в энергетический эквивалент, определим энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{\text{тех}} = N_{\text{уд}} \cdot K_1, \quad (11)$$

$$\mathcal{E}_{\text{кон}} = M_{\text{уд}} \cdot K_2. \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{тех}}$  - технологические энергозатраты;

$\mathcal{E}_{кон}$  - конструктивные энергозатраты;

$N_{уд}$  - удельная энергоёмкость;

$M_{уд}$  - удельная металлоёмкость;

$K$  - энергетический эквивалент,

$K_1 = 3,6 \text{ МДж}$ ,  $K_2 = 30,58 \text{ ГДж}$

$\mathcal{E}_{тех} = 10 \cdot 3,6 = 36 \text{ МДж} / \text{т}$ ,

$\mathcal{E}_{кон} = 0,1 \cdot 30580 = 3058 \text{ МДж} / \text{т}$ .

Общие энергозатраты измельчающей машины определяются:

$$\begin{aligned} \sum \mathcal{E}_1 &= \mathcal{E}_{тех} + \mathcal{E}_{кон}, \\ \sum \mathcal{E}_1 &= 36 + 3058 = 3094 \text{ МДж} / \text{т}. \end{aligned} \quad (13)$$

Во втором случае для достижения такого же качества помола молотковая дробилка ДБ-5 затрачивает 13 кВт·ч/т и имеет удельную металлоёмкость 250 кг·ч/т.

Тогда:

$$\mathcal{E}'_{тех} = N'_{уд} \cdot K_1, \quad (44)$$

$$\mathcal{E}'_{кон} = M'_{уд} \cdot K_2, \quad (15)$$

$\mathcal{E}'_{тех} = 13 \cdot 3,6 = 46,8 \text{ МДж} / \text{т}$ ,

$\mathcal{E}'_{кон} = 0,25 \cdot 30580 = 7645 \text{ МДж} / \text{т}$ .

Общие энергозатраты молотковой дробилки:

$$\begin{aligned} \sum \mathcal{E}_2 &= \mathcal{E}'_{тех} + \mathcal{E}'_{кон} \\ \sum \mathcal{E}_2 &= 46,8 + 7645 = 7691,8 \text{ МДж} / \text{т}. \end{aligned} \quad (16)$$

В итоге экономия энергозатрат от использования измельчающей машины составит:

$$\mathcal{E} = \sum \mathcal{E}_2 - \sum \mathcal{E}_1, \quad (17)$$

где  $\mathcal{E}$  - экономия энергозатрат на 1 тонну готового продукта.

$\mathcal{E} = 7691,8 - 3094 = 4597,8 \text{ МДж} / \text{т}$ .

Уровень процесса интенсификации оценивается коэффициентом эффективности

$$A = \mathcal{E}_2 / \mathcal{E}_1, \quad (18)$$

$A = 7691,8 / 3094 = 2,5$

где  $A$  - коэффициент эффективности, при  $A > 1$  процесс эффективен.

Эффективность использования измельчителей также влияет на кормление сельскохозяйственных животных из-за заметного уменьшения чрезмерно измельченной фракции, которая фактически не усваивается организмом и вызывает различные заболевания желудочно-кишечного тракта.

Таким образом, использование измельчающей машины позволяет снизить удельные энергозатраты при измельчении кормовой зерновой массы на 4597,8 МДж/т, за счёт снижения удельной энерго- и металлоёмкости измельчающей машины. Коэффициент эффективности равен 2,5.

Таблица 1 - Показатели эффективности использования фуражного измельчающей машины.

Показатели	Измельчающие машины	
	ДБ-5	Фуражная измельчающая машина
1. Производительность, т/ч	3	3
2. Удельная энергоёмкость, кВтч/т	13	10
3. Удельная металлоёмкость, кгч/т	250	100
4. Степень измельчения	1,8	1,8
5. Доля переизмельчённой фракции, %	до 15	до 3
6. Экономия фуражной муки, %	-	до 30
7. Повышение удоев молока на 100 кг комбикорма, кг	-	10-15
8. Экономия энергозатрат, МДж/т	-	4597
9. Коэффициент эффективности	-	2,5

## Заключения

1. Из анализа физико-механических свойств зернового материала следует, что менее энергоемким методом измельчения является измельчение путем резки и резки.
2. Учитывая динамику зерновой массы в канале рабочего диска, получено уравнение относительной скорости его движения на первом и втором этапах измельчения.
3. Выявлены зависимости производительности, модуля измельчения и удельного энергопотребления от конструктивных и кинематических параметров измельчающей машины.
4. Разработана номограмма для определения основных параметров измельчающей машины.
5. Качество измельченного сырья на экспериментальной установке превосходит по гранулометрическому составу качество измельчаемых существующих молотковых дробилок на 25-30%, не содержит цельного зерна, доля пыли составляет 2-3%.
6. В результате экспериментальных исследований и производственных проверок были определены основные оптимальные параметры кормовой измельчающей машины:
  - ширина канала кольца - 2 ... 5 мм
  - частота вращения ротора - 366 с-1
  - производительность - 0,1 ... 3 т / ч
  - шлифовальный модуль (регулируемый) - 1,3 ... 2,6 мм
  - удельная энергоемкость - 7 ... 11 кВт • ч / т
  - удельный расход металла - 100 кг • ч / т
  - коэффициент эффективности измельчающей машины составляет 2,5.
  - экономия энергии составит 4579,8 МДж / т.

## Список использованной литературы

1. Сыроватка В.И., Карташов С.Г. Производство комбикормов в хозяйствах. – М.: Агропромиздат, 1991. – 40 с.
2. Березовский А.А. и др. Подготовка и хранение кормов. – М.: Колос, 1965. – 312 с.
3. Захарченко Н.М. и др. Эффективность комбикорма с различной степенью размола в кормлении телят. – Научн. труды ВНИИ комбикормовой промышленности. – М.: 1971, вып.3. – с. 105-111.
4. Смекалов Н.А., Зельнер В.Р. Значение тонины помола зерна при кормлении свиней. – Сельское хозяйство за рубежом/ животноводство/, 1972, №1.
7. Мельников С.В. и др. Механизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1969. – 440 с.
8. Мяндр А.Э. Кормоприготовительные машины и агрегаты. – М.: Машиностроение, 1970. – 256 с.
9. Бремер Г.И. Учебное пособие по теории и расчету дробильных машин. – М.: ВСХИЗО, 1970. – 50 с.
10. Егоров Г.А. – редак. Технология переработки зерна. – М.: Колос, 1977. – 376 с. 2 изд.
11. Кукта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
12. Мельников С.В. механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1978. – 560 с.
13. Ястребов П.П. Использование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур. – М.: Колос, 1973. – 311 с.
14. Егоров Г.А. Гидротермическая обработка зерна. – М.: Колос, 1968.
15. Демидов А.Р., Чириков С.Е., Глебов Л. определения прочностных характеристик зерна различных культур. – Мукомольно-элеваторная промышленность, 1971, №8.
16. Наумов И.В. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи. – М.: Колос, 1975. – 176 с.
17. Яровский А.А., Скороход И.М. О зависимости измельчаемости зерна от толщины оболочки. – Вестник сельскохозяйственной науки. – Киев, 1972, №3 - с. 20-22.
19. Румпор Г. Об основных физических проблемах при измельчении. Европейское совещание по измельчению 1-е. Франкфурт-на-Майне, 1962. Труды. Перевод Л.А. Ласточкин. – М.: Хлебиздат, 1958, - 248 с.
20. Сыроватка В.И. Зависимость эффективности рабочего процесса зернодробилки от упругости зерна. Научно-технический бюллетень/ ВТИ.-М.: 1978, вып.35. – с. 9-12.
22. Бобров А.Р., Леонов Н.И., Любин Н.В. Производство и использование комбикормов в США. – М.: ЦНИТА Госкомзага СССР, 1963. – 79 с.
23. Данилин А.С. Производство комбикормов за рубежом. – М.: Колос, 1968. – 336 с.
24. Чемодуров А.А., Григорьев Е.Г. Производство и использование комбикормов в Японии. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1973. – 30 с./ Сер. Комбикормовая промышленность/.
29. Исследование технологического процесса производства комбикормов и премиксов на заводах, оснащенных импортным оборудованием: Отчет/Укр. филиал ВНИИ комбикормовой промышленности: Руководитель работы В.И Левченко, № 1. – Киев, 1973. – 78 с.
31. Леонтьев П.И., Малаев М.Д. Центробежная дробилка зерна. – Челябинск, 1982. – 4 с. (Челяб. ЦНТИ. Информ. листок №265-82).
33. Сергеев Н.С. Разработка и обоснование основных параметров измельчителя фуражного зерна центробежно-роторного типа. №Дис...канд. техн. наук – Челябинск 1989. – 126 с.

34. Золоторёв С.В. Обоснование основных параметров рабочих органов ударно-центробежной дробилки фуражного зерна. – Дис...канд. техн.наук. – Челябинск,1985. – 221 с.
35. Леонтьев П.И., Золоторёв С.В. Ударно-центробежная дробилка – Челябинск, 1984. – 4 с. (Челяб. ЦНТИ. Информ. листок № 08-84).
36. Панус Ю.В., Саплин Л.А. Методические указания к изучению темы «Влияние научно-технического прогресса на экономическую эффективность производства. – Челябинск, 1989, – 12 с.
37. Фиапшев А.Г. Измельчитель фуражного зерна дисмембраторного типа. Информ. Листок № 317-94, Челябинск, ЦНТИ. – Челябинск, 1994.
38. Хапов Ю.С., Фиапшев А.Г. Измельчитель. Пат. № RU 2196639/C2, 2003
- . Кильчукова О.Х., Фиапшев А.Г. Определение необходимой мощности измельчителя фуражного зерна. // Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы в энергетике и средствах механизации АПК». Благовещенск. 2014. С.120-124.
8. Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Кильчукова О.Х., Розуматова К.С. Выбор оптимального противодействующего усилия для достижения максимального быстрогодействия электромагнита // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 128-136. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-128-136.