

На правах рукописи



Камышов Юрий Николаевич

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДИСМЕМБРАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ЖИДКИХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Барнаул – 2012

Работа выполнена на кафедре "Сельскохозяйственное машиностроение"
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)

Научный руководитель -	доктор технических наук, профессор Ситников Александр Андреевич (АлтГТУ, заведующий кафедрой)
Официальные оппоненты -	доктор технических наук, профессор Федоренко Иван Ярославович (АГАУ, заведующий кафедрой); кандидат технических наук, доцент Патрин Петр Александрович (НГАУ, профессор)
Ведущая организация	ГНУ СибНИИСХ Росельхозакадемии, г. Омск

Защита состоится 29 марта 2012 года, в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038 г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

Автореферат размещен на сайтах ВАКа и АлтГТУ <http://www.altstu.ru>; ntsc@desert.secna.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АлтГТУ.

Автореферат разослан «27» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Куликова Лидия Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

На показатели выращивания животных оказывает влияние не только выбор компонентов кормов, но и их подготовка к скармливанию. Чем тоньше помол, тем больше площадь их общей поверхности и тем лучшее взаимодействие с пищеварительными ферментами. Но у тонкого измельчения есть и отрицательные стороны: увеличиваются затраты электроэнергии на переработку, слишком тонкое измельчение приводит к потерям корма и повышает риск образования заболеваний пищеварительного тракта животных. К настоящему времени многие технические средства для приготовления жидких кормов в основном выработали свой ресурс, а энергоёмкость этих машин не удовлетворяет современным требованиям. Поэтому вопросы приготовления жидких кормов стоят сейчас очень остро. Возникла потребность в повышении интенсивности, улучшении качественных показателей кормоприготовительных машин, разработке конструкции нового оборудования – высокопроизводительного и технологичного.

Одним из перспективных путей повышения эффективности производства жидких кормов является использование оборудования непрерывной обработки – дисмембраторов и созданных на их базе высокотехнологичных машин для приготовления кормов.

На основании вышеизложенного исследования, направленные на повышение эффективности процесса приготовления жидких кормов путем определения основных конструктивных параметров дисмембраторов, являются актуальными и имеют научный и практический интерес.

Актуальность темы диссертации подтверждается также тем, что основные ее результаты получены при проведении исследований в рамках:

– федеральной целевой научно-технической программы: «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» – проект «Проведение поисковых научных исследований и разработка научно-технологических основ энергосберегающих процессов механоактивационной обработки сырья органического происхождения для создания и организации производства гидродинамических центробежно-роторных теплогенераторов» (ГК № 02.740.11.0828);

– при поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно – технической сфере по программе У.М.Н.И.К.

Цель исследования. Повышение эффективности процесса приготовления и качества жидких кормовых смесей в центробежно-роторных дисмембраторах путем обоснования его конструктивных и режимных параметров.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи:**

1. Предложить геометрическую модель рабочих органов дисмембратора и провести его компьютерное моделирование.

2. Разработать методики проведения исследований по определению силы разрушения зернового материала и определению гранулометрического состава.

3. Провести исследования по определению силы разрушения зернового материала при различных скоростях вращения рабочего органа, в зависимости от формы рабочего органа, влажности испытуемого материала и его вида.

4. Обосновать конструктивные параметры рабочих органов дисмембратора, обеспечивающих требуемый гранулометрический состав жидких кормовых смесей.

5. Разработать, изготовить и испытать опытный образец установки для приготовления жидких кормов, дать технико-экономическую оценку его применения.

Объект исследований - процесс взаимодействия режущих элементов рабочих органов с измельчаемым сырьем в дисмембраторе центробежно-роторного типа.

Предмет исследований – режимы и условия функционирования дисмембраторов, закономерности, характеризующие процесс разрушения зернового материала способом скалывания и среза в предлагаемом дисмембраторе.

Научную новизну работы представляют:

1. Компьютерное моделирование взаимодействия рабочих органов центробежно-роторного дисмембратора и рабочей среды.

2. Экспериментально установленные закономерности изменения параметров разрушения зернового материала в зависимости от скорости вращения рабочего органа, формы его рабочих элементов при повышенной влажности зерна испытуемого материала.

3. Доказано влияние конструктивных элементов рабочих органов центробежно-роторного дисмембратора (зазора между режущими элементами, диаметра входного сечения, камеры измельчения, количества зубьев) на гранулометрический состав и темп нагрева жидкой кормовой смеси.

4. На базе полученных результатов предложено новое техническое решение центробежно-роторного дисмембратора (решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2010137459) для приготовления жидких кормовых смесей.

Практическая значимость работы. Разработано и исследовано устройство для приготовления жидких кормовых смесей, позволяющее существенно повысить качество и эффективность приготовления жидких кормов по сравнению с известными технологиями. Результаты исследований позволяют ускорить разработку современного энергосберегающего оборудования для производства жидких кормов.

Практическая ценность работы подтверждена патентами на полезную модель (RU №93300, RU № 112646), решением о выдаче патента на изобретение (заявка № 2010137459) и результатами лабораторных исследований.

Разработанные образцы дисмембраторов прошли проверку в условиях крестьянско-фермерского хозяйства (подтверждается актом испытания), и могут быть рекомендованы к внедрению, что является основой для создания новых машин и оборудования для приготовления жидких кормовых смесей.

Реализация и внедрение результатов исследований. Результаты научной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова». Отдельные разделы диссертационной работы используются преподавателями, аспирантами и студентами в качестве учебно-методического материала. Дисмембраторы нашли применение в сельском хозяйстве, например в животноводческом предприятии: крестьянско-фермерском хозяйстве Васильцова В.А. (Мамонтовский район, Алтайский край). Техническая документация на изготовление универсальных приготовителей кормов передана в ООО «Малое инновационное предприятие сельскохозяйственного машиностроения АлтГТУ».

Апробация работы. Основные положения работы и результаты исследований доложены и одобрены на Межрегиональной научно-практической конференции “Модернизация Сельскохозяйственного машиностроения” (2009г., г. Барнаул); на 66 и 67 научно-технических конференциях студентов, аспирантов и ППС АлтГТУ (2009 – 2010 гг., г. Барнаул); всероссийском инновационном конкурсе “У.М.Н.И.К.”(г. Барнаул); Всероссийском молодежном образовательном форуме “Селигер 2010” (г. Осташков); Всероссийском молодежном слете “Алтай – территория развития” (2011 г., г. Барнаул); Международном молодежном управленческом форуме “Алтай – точки роста 2011” (особая экономическая зона “Бирюзовая Катунь”). Опытные образцы универсальных приготовителей кормов демонстрировались на крупнейшей агропромышленной выставке Сибири “Алтайская Нива” (2009 – 2010 гг., г. Барнаул), где были награждены благодарностью и почетной грамотой; на Международном молодежном инновационном форуме “Интерра – 2011” (г. Новосибирск); “Слете сельской молодежи” (г. Барнаул). Результаты диссертации докладывались на научных семинарах кафедр «Сельскохозяйственное машиностроение», «Автомобили и тракторы», «Автомобили и автомобильные хозяйства» (АлтГТУ, Барнаул) в 2009-2012 годах.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 8 научных работах, в том числе 1 статья опубликована в изданиях, рекомендованных ВАК, получено 2 патента на полезную модель, 1 положительное решение на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объем диссертации 243 стр., в том числе 167 стр. основного текста, 170 рисунков, 17 таблиц; список литературы включает в себя 123 наименования, в том числе 4 на иностранном языке.

Основные положения, выносимые на защиту:

– результаты компьютерного моделирования, позволяющие обосновать основные конструктивные параметры рабочих органов дисмембратора;

– методики и результаты экспериментальных исследований по определению силы резания зернового материала повышенной влажности, определению гранулометрического состава получаемой смеси, определению конструктивных параметров рабочих органов;

– результаты испытаний промышленного образца установки для приготовления жидких кормов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Дана общая характеристика рассматриваемой проблемы. Кратко изложена актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава включила в себя анализ состояния проблемы получения кормовых смесей и анализ применяемых кормов и способов измельчения зернового материала. В результате установлено:

1. Эффективность кормов зависит от их физической формы. Большое влияние на их качество оказывает процентное содержание влаги, а так же гранулометрический состав. Для каждого вида кормов существует своя технология подготовки и приготовления.

2. Сложность технологического процесса приготовления кормов и его качество напрямую зависит от используемого оборудования (дробилки, измельчители, смесители, дозаторы).

3. Важнейшей операцией кормоприготовительного процесса является измельчение.

4. Существующие устройства для приготовления жидких кормов схожи по конструктивному исполнению и принципу действия и имеют ряд существенных недостатков:

- низкая производительность агрегатов;
- длительный цикл приготовления корма;
- высокая металлоемкость конструкций;
- наличие дополнительных нагревательных элементов.

Научными основами теории резания, измельчения и процессов приготовления кормов являются труды академика В.П. Горячкина. Большой вклад в науку по измельчению зернового материала и приготовления кормов в целом внесли И.Ф. Василенко, Н.В. Сабликов, А.А. Артюшин, В.А. Елисеев, А.А. Зеленов, А.П. Макаров, Я.Н. Куприц, С.Д. Хусид, С.В. Мельников, В.А. Сысунев, В.Г. Коба, В.И. Пахомов, П.И. Некрашевич, А.А. Омельченко, П.И. Леонтьев, П.А. Савиных, В.Р. Алешкин, Б.И. Вагин, А.И. Завражнов, В.А. Зяблов, П.А. Кормщиков, Г.М. Кухта, Е.А. Маркарян, П.М. Рошин, Н.В. Сундеев, В.Д. Денисов, В.И. Сыроватка, В.И. Земсков, С.В. Золотарев, И.Я. Федоренко, Н.С. Сергеев, И.К. Хлебников, В.П. Ожигов, П.А. Патрин, Г.Ф. Бахарев и другие ученые. Процесс получения жидких кормовых смесей исследовали Н.В. Нюшкова, В.В. Старцева, В.В. Аксенов.

В настоящее время процессу приготовления кормовых смесей должно придаваться большое значение, т.к. корма требуемой степени измельчения

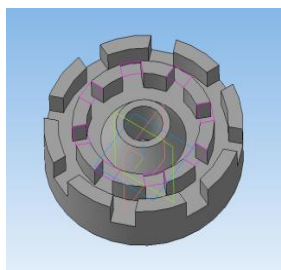
позволяют резко повысить их усвояемость, уменьшить их расход при выращивании и откармливании животных.

Анализ состояния научно-технической проблемы позволил сформулировать цель и задачи для её решения.

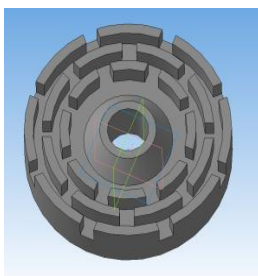
Во второй главе – «Компьютерное моделирование рабочих органов центробежно-роторного дисембратора» представлены результаты компьютерного моделирования взаимодействия рабочих органов центробежно-роторного дисембратора и рабочей среды.

Для численного моделирования гидродинамических процессов в центробежно-роторном дисембраторе использовался пакет прикладных программ ANSYS CFX.

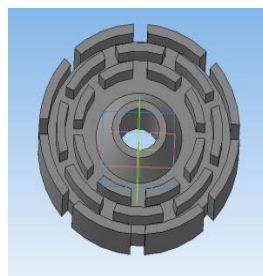
На первом этапе, исходя из анализа известных конструкций, были разработаны геометрические модели трех роторов, отличающихся конструктивно (рисунок 1) – количеством концентрических и радиальных пазов, а также наличием лопаток на периферии:



ротор №1



ротор №2



ротор №3

Рисунок 1 – Геометрические модели роторов

При разработке геометрических моделей измельчающих органов разрабатываемого дисембратора учитывались результаты полученные Сергеевым Н.С. В результате чего разработаны три геометрические модели измельчающих органов со следующими характеристиками: наружный диаметр роторного диска – 228 мм, количество рядов измельчающих зубьев 2 – 3 ряда, радиус от центра до первого ряда 90 мм, до второго – 105 мм, до третьего – 125 мм. Угол заточки измельчающих зубьев, в виду невозможности точного определения на этапе моделирования, решено принять максимальным – 90 градусов.

Далее производилось наложение сетки на геометрической модели. На каждый ряд зубьев статора и ротора накладывалась отдельная сетка. Это значительно увеличивало вычислительную сложность, а значит, и время расчета, но необходимо для корректного математического описания процесса взаимодействия ротора и статора.

В процессе численного моделирования исследовались такие характеристики потока жидкости, как давление, температура и скорость потока. На рисунке 2 представлены контурные диаграммы, показывающие градиенты давления в роторах:

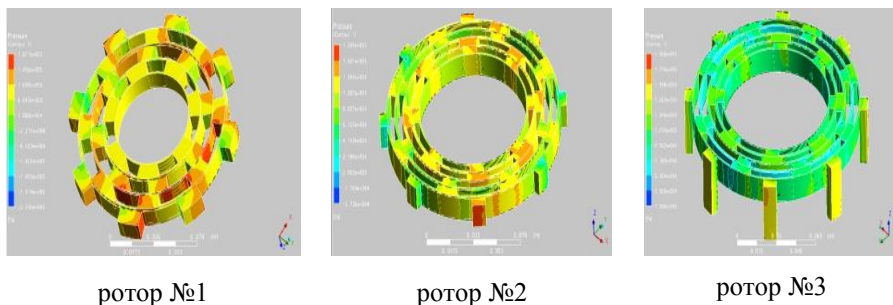


Рисунок 2 – Градиенты давления

В результате моделирования установлено, что:

1. На внешней границе моделей давление достигает максимума. Имеются области с отрицательным давлением. Это связано с тем, что периодическое совмещение каналов статора с каналами вращающегося ротора приводит к пульсации потока жидкости. При совмещении каналов происходит нагнетание давления, затем, когда канал статора открывается, жидкость из областей с высоким давлением устремляется в области с более низким давлением, что приводит к разрывам в потоке. Таким образом, наилучшей характеристикой давления внутри потока жидкости обладает ротор №3.

2. При вращении роторов наблюдается изменение температуры потока жидкости. В целом, разница температуры составляет порядка 0,2 градуса. Важной характеристикой является не только абсолютная разница между максимальной и минимальной температурой, но и объем потока, подверженный нагреву. Так, у ротора №1 четко выделяются три области с перепадами температур, в то время как у роторов №2 и №3 таких областей значительно больше, наилучшей характеристикой перепада температур внутри потока жидкости обладает ротор №3.

При отслеживании траектории пути частиц (ротор №3) с нулевой массой через область с жидкостью и скорости, которую развивают данные частицы при движении по треку, наблюдаются вихревые структуры и турбулизация потока. Поток имеет развитую турбулентность. Это происходит из-за того, что скорость потока жидкости в каналах статора велика и имеет флуктуации.

По результатам проведенного анализа результатов виртуальных экспериментов с тремя различными конструкциями роторов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным является ротор №3. При данной конструкции наблюдаются наилучшие характеристики давления внутри потока, наи-

большее количество областей с перепадом температур и наименьший массовый расход.

В третьей главе – «Оборудование и методики проведения экспериментальных исследований» описаны оборудование и методики проведения экспериментальных исследований.

Разработана методика проведения исследований по разрушению зернового материала, позволяющая определять силу разрушения единичных зерен при:

- различной степени влажности измельчаемого материала;
- разной величине зазора между измельчаемыми органами;
- различных углах заточки измельчаемых органов;
- различной скорости вращения рабочих органов.

Разработан и изготовлен экспериментальный стенд центробежно-роторного типа рисунок 3:



Рисунок 3 – Общий вид экспериментального стенда

Стенд позволяет определять силы разрушения зернового материала при скоростях вращения рабочего органа от 0,5 м/с до 50 м/с, в зависимости от формы рабочего органа, влажности испытуемого материала и его вида.

Для исследования влияния конструктивных параметров рабочих органов дисмембраторов на качество получаемой смеси разработан экспериментальный стенд (рисунок 4, б). На рисунке 4,а представлена конструктивная схема устройства, которое состоит из бака для смешивания – 1, крышки – 2, корпуса дисмембратора – 3, статора – 4, ротора – 5, рамы – 6, вала – 7, муфты – 8, электродвигателя – 9, пульта управления – 10.

Стенд работает следующим образом. Зерновая смесь из бака 1 попадает через впускной патрубок на вращающийся роторный диск 5. Под действием центробежной силы, возникающей вследствие вращения роторного диска 5, перемешиваемая масса устремляется к его периферии через сквозные сечения между зубчатыми элементами, расположенными по концентрическим окружностям дисков ротора 5 и статора 4. При этом зубчатые эле-

менты перемешивают и измельчают зерно. Достигнув периферии дисков, смесь компонентов удаляется из аппарата через выпускной патрубок.

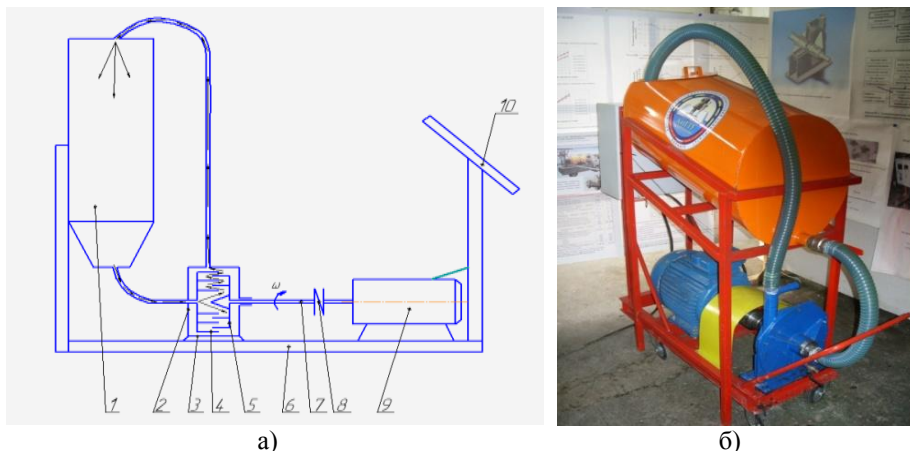


Рисунок 4 – Стенд для исследования конструктивных параметров дисмембратора

Конструкция стенда позволяет быстро производить замену специально изготовленных комплектов измельчающих органов, изменять зазор между режущими элементами, а так же диаметр входного сечения камеры измельчения дисмембратора.

Разработана методика проведения анализа гранулометрического состава смеси, позволяющая проводить исследования, в ходе которых определять степень однородности кормовой смеси, размер частиц, а так же их процентное содержание в пробе. Полученная информация обрабатывалась с помощью программы «Видео ТЕСТ - Структура 5.2», которая предназначена для проведения преобразований и измерений на цифровых изображениях микро- и макрообъектов, слайдов, негативов и фотоснимков. Выбранная последовательность обработки изображения легко записывается в виде методики, которая позволяет облегчить проведение анализов.

В четвертой главе – «Результаты экспериментальных исследований процесса разрушения зернового материала, влияния конструктивных параметров на эффективность приготовления кормов» представлены экспериментальные исследования процесса разрушения зернового материала и влияния конструктивных параметров на качество приготовления кормов.

В качестве исходных образцов использовались пшеница, ячмень, овес и горох. В процессе эксперимента варьировались зазор между режущим элементом и противорежущим резцом, влажность зернового материала, угол заточки режущего элемента и противорежущего резца, скорость вращения режущего элемента.

Влияние влажности зернового материала на силу разрушения представлены на рисунке 5:

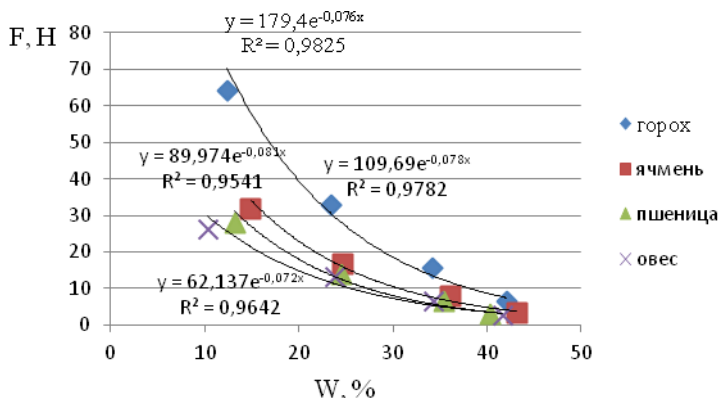


Рисунок 5 – Зависимость силы от влажности при разрушении единичных зерен на режущем элементе с углом заточки 90° и скорости резания 31,3 м/с

Анализ полученных зависимостей показал, что сила резания значительно снижается при предварительном увлажнении измельчаемого материала до влажности 35-40%.

Зазор между режущими элементами так же оказывает влияние на силу, необходимую для измельчения зернового материала рисунок 6:

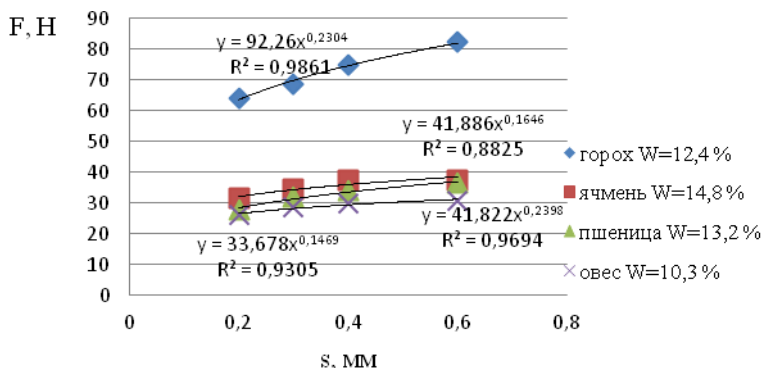


Рисунок 6 – Зависимость силы от зазора при разрушении единичных зерен различных культур на режущем элементе с углом заточки 90° и скорости резания 31,3 м/с

Зависимости, представленные на рисунках, действительно показывают, что зазор между режущими элементами оказывает существенное влияние на силу, возникающую при измельчении зернового материала. Так из данных зависимостей можно сделать вывод о том, что оптимальный зазор между режущими элементами равен 0,2 мм, так как при нем наблюдается наименьшее значение силы, необходимое для разрушения зернового материала. При увеличении зазора до 0,6 мм сила, необходимая для разрушения, заметно возрастает, что приводит к увеличению нагрузки на рабочие органы и как следствие к их быстрому износу.

В режущей паре при измельчении различных растительных материалов важнейшим объектом исследования является угол заточки режущего элемента и противорежущего резца, рисунок 7:

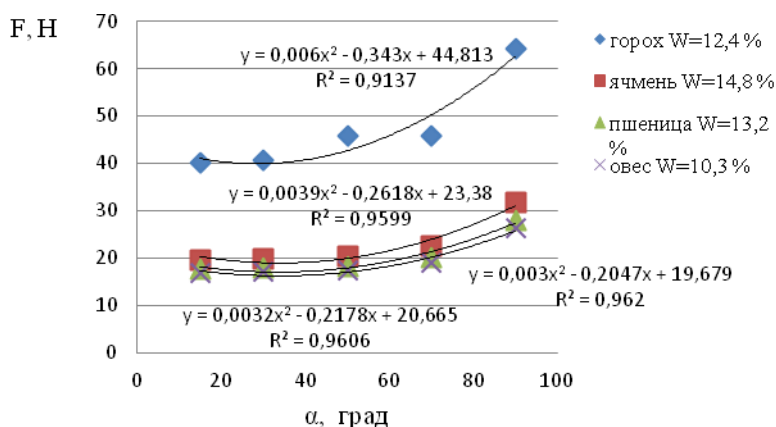


Рисунок 7 – Зависимости силы от угла заточки режущего элемента при разрушении единичных зерен различных культур и скорости резания 31,3 м/с

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что уменьшение угла заточки режущего элемента приводит к уменьшению силы резания зернового материала. Приемлемым углом заточки ножа является угол 75° , что позволяет увеличить износостойкость режущего органа и как следствие уменьшить силу резания с максимальных значений до средних. Так же была выявлена закономерность: с увеличением влажности уменьшается сила резания.

По результатам регрессионного анализа получены уравнения регрессии разрушения зернового материала, при разных режимах резания представленные в таблице 1:

Таблица 1 – Уравнения регрессии разрушения зернового материала при разных режимах резания

Обрабатываемая культура	Регрессионные зависимости
Горох	$F = 0,056 \cdot V^{0,208} \cdot e^{-0,070W} \cdot s^{0,190} \cdot (137164 - 14,26 \cdot \alpha + 0,214 \cdot \alpha^2)$
Ячмень	$F = 0,043 \cdot V^{0,159} \cdot e^{-0,077W} \cdot s^{0,192} \cdot (137276 - 14,82 \cdot \alpha + 0,219 \cdot \alpha^2)$
Пшеница	$F = 0,024 \cdot V^{0,237} \cdot e^{-0,070W} \cdot s^{0,192} \cdot (136978 - 14,79 \cdot \alpha + 0,219 \cdot \alpha^2)$
Овес	$F = 0,019 \cdot V^{0,184} \cdot e^{-0,062W} \cdot s^{0,191} \cdot (136979 - 14,92 \cdot \alpha + 0,220 \cdot \alpha^2)$

Таким образом, по результатам исследований определено усилие резания при различной влажности измельчаемого материала, выявлен оптимальный зазор между рабочими органами, найден оптимальный угол заточки.

Исследования конструктивных параметров дисмембратора позволили выявить степень нагрева смеси, потребляемую мощность, а так же гранулометрический состав полученных образцов рисунки 8 – 10:

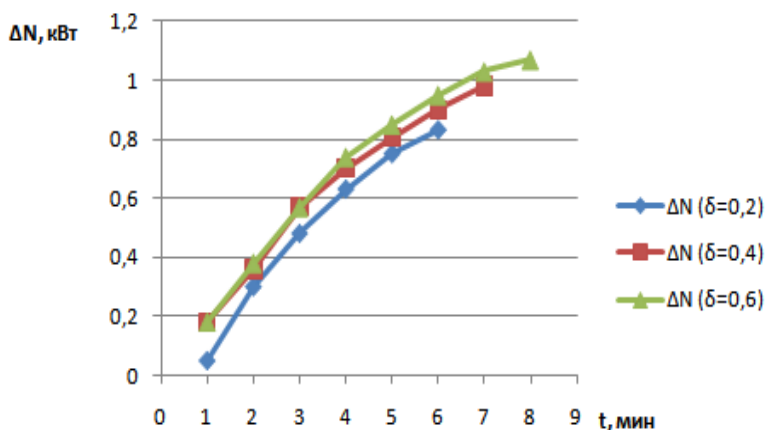


Рисунок 8 – Изменение потребляемой мощности во время приготовления

При повышении рабочего зазора между ротором и статором с 0,3 до 0,6 мм степень нагрева практически одинакова.

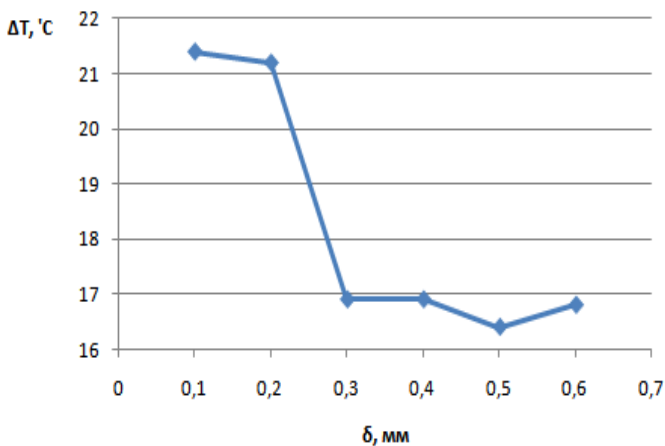


Рисунок 9 – Влияние зазора на температуру разогрева смеси

Таким образом, при зазоре $\delta=0,1$ мм установка работает неустойчиво, наблюдается перегрузка электродвигателя, при зазоре $\delta=0,2$ мм нагрев протекает более интенсивно (на 2,5-3 градуса в минуту) чем при 4-х остальных.

Изменение температуры от времени протекания процесса показывает, что изменение температуры пропорционально проходному сечению впускного канала, рисунок 10:

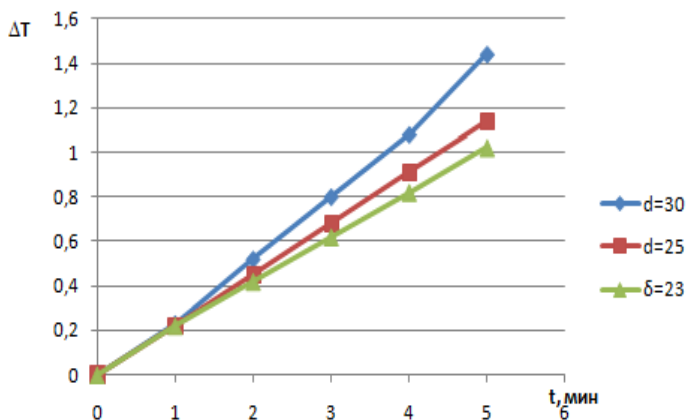


Рисунок 10 – Влияние проходного сечения впускного канала на температуру разогрева смеси

Потребляемая мощность также возрастает с увеличением впускного канала. Это связано с тем, что нагрев зависит от объема жидкости, проходящей через дисмембратор, который лимитируется впускным каналом. При диаметре впускного канала $d=25\text{мм}$ отмечена нагрузка, не превышающая номинальную мощность электродвигателя.

Результаты анализа гранулометрического состава представлены на рисунке 11:

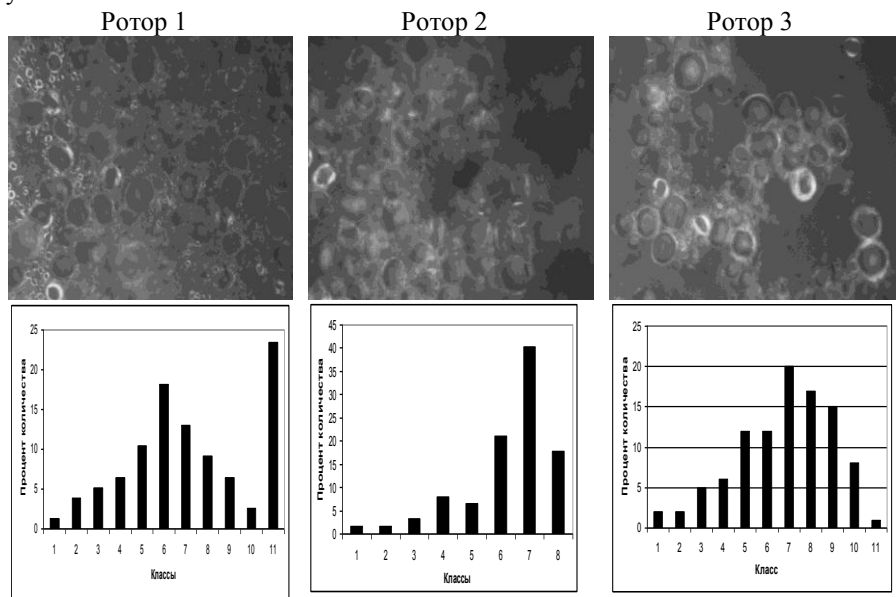


Рисунок 11 – Результаты гранулометрического анализа

По полученным результатам построены гистограммы распределения частиц по классам, показывающие, что проба №3 (ротор №3) является наиболее благоприятной для усвоения организмом животных ввиду оптимального для переваривания размера частиц.

В пятой главе – «Разработка промышленного образца дисмембратора, испытания в условиях крестьянско-фермерского хозяйства. Экономический эффект от внедрения» с учетом проведенных исследований изготовлен промышленный образец дисмембратора для приготовления жидких кормов с вертикальным расположением оси вращения измельчающего органа (рисунок 12). Опытный образец дисмембратора, технология приготовления смесей были переданы в крестьянско-фермерское хозяйство Васильцова В.А. (с. Малые Бутырки Мамонтовского района Алтайского края), насчитывающее поголовье в 250 голов, для выявления скрытых недостатков и проверки эффективности

приготовления жидких кормов. Эффективность приготовленных жидких кормовых смесей на переданной установке определялась при откорме 13 голов свиней по среднесуточному привесу.



Рисунок 12 – Промышленный образец дисембратора

В ходе испытаний выявлено: зоотехнические показатели корма, приготовленного на предлагаемой модели дисембратора, выше, чем у корма, приготовленного по классической технологии с применением запарника. Дисембратор надежно выполняет технологический процесс и пригоден для приготовления высококачественного корма; технический уровень выше, себестоимость меньше; обеспечивает заданное качество измельчения зернового материала.

Из сравнительной экономической оценки видно, что разработанная кормоприготовительная машина экономически более выгодна по сравнению с серийно выпускаемой машиной для приготовления кормов КИП – 0.6. Ожидаемый годовой экономический эффект от применения дисембратора составил 60773 руб в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На усвояемость корма животными большое влияние оказывает его гранулометрический состав. В свою очередь машины, применяемые для получения кормовых смесей, не могут обеспечить в полной мере требуемый размер частиц и имеют ряд существенных недостатков, такие как низкая производительность, длительный цикл приготовления, высокая металлоемкость конструкций, наличие дополнительных нагревательных элементов. Все это делает процесс приготовления весьма сложным и трудоемким.

2. Проведено моделирование вращения ротора, которое показало, что в момент совмещения каналов ротора и статора наблюдается:

- увеличение давления в проходных каналах;
- резкое падение скорости потока практически до нулевого уровня при закрытии проходных каналов;
- резкое увеличение скорости потока при открытии проходных каналов;
- повышение температуры жидкости при закрытии проходных каналов;
- понижение температуры жидкости при открытии проходных каналов;
- образование кольцевых вихрей, поведение которых определяется только размером и скоростью вихря.

При анализе результатов виртуальных экспериментов с тремя различными конструкциями роторов выявлена наиболее эффективная конструкция ротора (ротор № 3). При данной конструкции наблюдаются наилучшие характеристики давления внутри потока, наибольшее количество областей с перепадом температур и наименьший массовый расход.

3. Обоснована конструктивная схема центробежно-роторного дисмембратора, которая обеспечивает снижение удельной энергоемкости процесса приготовления жидких кормовых смесей за счет проведения 3 операций (измельчения, запаривания, смешивания) одновременно и в одном кормоприготовительном агрегате.

4. Проведены исследования по определению силы разрушения зернового материала при скоростях вращения рабочего органа от 0,5 м/с до 50 м/с в зависимости от формы рабочего органа, влажности испытуемого материала и его вида. Установлено, что:

- сила резания значительно снижается при увеличении влажности измельчаемого материала до 35 - 40%;
- увеличение зазора свыше 0,6 мм между режущим элементом и противорежущим резцом не гарантирует достижения приемлемой степени измельчения; величина зазора менее 0,2 мм приводит к переизмельчению зернового материала;
- уменьшение угла заточки режущего элемента приводит к уменьшению силы резания; приемлемый угол заточки режущего элемента составляет 75°;
- при увеличении скорости увеличивается сила резания.

5. Экспериментально определены рациональные конструктивные параметры рабочих органов дисмембратора. Выявлено:

- оптимальный зазор между режущими элементами дисмембратора - $\delta=0,2$ мм, именно при такой величине зазора наблюдается минимальная потребляемая мощность;
- нагрузка на электродвигатель зависит от размера проходного сечения на входе в камеру измельчения. Приемлемый размер проходного сечения равен 25 мм;
- конструкция ротора, наличие лопаток на периферии диска которой, а так же 3 ряда зубьев для измельчения обеспечивают равномерное измельче-

ние зерна (это позволяет получать однородную по своему составу массу, гранулометрический состав которой соответствует зоотехническим требованиям).

6. Разработан и изготовлен промышленный образец дисмембратора, который прошел испытания в условиях крестьянско-фермерского хозяйства. В процессе испытания установлено, что среднесуточный привес составил от 0,750 до 0,868 кг, уменьшился расход электроэнергии на 54%, снизился расход зерновой смеси в сутки в 2 раза. Ожидаемый годовой экономический эффект от применения дисмембратора составил 60773 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, по перечню ВАК

1. Ситников, А.А. Эффективная малогабаритная кормоприготовительная установка / Ситников А.А., Нефедов Е.Н. **Камышов Ю.Н.** //Сельский механизатор. – 2010. – № 4 – С.22 – 25.

Патенты

2. Пат. 93300 Российская Федерация, МПК В02С7/00 Устройство для приготовления гомогенизированных продуктов / Ситников А.А Нефедов Е.Н., Дрюк В.А., Салеев Ф.И., **Камышов Ю.Н.**, Лебедев А.С.; заявл. 21.12.2009; опубл. 27.04.2010.

3. Пат. 112646. Российская Федерация, МПК В02С7/00 Устройство для приготовления гомогенизированных продуктов./ Нефедов Е.Н., Ситников А.А., Нефедов К.Е., **Камышов Ю.Н.**, Почтер С.В. Заявл. 29.07.2011; Опубл. 20.01.2012.

4. Положительное решение о выдаче патента Р.Ф. на изобретение от 17 января 2012. Дисмембратор для приготовления гомогенизированных продуктов / Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Нефедов К.Е., Дрюк В.А., Салеев Ф.И., Почтер С.В., **Камышов Ю.Н.** – № 2010137459/13; заявл. 08.09.2010.

В других изданиях

5. Ситников, А.А. Опытная установка по приготовлению жидких кормов на основе вихревого теплогенератора. / Ситников А.А., **Камышов Ю.Н.**, Лебедев А.С. // Ползуновский альманах №2. – Барнаул, АлтГТУ – 2009. – С.54 – 55.

6. Ситников, А.А. Исследование влияния конструктивных параметров вихревого теплогенератора на эффективность подготовки кормовых смесей. / Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Нефедов К.Е. **Камышов Ю.Н.** / Модернизация сельскохозяйственного машиностроения: проблемы, задачи и пути их решения: Сб. науч. тр. – Барнаул: Изд-во ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2010. – С.72 – 78.

7. Ситников, А.А. Исследование процесса разрушения зернобобовых культур и определение оптимальных параметров гидродинамического центробежного-роторного измельчителя. / Ситников А.А., **Камышов Ю.Н.**,

Почтер С.В., Макарова Н.А. Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы I всероссийской научно-технической конференции 23 – 25 ноября 2011 г. / Под ред. к.т.н., профессора А.Н. Площаднова / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. – С. 497 – 501.

8. «Проведение поисковых научных исследований и разработка научно-технологических основ энергосберегающих процессов механоактивационной обработки сырья органического происхождения для создания и организации производства гидродинамических центробежно-роторных теплогенераторов» промежуточный отчет о НИР, УДК 631.3:636;631.22;636.084.7 по Государственный контракт № 02.740.11.0828. Руководитель НИР, д-р техн. наук, профессор – Максименко А.А. Г.Р. №01201064729. Инв. № 02-10. – Барнаул 2010 – 91 с. – исполн.: Максименко А.А., Ситников А.А., **Камышов Ю.Н.** и др.