

На правах рукописи

УДК 631.363.636.(043.3)



САБИЕВ Уахит Калижанович

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМБИКОРМОВ
В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 05.20.01 – «Технологии и средства
механизации сельского хозяйства»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Барнаул – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина»

- Научный консультант: Федоренко Иван Ярославович,
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»)
- Официальные оппоненты: Новоселов Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»)
- Сергеев Николай Степанович, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»)
- Фоминых Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВПО «Курганская сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева»)
- Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 29 марта 2012 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, РФ, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел/ факс (3852) 36-71-29,
[http: www.altstu.ru](http://www.altstu.ru); ntsc@desert.secna.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 212.004.02.

Автореферат разослан «22» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.004.02,
доктор технических наук, профессор



Л.В.Куликова

Актуальность работы. Национальный проект России в области сельского хозяйства предусматривает интенсивное развитие животноводства.

В общем процессе производства продукции животноводства на долю кормов приходится более половины затрат.

Научными исследованиями и практикой доказано, что от качества комбикормов во многом зависит повышение продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы. Скармливание зернофуража в виде дерти малоэффективно и экономически необоснованно. Простые кормовые смеси из нескольких видов зернофуража, сбалансированные по составу, дают значительно больший эффект, чем простая дерть, приготовленная из одной культуры.

Полноценные комбикорма, сбалансированные по основным элементам питания, микроэлементам и витаминам, оказываются на 25 – 30 % эффективнее обычных зерновых кормов. Фуражное зерно можно переработать в комбикорма, развивая собственное комбикормовое производство непосредственно в хозяйствах. Это позволяет сокращать издержки на закупку сырья, его транспортировку, более рационально использовать зернофураж, дорогостоящие БВД и непрерывно обеспечивать коллективные, крестьянские (фермерские) хозяйства собственными комбикормами. Поэтому производство комбикормов непосредственно в местах потребления становится условием рентабельного ведения отрасли животноводства.

В то же время анализ исследований и практика показывают, что производство комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий на более качественном уровне не представляется возможным из-за низкого качества выполнения обязательных типовых процессов обработки сырья (очистка, измельчение, дозирование, смешивание), которые и определяют технологическую эффективность всего производства комбикормов. Кроме того, в настоящее время отсутствуют эффективные технологии и технические средства, интенсифицирующие процесс приготовления концентрированных кормов к скармливанию животным в условиях сельскохозяйственных предприятий.

На основании изложенного можно констатировать, что улучшение технико-экономических показателей кормоприготовительной техники на основе вибрационного и ударного воздействия на кормовые материалы и создание новых технологических процессов и рабочих органов интенсифицирующего действия является актуальной проблемой в области механизации приготовления кормов, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Проблемность ситуации заключается в том, что, с одной стороны, в условиях сельскохозяйственных предприятий необходимо заниматься приготовлением комбикормов непосредственно на местах потребления с возможностью рационального использования собственного зернового сырья и покупных БВД с целью снижения себестоимости, энергоемкости и повышения качества приготовляемого комбикорма, с другой стороны, существующие знания о взаимосвязи и закономерностях функционирования отдельных операций технологических процессов приготовления комбикормов, имеющаяся техническая база не позволяют достичь перечисленных показателей эффективности процесса, характерных для крупных комбикормовых предприятий. Выход из этой ситуации видится в существенной

интенсификации основных технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

Научная гипотеза. Повышение эффективности процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий может быть достигнуто на основе использования вибрационного и ударного воздействия на сыпучие кормовые материалы путем создания новых рабочих органов интенсифицирующего действия, осуществляющих сепарацию (очистку), измельчение, дозирование и смешивание компонентов комбикормов.

Выявление закономерностей и зависимостей, характеризующих выше указанные процессы, позволит обосновать параметры технологических процессов и технических средств, обеспечивающих существенное повышение качества приготовления комбикормов и значительное снижение энергоемкости их производства.

Диссертация выполнена в соответствии с Федеральной программой по научному обеспечению АПК РФ «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2015 г.» (шифр программы 01.02), а также в соответствии с тематическим планом НИР ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А.Столыпина.

Цель исследований. Повышение эффективности приготовления сыпучих кормовых смесей в животноводстве путем обоснования и создания перспективных рабочих органов кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия при производстве комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

Объект исследований. Прогрессивные технологические процессы приготовления сыпучих комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

Предмет исследований. Закономерности, условия и режимы осуществления технологического процесса перспективными рабочими органами кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия для сепарации (очистки), измельчения, дозирования и смешивания компонентов комбикормов.

Методы исследований. Общей методологической основой исследований являлись использование системного подхода, математической статистики, вычислительного эксперимента. Теоретические исследования выполняли с использованием положений, законов и методов классической механики, математики, математического моделирования. Предложенные кормоприготовительные машины интенсифицирующего действия (для сепарации, измельчения, дозирования и смешивания) исследовали в лабораторных и производственных условиях в соответствии с действующими ГОСТами, ОСТАми и разработанными частными методиками. Обработку экспериментальных данных проводили методами математической статистики с использованием программных продуктов Statistica, MathCAD, Excel. При изучении сложных процессов вибрационной обработки сыпучих кормов, протекание которых зависит от большого числа факторов, использовались методы планирования многофакторных экспериментов. Достоверность положений работы подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также показателями производственных испытаний.

Научную новизну представляют:

- математическая модель повышения эффективности кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия;
- закономерности и зависимости по обоснованию рациональных режимов работы и оптимальных конструктивно-технологических параметров рабочих органов кормоприготовительных машин (сепарации, измельчения, дозирования и смешивания), обеспечивающих существенное повышение качества приготавливаемых комбикормов и значительное снижение энергоемкости их производства.
- математические модели процессов сепарации зерна, измельчения, дозирования и смешивания;
- закономерности изменения эффективных коэффициентов трения между обрабатываемым материалом и шероховатой вибрирующей поверхностью;
- математическое описание эффекта управляемого (по требуемому направлению) хрупкого разрушения зерновок при защемленном ударе лезвием в измельчителе ударного принципа действия.

Новизна технических решений подтверждена 16 авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

Практическая значимость работы. Разработана методика расчета эффективности функционирования кормоприготовительных машин, учитывающих приготовление комбикормов непосредственно в условиях сельскохозяйственных предприятий из сырья собственного производства и покупных добавок.

Обоснованы рациональные конструктивно-технологические параметры рабочих органов кормоприготовительных машин: (плоских решет с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом, интенсифицирующие процесс сепарации зерна); ударного измельчителя с новыми измельчающими элементами, использующие эффект защемленного удара по зерновке лезвием (при измельчении зернофуража); вибродозатора, рабочий орган (лоток) которого совершает продольные колебания по негармоническому закону, при которых движение частиц корма происходит с постоянной средней скоростью, что является технологической основой для получения малой погрешности дозирования при кормоприготовлении; вибросмесителя с перемешивающими элементами конической формы, при этом выявлена взаимосвязь их размеров с производительностью, энергоемкостью и качеством выполнения технологических процессов.

Рекомендации по созданию и применению рабочих органов кормоприготовительных машин, их конструктивно-технические схемы предлагаются для широкого внедрения в практику кормоприготовления.

Результаты исследований могут быть использованы проектными институтами, КБ, сельхозтоваропроизводителями, учебными заведениями при проектировании и эксплуатации машин по производству комбикормов, а также при подготовке специалистов для агропромышленного комплекса.

Реализация и внедрение результатов работы. Основные результаты научно-исследовательской работы рекомендованы Министерством сельского хозяйства и продовольствия Омской области к внедрению сельскохозяйственными предприятиями области. Разработаны исходные технические требования на измельчители, дозаторы, смесители и рекомендации по серийному производству решет с

продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси решета на предприятии «Омскхлебопродукт-сита». Решета с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, внедрены в ОАО «Учхоз № 1» Омского района Омской области.

Опытный образец измельчителя прошел производственную проверку в ЗАО «Оглухинское» Крутинского района и в КФХ «Виктория» Кормиловского района Омской области. Вибрационный смеситель с перемешивающими элементами конической формы внедрен в ОПХ им. Фрунзе Тарского района Омской области. Разработанная конструкция вибродозатора сыпучих кормов прошла производственную проверку в качестве дозирующего устройства мобильного кормораздатчика для нормированной раздачи концентрированных кормов и внедрена на молочном комплексе учебного хозяйства № 2 Омского СХИ (ныне ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина). Рабочие чертежи и методика проектирования вибродозатора сыпучих кормов приняты к внедрению опытным проектно-конструкторским бюро НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень) и Алтайским научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом животноводства (г. Барнаул).

Рабочие чертежи и рекомендации заложены в фонды Омского и Челябинского ЦНТИ. По запросам организаций рассылаются чертежи:

- решет с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, которые интенсифицируют процесс сепарации (очистки) зерна;
- ударного измельчителя с новыми измельчающими элементами, использующие эффект защемленного удара по зерновке лезвием при измельчении зерновых культур;
- вибрационного дозатора как самостоятельной машины в поточных линиях кормоцехов по приготовлению комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий;
- вибрационного смесителя с перемешивающими элементами конической формы;
- вибрационного дозатора в качестве дозирующего устройства мобильного кормораздатчика для нормированной раздачи концентрированных кормов.

Результаты исследований нашли отражение в опубликованных монографиях, учебных пособиях с грифом МСХ РФ и УМО по агроинженерным специальностям.

Лабораторные установки для изучения рабочих органов интенсифицирующего действия используются в учебном процессе при проведении практических и лабораторных занятий, выполнении выпускных квалификационных работ, освоении дисциплин «Механизация и технология животноводства», «Машины и оборудование в животноводстве», «Механизация, электрификация и автоматизация животноводства» в ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А.Столыпина.

Некоторые результаты исследований используются в учебном процессе других сельскохозяйственных вузов СФО РФ (НГАУ, АГАУ, БСХА и др.).

На защиту выносятся:

- математическая модель повышения эффективности работы кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия;

- закономерности изменения эффективных коэффициентов трения между обрабатываемым материалом и шероховатой вибрирующей поверхностью;
- математическое описание эффекта управляемого (по требуемому направлению) хрупкого разрушения зерновок при защемленном ударе лезвием в измельчителе ударного принципа действия;
- теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров кормоприготовительных машин:

для процесса сепарации:

- математическая модель относительного движения зерна по решетке с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, с учетом взаимодействия с гранями отверстия;
- вероятность прохода частицы через отверстие для наиболее характерных случаев расположения зерновки на решетке с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси;

для процесса измельчения:

- математическая модель движения измельченного зерна в канале второй и последующих ступеней измельчителя ударного принципа действия, учитывающая разрушение зерновок защемленным ударом лезвием;

для процесса вибродозирования:

- математическая модель процесса дозирования сыпучих кормов;
- эффективный коэффициент трения, зависящий не только от параметров вибрации, но и наклона лотка вибродозатора ;

для процесса вибросмешивания:

- математическая модель процесса смешивания, описывающая движение частиц сыпучей среды;
- обоснование геометрических параметров конических поверхностей виброконтакта и высоты слоя корма;
- результаты количественной, качественной и энергетической оценки выполнения технологических процессов сепарации, измельчения, дозирования и смешивания кормов в зависимости от режимов работы и параметров соответствующих рабочих органов кормоприготовительных машин;
- рациональные режимы работы и оптимальные конструктивно-технологические параметры рабочих органов кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия для сепарации, измельчения, дозирования и смешивания комбикормов.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов Омского ГАУ в период с 1986 по 2011 г. г.; на научно-технических конференциях ЧИМЭСХ (ЧГАУ) (с 1986 по 1988 г. г., 1990 г., 2001 г.), научно-практической конференции КазСХИ (г. Алма-Ата, 1987 г.), республиканской научно-практической конференции молодых ученых Казахской ССР (г. Кустанай, 1988 г.). Вибрационный дозатор демонстрировался членам НТС Госагропрома РСФСР на выездном заседании 4 июня 1987 г. в ЧИМЭСХ; удостоен диплома III степени на выставке-ярмарке научно-технических идей «Агропром-88» (г. Челябинск, 14 – 18 ноября 1988 г.). Автор разработанного вибродозатора признан лауреатом областной выставки научно-технического творчества молодежи «НТТМ-

88» (г. Челябинск, октябрь 1988 г.). Кроме того, автор выступал с докладами на научно-практическом семинаре Новосибирского ГАУ в январе 2003 г.; на региональной научной конференции «Аграрная наука России в новом тысячелетии». (г. Омск, май 2003 г.); на семинаре-совещании Министерства сельского хозяйства и продовольствия Омской области по подготовке токового хозяйства к уборке урожая. (июнь 2004 г.); на международной научно-практической конференции «Агроинженерная наука – итоги и перспективы» (г. Новосибирск, 2004 г.); на научно-технической конференции, посвященной 55-летию факультета механизации сельского хозяйства ФГОУ ВПО ОмГАУ в 2005 г.; на научно-практической конференции, посвященной 90-летию Омского государственного аграрного университета. (г. Омск, 2008 г.); на международном научно-техническом форуме «Реализация Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: инновации, проблемы, перспективы» (г. Омск, 2009 г.); на расширенном заседании лаборатории механизации животноводства ГНУ СибИМЭ СО РАСХН в 2011 г.; на объединенном заседании кафедр инженерного факультета ФГОУ ВПО АГАУ в 2011 г.

Публикации. Основные положения опубликованы в 70 печатных работах, в том числе в 13 изданиях по перечню ВАК РФ для докторских диссертаций, в 6 учебных пособиях с грифом МСХ РФ и УМО, в 16 авторских свидетельствах на изобретения и патентах.

В работе использованы материалы и результаты исследований, выполненных лично автором, а также полученные совместно с А.В. Зильбернагелем, А.Н. Яцуновым и В.В. Фоминым, работавшим под его руководством.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения и семи глав, общих выводов, списка литературы из 262 наименований (в т.ч. 12 на иностранных языках) и приложений. Общий объем 406 стр., в том числе 148 рисунков, 20 таблиц и приложений на 87 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель исследований и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе «Анализ общих направлений и методологических основ совершенствования технологий и технических средств приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий» приведен анализ состояния технологических процессов сепарации, измельчения, дозирования и смешивания компонентов при производстве комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

При определенных условиях использование вибрации может обеспечить псевдооживление сыпучих материалов и является эффективным средством уменьшения энергоемкости рабочих процессов путем «снижения» коэффициентов трения.

Автором осуществлен анализ путей интенсификации технологического процесса сепарации зерна на зерноочистительных машинах; проанализированы работы, посвященные исследованию параметров относительного движения зерна по

решету; проведен обзор исследований влияния конструкции решета на процесс сепарации.

При этом установлено, что на эффективность работы зерноочистительных решет влияет совокупность конструктивных параметров решет и кинематических режимов движения зерна. Усовершенствованию конструкций самих решет посвящены работы В.А. Кубышева, М.А. Тулькибаева, Ю.В. Терентьева, А.И. Климка, П.А. Емельянова, П.Н. Лапшина, А.В. Фоминых, Ф.И. Салеева, Евтягина В.Ф.

Многими исследованиями доказано, что величина предельной скорости движения частицы по решету и равномерность загрузки решет по ширине в значительной степени влияют на качественные и количественные показатели работы решета.

Автором предложен один из путей повышения производительности зерноочистительной машины – применение решета с продолговатыми отверстиями, расположенными под оптимальным углом к направлению его движения.

Из множества существующих операций технологического процесса производства комбикормов наибольшее влияние в хозяйственном производстве будут иметь: измельчение, дозирование и смешивание.

Измельчение является наиболее энергоемкой и трудоемкой операцией, занимающей более 50% от общих трудозатрат в приготовлении комбикормов.

Выполнен анализ результатов научных исследований физико-механических свойств фуражного зерна и конструктивных особенностей технических средств по его измельчению.

Проанализированы способы механического разрушения материалов и теорий измельчения материалов.

Изучением влияния конструктивных параметров на процесс измельчения занимались С.В.Мельников, В.А.Елисеев, А.А.Сундеев, Ф.Г.Плохов, В.А.Денисов, В.И. Сыроватка, Л.А.Глебов, П.И. Леонтьев, Н.С. Сергеев, И.Я. Федоренко, С.В. Золотарев, В.А. Дронов, В.А. Зотов, М.Г. Ефимов, И.Б. Шагдыров и др.

При выборе рациональных способов измельчения возникает необходимость создания и применения в сельскохозяйственном производстве измельчителей с новыми рабочими органами интенсифицирующего действия.

Доказано, что измельчение защемленным ударом по зерновке лезвием является наиболее целесообразным видом измельчения зерновых кормов с точки зрения снижения удельной энергоемкости и повышения качества измельчения.

Важная роль в обеспечении рационального кормления животных принадлежит машинам и устройствам, дозирующим компоненты, входящие в состав кормовых смесей (комбикормов).

Зачастую дозаторы, применяемые в линиях приготовления и раздачи кормовых смесей, не отвечают зоотехническим требованиям по неравномерности дозирования, имеют высокую энерго- и металлоемкость. В результате этого нарушаются нормы кормления животных, отрицательно сказывающиеся на продуктивности и ведущие к необоснованному перерасходу дорогостоящих кормов.

Проведенные исследования показывают целесообразность применения дозаторов, использующих вибрацию рабочего органа.

Изучением процесса вибрационного транспортирования и дозирования занимались И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе, И.Ф. Гончаревич, А.О. Спиваковский,

В.А. Повидайло, П.М. Заика, В.Д. Варсановьев, В.И. Земсков, П.И. Леонтьев, И.Я. Федоренко, Б.С. Модестов, И.И. Помялов, В.А. Плачкова, В.И. Лобанов и др.

Установлено, что полезное применение вибрации, как одной из наиболее эффективных форм механических воздействий, позволяет разрушить связи между частицами материала, стабилизировать истечение потока сыпучего материала, повышая тем самым равномерность дозирования.

С зоотехнической точки зрения важно не только ввести в состав кормосмеси предусмотренные рационом компоненты в требуемом количестве, но и необходимо равномерно распределить их во всем объеме смеси.

Доказана целесообразность применения вибрации при смешивании сыпучих кормов и рассмотрено вибрационное воздействие на смешиваемые материалы.

Выполнен анализ принципиальных конструкций вибрационных смесителей. Произведен обзор исследований, рекомендаций и выводов по теории и организации процесса смешивания сыпучих материалов.

Проблеме повышения эффективности процессов смешивания сыпучих материалов с использованием вибрации посвящены работы И. Ф. Гончаревича, М.Л. Моргулиса, К.В. Фролова, К.Г. Петрова, И.Я. Федоренко, С.В. Евсеенкова, А. Сраждинова, А.Д. Припадчева, Л.В. Межуевой, В.Н. Николаева и других. Некоторые из работ посвящены исследованиям процесса смешивания определенных видов кормов или отдельными видами смесителей.

На основании литературного обзора возникла необходимость более глубокого изучения закономерностей взаимодействия сыпучей среды с рабочими органами смесителя и изменения качества смеси в зависимости от его основных параметров.

На основе проведенного анализа и в соответствии с поставленной целью сформулированы задачи исследования:

- проанализировать и обобщить теоретические и экспериментальные исследования процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий;
- разработать методологический комплекс исследования и структурную схему приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия, обеспечивающих повышение качества и снижение энергоемкости процесса;
- разработать математические модели основных технологических процессов приготовления комбикормов;
- разработать перспективные рабочие органы кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия, осуществляющих сепарацию (очистку), измельчение, дозирование и смешивание компонентов комбикормов;
- экспериментально проверить математические модели и провести обоснование параметров технологических процессов и технических средств;
- провести производственные испытания разработанных технологических процессов и технических средств и дать их технико-экономическую оценку.

Во второй главе «Механико-методологические предпосылки интенсификации процессов приготовления комбикормов» разработана методологическая база исследований технологических процессов приготовления комбикормов в услови-

ях сельскохозяйственных предприятий (рис. 1) и предложена структурная схема процесса с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационно-го и ударного принципа действия.

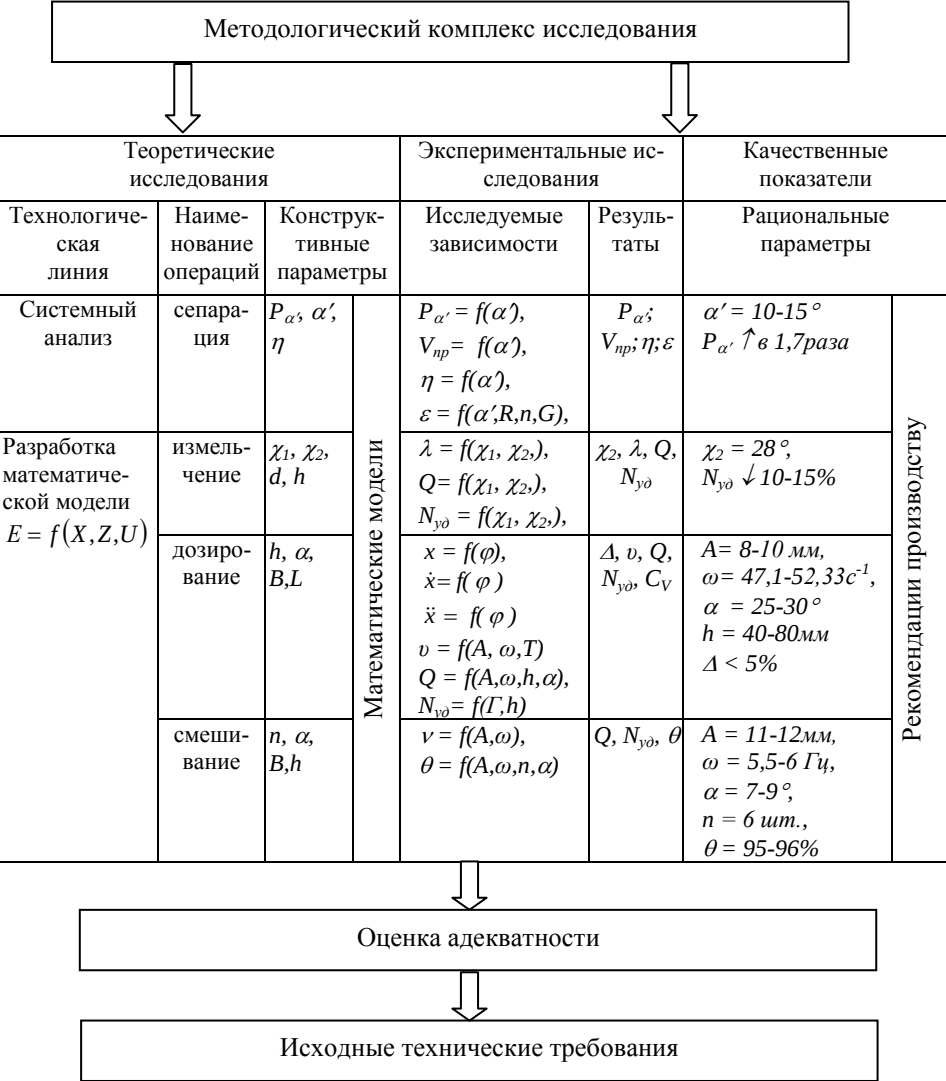


Рисунок 1 – Методологическая база исследований процесса приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий

Специфика процесса приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий позволяет рассматривать формализованные взаимосвязи процесса, протекающего в рабочем пространстве оборудования (для сепарации,

измельчения, дозирования и смешивания) с учетом вибрационного и ударного воздействия на сыпучие корма (компоненты комбикормов) и их физико-механические свойства, а также влияние этих закономерностей на качественные показатели готового комбикорма.

Методологическая база исследований технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий является фундаментом многоступенчатой и многозвенной структуры, которая включает в себя создание рабочих органов интенсифицирующего действия, обеспечивающих существенное повышение качества комбикормов и значительное снижение энергоемкости процесса. Использование такой методологии позволяет создать иерархическую структуру системы исследований, включающей отдельные подсистемы, взаимосвязанные через внутренние характеристики системы, в качестве которых выбирают показатели (функции), подводящие их как бы к общему знаменателю. Как результат была представлена сложная, многоуровневая система, которая в свою очередь подразделена на подсистемы. Такое деление соответствует целям и задачам исследования, и, следовательно, представляет логическую завершенность.

Проведенный анализ технологических процессов производства комбикормов позволил предложить новые кормоприготовительные машины вибрационного и ударного принципа действия и включить их в общую структурную схему приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий (рис. 2).

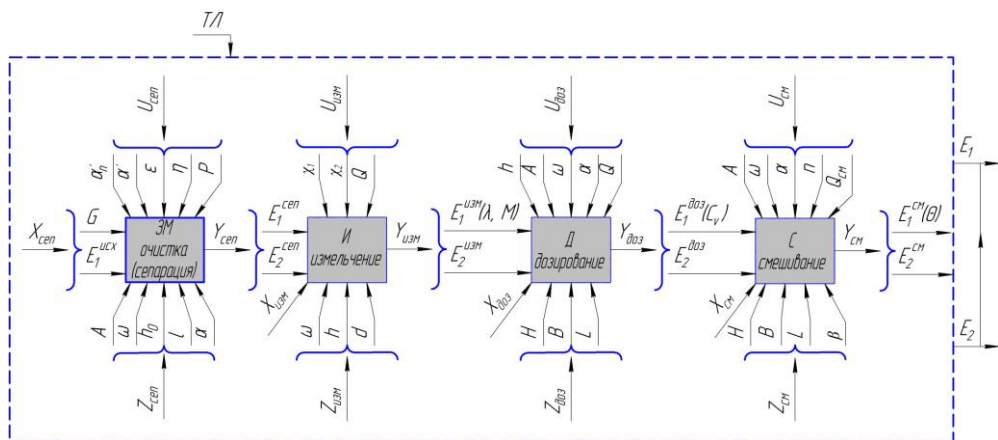


Рисунок 2 - Структурная схема приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий:

ЗМ – зерноочистительная машина; И – измельчитель, Д – вибродозатор, С – вибросмеситель; ТЛ – технологическая линия; $X_{сеп}$, $X_{изм}$, $X_{доз}$, $X_{см}$ – функции (входные) внешнего воздействия (физико-механические свойства компонентов комбикормов и состояние внешней среды; $Y_{сеп}$, $Y_{изм}$, $Y_{доз}$, $Y_{см}$ – результирующие (выходные) показатели работы соответственно зерноочистительной машины, измельчителя, вибродозатора и вибросмесителя; $U_{сеп}$, $U_{изм}$, $U_{доз}$, $U_{см}$ – функции управляющего воздействия (внутренние регулируемые параметры кормоприготовительных машин); $Z_{сеп}$, $Z_{изм}$, $Z_{доз}$, $Z_{см}$ – функции состояния перечисленных кормоприготовительных машин (внутренние нерегулируемые параметры); E_1 – качествоготавливаемого комбикорма в условиях сельскохозяйственных предприятий; E_2 – энергоёмкость процесса приготовления комбикормов.

Технологический процесс приготовления комбикормов является сложной многопараметрической системой, схема функционирования которой имеет иерархическую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов, явлений и их взаимосвязи.

Процессы кормоприготовления (сепарация, измельчение, дозирование и смешивание) протекают в условиях непрерывно изменяющихся внешних воздействий. Их можно рассматривать как многомерную динамическую систему со многими входными и выходными параметрами. Каждый вид операции в предлагаемой технологии приготовления комбикормов является подсистемой и выполняется в определенной последовательности. Итог – повышение качества и снижение энергоемкости процесса приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

На основании структурной схемы (рис. 2) функция технологического процесса приготовления комбикормов запишется следующим образом:

$$E = f(X, Z, U), \quad (1)$$

где E – вектор-функция, параметры которого определяют результирующие (выходные) показатели технологии приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий (E_1, E_2); X – вектор-функция (входных) внешних воздействий на зерноочистительную машину $X_{3м}$, измельчитель ударного принципа действия $X_{из}$, вибрационный дозатор $X_{доз}$ и вибрационный смеситель $X_{см}$ (физико-механические свойства компонентов комбикорма и состояния внешней среды); Z – вектор-функция состояния технических средств, интенсифицирующих технологический процесс приготовления комбикормов (внутренние нерегулируемые параметры кормоприготовительных машин); U – вектор-функция управляющих воздействий технических средств для приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий (внутренние регулируемые параметры кормоприготовительных машин).

$$\begin{aligned} X &= (X_{3м}, X_{изм}, X_{доз}, X_{см}), \\ Z &= (Z_{3м}, Z_{изм}, Z_{доз}, Z_{см}), \\ U &= (U_{3м}, U_{изм}, U_{доз}, U_{см}). \end{aligned}$$

После решения задач по определению параметров вектор-функции внешних воздействий, регулируемых и нерегулируемых параметров технических средств выполнения операций по приготовлению комбикормов для построения функции $f(X, Z, U)$ определяются результирующие показатели работы:

- зерноочистительной машины: $Y_{3м} = f_{3м}(X_{3м}, Z_{3м}, U_{3м})$
- измельчителя ударного принципа действия: $Y_{изм} = f_{изм}(Y_{3м}, Z_{изм}, U_{изм})$
- вибрационного дозатора: $Y_{доз} = f_{доз}(Y_{изм}, Z_{доз}, U_{доз})$
- вибрационного смесителя: $Y_{см} = f_{см}(Y_{доз}, Z_{см}, U_{см})$

Следовательно, общий вид функции технологии приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия запишется как

$$E = f(f_{см}(f_{доз}(f_{изм}(f_{3м}(X_{3м}, Z_{3м}, U_{3м})Z_{изм}, U_{изм})Z_{доз}, U_{доз})Z_{см}, U_{см})). \quad (2)$$

В результате изменения внешних воздействий, регулируемых и нерегулируемых параметров будет происходить изменение результирующих показателей как отдельных кормоприготовительных машин, так и процесса приготовления комбикормов в целом.

Для повышения качества и снижения энергоемкости приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий воспользовались методом случайного поиска, согласно которому при переходе от предыдущего состояния E_{n-1} к последующему E_n делается шаг $j \cdot \vec{\xi}$, где $\vec{\xi}$ – единичный вектор, указывающий направление, в котором выбирается изменение оптимизируемых параметров интенсифицирующих рабочих органов кормоприготовительных машин; j – величина шага.

Исходя из требований повышения качества и снижения энергоемкости технологии приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия, технологический процесс будет осуществляться по интерактивной схеме:

$$E_n = E_{n-1} \begin{cases} j \cdot \vec{\xi}_n, & \text{если } J \cdot (E_{n-1} - j \cdot \vec{\xi}_n) < J \cdot (E_{n-1}) \\ 0 & \text{если } J \cdot (E_{n-1} - j \cdot \vec{\xi}_n) \geq J \cdot (E_{n-1}), \end{cases} \quad (3)$$

где J – функционал повышения качества приготовления комбикормов в условиях хозяйства $J(E) \rightarrow \max$ (повышению производительности и полноты разделения зернового вороха; повышение равномерности гранулометрического состава продукта помола; повышение эффективности вибродозирования и вибросмешивания компонентов комбикорма).

Изменение конечных показателей технологии приготовления комбикормов по предлагаемой интерактивной схеме (3) будет происходить путем оптимизации наиболее значимых параметров предлагаемых кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия.

В третьей главе «Интенсификация процесса сепарации фуражного зерна на плоских решетках с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом» представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований сепарации фуражного зерна на предлагаемых решетках, позволяющих получить зерновое сырье нужных кондиций для качественной выработки комбикормов.

На основе схемы взаимного расположения решета, отверстия и зерновки, определена предельная скорость движения зерна по решетку с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси решета (рис. 3):

$$V_{np} = \begin{cases} \left(\frac{l}{\cos \alpha'} - \frac{a}{2 \cdot \cos \alpha'} - \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{b}} & 0 \leq \alpha' < \operatorname{arctg} \frac{h_0 - b/2}{l - a/2} \\ \left(\frac{h_0}{\sin \alpha'} - \frac{b}{2 \cdot \sin \alpha'} - \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{b}} & \operatorname{arctg} \frac{h_0 - b/2}{l - a/2} \leq \alpha' \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (4)$$

где l – длина отверстия;

α – угол наклона плоскости решета к горизонту;
 h_0 – ширина отверстия;
 a, b – длина и толщина зерновки;
 α' – угол расположения отверстия к продольной оси решета.

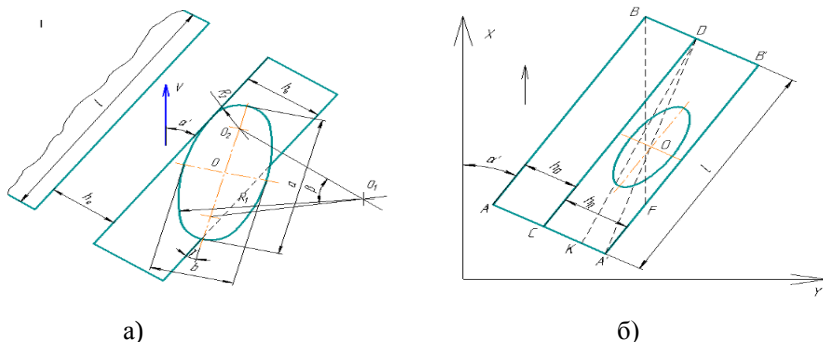


Рисунок 3 - Расчетная схема взаимного положения зерновки и отверстия решета

Из уравнения (4) следует, что с увеличением угла между вектором скорости частицы и осью симметрии отверстий скорость зерна уменьшается. По результатам расчетов установлены значения рациональных углов расположения отверстий решета не более 15° с учетом предельной скорости движения зерна.

Вероятностный подход к процессу сепарации зерна на решетке позволяет определить влияние траектории движения частицы на вероятность её взаимодействия с кромками продолговатого отверстия решета. Для того чтобы частица смогла пройти через отверстие решета, необходимо, чтобы она оказалась в зоне отверстия и располагалась относительно граней отверстия определенным образом. Рассматривая эти события как независимые, вероятность прохода частицы через отверстия решета будет равна:

$$P = P_\gamma \cdot P_{\alpha'}, \quad (5)$$

где P – вероятность прохода частицы через отверстие решета;

P_γ – вероятность «проходowego» расположения частицы на гранях отверстия;

$P_{\alpha'}$ – вероятность взаимодействия частицы с гранями отверстия, обусловленная траекторией движения частицы на перемычке.

Для определения положения частицы, при котором прохождение ее через отверстие решета возможно, считая зерновку в форме эллипсоида, у которого большая ось равняется длине зерна a , а малая ось – толщине зерна b , центральное сечение представляет собой овал из дуг сопряженных радиусов R_1 и R_2 , используем расчетную схему см. (рис. 3, а).

Из геометрических соотношений определяем угол γ , при котором возможен проход зерновки в отверстие решета:

$$0 \leq \gamma \leq \pm \arcsin \frac{2 \cdot (h_0 - R_z)}{a - 2 \cdot R_z}. \quad (6)$$

Если известны статистические характеристики реального расположения частиц на поверхности решета относительно продольной оси отверстия, то вероятность «проходowego» расположения частицы относительно грани отверстия будет равна:

$$P_\gamma = \sum_i P_{\gamma_i} = \frac{N_\gamma}{N} \quad (7)$$

где i – число независимых событий в диапазоне $\mathcal{Y}_i$;

P_{γ_i} – вероятность каждого события в диапазоне $\mathcal{Y}_i$;

N_γ – число частиц на контрольном участке решета расположенных в диапазоне $\mathcal{Y}_i$;

N – общее число частиц на контрольном участке решета.

Для определения вероятности взаимодействия частицы с гранями отверстия, при пересечении траектории движения частицы с гранями отверстия, используем расчетную схему, приведенную на рис. 3,б. Если, $0 \leq \alpha' \leq \arctg \frac{h_n}{l}$, то из геометрических соотношений запишем: $P_{\alpha'} = \frac{S_{ABDC} + S_{CDK}}{S_{ABB'A'}}$, где S_{ABDC} – площадь отверстия;

S_{CDK} – площадь перемычки, с которой частица попадает в отверстие; $S_{ABB'A'}$ – суммарная площадь отверстия и перемычки. Если $\arctg \frac{h_n}{l} < \alpha' \leq \frac{\pi}{2}$, то из рис. 3,б запишем: $P_{\alpha'} = 1 - \frac{S_{BB'F}}{S_{ABB'A'}}$, где $S_{BB'F}$ – часть суммарной площади, с которой частица не проходит в отверстие. После преобразований получим:

$$P_{\alpha'} = \begin{cases} \frac{h_0}{h_0 + h_n} + \frac{l \cdot \tg \alpha'}{2(h_0 + h_n)} \\ npi & 0 \leq \alpha' \leq \arctg \frac{h_n}{l} \\ 1 - \frac{h_n^2 \cdot \ctg \alpha'}{2 \cdot l \cdot (h_0 + h_n)} \\ npi & \arctg \frac{h_n}{l} < \alpha' \leq \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (8)$$

Результаты расчетов предельной скорости движения зерна и вероятности прохода частицы через отверстия решета в зависимости от угла расположения отверстия приведены в виде графиков на рис. 4.

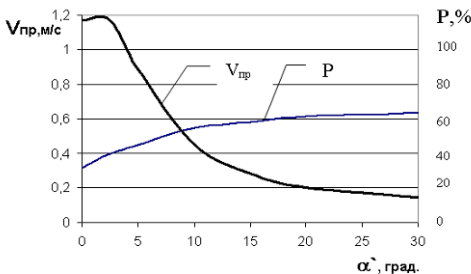


Рисунок 4 – Зависимость предельной скорости движения зерна $V_{пр}$ и вероятности прохода частицы через отверстие решета P от угла расположения отверстий решета

Из рисунка 4 следует, что расположение отверстий решета под углом к продольной оси способствует увеличению вероятности прохода частиц в отверстие решета. В диапазоне α' от 0 до 20° вероятность прохода частицы возрастает с 0.315 до 0,548, то есть в 1,7 раза.

Математическая модель процесса взаимодействия частицы с кромкой наклонного продолговатого отверстия решета, совершающего продольные гармонические колебания имеет вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = (\cos\alpha \cdot \cos^2\alpha' \pm \sin\alpha \cdot \cos\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi) \cdot (r \cdot \omega^2 \cos\omega t - g \frac{\sin\alpha \cdot \cos\alpha_{II} \mp \cos\alpha \cdot \cos\alpha_{II} \cdot \cos\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\cos\alpha \cdot \cos^2\alpha' \pm \sin\alpha \cdot \cos\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi}) \quad (9)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = (\cos\alpha \cdot \cos\alpha' \cdot \sin\alpha' \pm \sin\alpha \cdot \sin\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi) \cdot (r \cdot \omega^2 \cdot \cos\omega t - g \frac{-\sin\alpha_{II} \cdot \cos\alpha \mp \cos\alpha \cdot \cos\alpha_{II} \cdot \sin\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\cos\alpha \cdot \cos\alpha' \cdot \sin\alpha' \pm \sin\alpha \cdot \sin\alpha' \cdot \operatorname{tg}\varphi}) \quad (10)$$

Уравнения (9, 10) с верхними знаками соответствуют моментам времени, относящимся к левым интервалам (движение частицы по решетку вниз и вправо), а с нижними – к правым интервалам (движение частицы вверх и влево).

Решение этих уравнений позволило получить характеристики параметров относительного движения частицы (скорости, перемещения) в зависимости от установочных параметров решета (продольного и поперечного углов наклона решета, угла расположения отверстий) и кинематических параметров привода решета (радиус и частота вращения кривошипа). Для расчета параметров относительного движения частицы по решетку на ПЭВМ составлена программа с использованием прикладной программы MathCAD.

Результаты расчетов теоретической производительности решета при заданной величине полноты разделения $\varepsilon = 0,8$ представлены на рисунке 5.

Полученные зависимости $Q = f(\alpha', \alpha_{II})$ показывают, что оптимальные значения угла расположения отверстий решета равны $\alpha' = 10 - 15^\circ$. Угол поперечного наклона положительно влияет на производительность, но величина его должна ограничиваться по условию равномерного распределения зерна по поверхности решета.

Исследования по выявлению закономерностей качественных и количественных показателей работы решета с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, проводили на лабораторной установке (рис. 6).

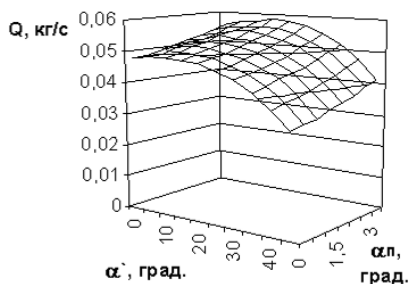


Рисунок 5 – Зависимость теоретической производительности Q решета от продольного α' и поперечного α_{II} углов его наклона

В результате отсеивающего эксперимента выяснено, что статистически значимыми по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне значимости являются следующие факторы: удельная нагрузка на решето, угол расположения кромок прямоугольных отверстий решета к продольной оси решета, амплитуда и частота колебаний решета.

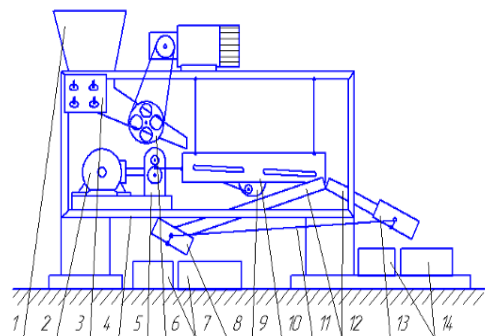


Рисунок 6 – Схема лабораторной установки: 1 – бункер для исходной зерновой смеси; 2 – двигатель привода решета; 3 – пульт управления; 4 – рама; 5 – распределительный редуктор; 6 – привод дозатора зерна; 7 – емкости для сбора проходовой фракции; 8, 13 – клапаны; 9 – привод щеток; 10 – решетный стан; 11 – рычаг блокировки клапанов; 12 – лотки для сбора фракций; 14 – емкости для сбора сходовой фракции.

С целью определения области планирования исследований проведен классический эксперимент, по результатам которого получены зависимости полноты разделения от угла расположения отверстий (рис. 7), угла поперечного наклона плоскости решета, амплитуды и частоты колебаний для величин удельной нагрузки 0,67; 1,47 и 2,28 кг/м²·с. На основании этих зависимостей установлены уровни варьирования факторов.

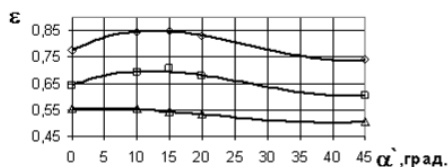


Рисунок 7 – Зависимости полноты разделения от угла расположения отверстий решета для величин удельной нагрузки: ($\diamond$ – 0,67; $\square$ – 1,34; Δ – 2,01) кг/(м²·с), $\alpha_n = 1,5^0$

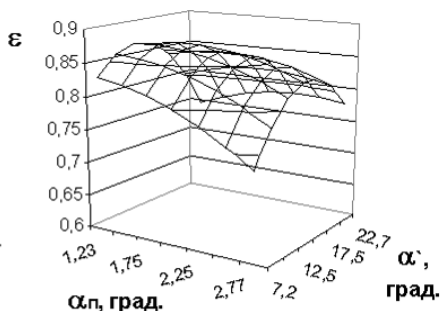


Рисунок 8 – Зависимость полноты разделения от угла поперечного наклона решета α_n . $G = 0,67$ кг/м²·с

В результате проведения многофакторного эксперимента получена регрессионная модель изменения полноты разделения, адекватная на 5%-ном уровне значимости

$$\begin{aligned} \varepsilon = & 0,765164 - 0,117479G + 0,009463\alpha' + 0,000107\alpha_n + 0,004861R + 0,000296n + \\ & + 0,002412GR + 0,000069Gn + 0,000946\alpha'\alpha_n - 0,000002\alpha'n - 0,000011Rn - \\ & - 0,000338\alpha'^2 - 0,003574\alpha_n^2 - 0,000339R^2 - 0,0000003n^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Поверхности отклика построены в зависимости от кинематических пара-

метров работы решета R и n и параметров пространственного расположения отверстий решета α_n (рис. 8, 9).

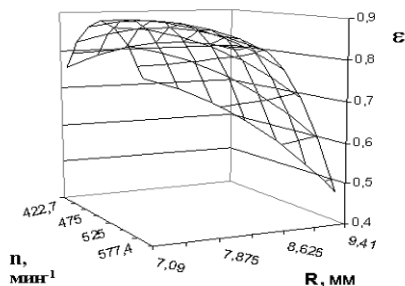


Рисунок 9 – Зависимость полноты разделения от амплитуды R и частоты n колебаний решета
 $G = 0,67 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

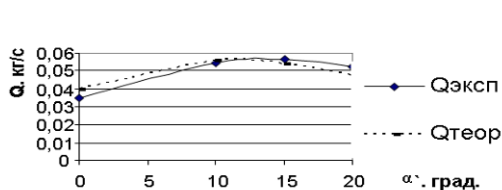


Рисунок 10 – Теоретические и экспериментальные зависимости производительности, полученной теоретически $Q_{\text{теор}}$ и экспериментально $Q_{\text{эксп}}$, при поперечном угле наклона решета $\alpha_n = 1,5^\circ$

Результаты теоретических исследований подтверждаются результатами экспериментов, о чем свидетельствуют зависимости производительности решета от угла наклона продолговатых отверстий, представленные на рисунке 10.

В четвертой главе «Измельчение зерновых культур в измельчителе ударного принципа действия» приведена теоретическая модель движения измельченного зерна в канале второй и последующих ступеней ударного измельчителя, обеспечивающего получение готового продукта выровненного гранулометрического состава при низких затратах энергии.

В качестве модели зерновки примем трехосный эллипсоид, а в качестве модели сегмента зерновки сегмент трёхосного эллипсоида (рис. 11, а, б).

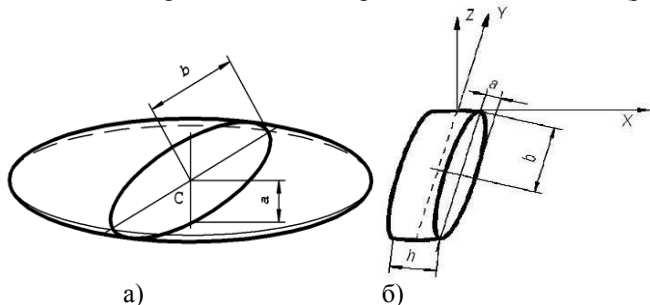


Рисунок 11 – Модель зерновки:
 a – длина малой полуоси, мм;
 b – длина большой полуоси, мм;
 c – центр тяжести;
 h – толщина сегмента, мм

Н.С. Сергеевым теоретически установлено, что при движении в канале первой режущей пары рабочего органа измельчителя зерно поворачивается, ориентируясь длинной осью вдоль стенки канала (рис. 11). Следовательно, при вращении ротора, двигаясь под действием центробежной силы, зерновка нарезается на сегменты толщиной h .

Рассмотрим движение зерновки по диску вдоль стенки режущего элемента.

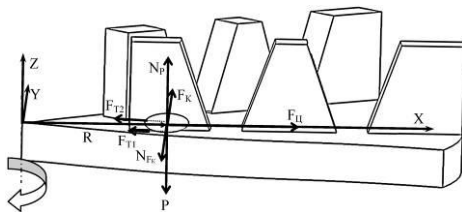


Рисунок 12– Схема движения зерна по диску вдоль стенки режущего элемента:

R – расстояние от оси вращения до центра масс зерновки.

На неё действуют следующие силы (рис.12):

- сила тяжести $P = mg$;
- нормальная реакция диска N_p ;
- центробежная сила $F_{ц} = m\omega^2 R$, где $\omega = \pi n/30$;
- сила Кориолиса $F_K = 2m\omega V_0$;
- нормальная реакция стенки режущего элемента N_{FK} ;
- сила трения $F_{T1} = fmg$ - действующая на поверхности диска;
- сила трения $F_{T2} = 2fm\omega V_0$, действующая по поверхности лопатки,

где V_0 – скорость движения зерна по диску, m – масса зерна, f – коэффициент трения зерна по поверхности диска-ротора, ω – угловая скорость вращения ротора; g – ускорение силы тяжести; n – частота вращения ротора.

Основной закон динамики для зерновки имеет вид:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} + \vec{F}_{ц} + \vec{F}_K, \quad (12)$$

где $\vec{a}$ – ускорение зерновки; $\sum \vec{F}$ – геометрическая сумма, действующих на зерновку сил или

$$m\vec{a} = 2fm\omega\vec{V}_0 + fm\vec{g} + m\vec{g} + m\omega^2 R + 2m\omega\vec{V}_0. \quad (13)$$

Проецируя это уравнение на ось X , совпадающую с радиусом диска R , получим

$$ma = m\omega^2 R - 2fm\omega V_0 - fmg \quad (14)$$

Известно, что при равноускоренном движении тела без начальной скорости путь, пройденный телом, равен

$$L = \frac{at^2}{2}, \quad (15)$$

Так как в нашем случае $L = S$, $V_0 = 0$ толщина зерна, отрезаемая первой парой режущих элементов, будет определяться следующей формулой:

$$S = \frac{(\omega^2 R - fg)t^2}{2}. \quad (16)$$

Анализ этого выражения при оптимальной скорости резания ($\omega = 230$ рад/с) с учётом того, что первое кольцо рабочих органов ударного измельчителя имеет две режущие пары, показывает, что сегмент зерновки имеет толщину около $h \approx 1,5$ мм.

Покажем, что взаимодействие сегментов зерновки с режущими элементами рабочих органов ударного измельчителя второй и последующих ступеней измельчения происходит преимущественно по поверхности предварительного среза рабочими органами предыдущей ступени.

Рассмотрим движение сегмента зерновки при ориентации в канале рабочего органа (рис. 13):

На него действуют следующие силы:

- сила тяжести $P = mg$ (направлена вниз);
- нормальная реакция силы тяжести N_p (направлена вверх);
- центробежная сила $F_{ц} = m\omega^2 R$ (направлена вдоль радиуса от оси вращения), где $\omega = \pi n/30$;
- сила Кориолиса $F_K = 2m\omega V_0$ (направлена перпендикулярно стенке режущего элемента против направления вращения);
- нормальная реакция стенки режущего элемента (направлена перпендикулярно стенке режущего элемента по направлению вращения);
- сила трения $F_{T1} = fmg$ - действующая на поверхности диска;
- сила трения $F_{T2} = 2f m \omega V_0$, действующая по поверхности лопатки,

где V_0 – скорость движения сегмента зерновки по диску, m – масса сегмента зерновки, f – коэффициент трения поверхности сегмента зерновки по поверхности диска-ротора, ω – угловая скорость вращения ротора, g – ускорение силы тяжести; n – частота вращения ротора.

Из рисунка 13 видно, что отрезанный на первой ступени измельчителя сегмент зерновки находится в неустойчивом положении, так как опирается на рабочий орган эллипсоидной частью, а, следовательно, имеет только одну точку опоры.

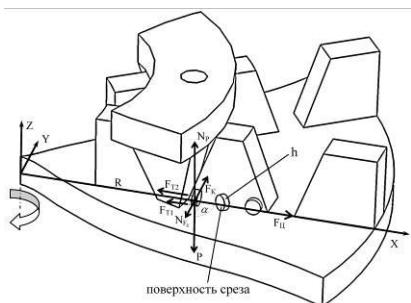


Рисунок 13 – Схема движения сегмента зерновки после выхода с первой ступени рабочих органов ударного измельчителя по ротору вдоль стенки режущего элемента:

R – расстояние от оси вращения до центра масс сегмента зерновки;

Выведенная из равновесия силой $F_{ц}$ частица может потерять равновесие в двух направлениях:

- в сторону действия момента силы P ;
- в сторону действия момента силы F_K .

Для теоретического определения направления разворота сегмента зерновки определим момент силы F_K из уравнения:

$$J_z \ddot{\alpha} = F_K b \cos \alpha + F_{ц} b \sin \alpha - F_{T2} b \sin \alpha, \quad (17)$$

где

$$J_z = mb^2 + \frac{m}{5} \left(b^2 + \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) = \left(\frac{6}{5} b + \frac{h^2}{4} \right).$$

и момент силы P из уравнения:

$$J_y \ddot{\beta} = P b \cos \beta - F_{T1} b \sin \beta + F_{ц} b \sin \beta, \quad (18)$$

где

$$J_z = ma^2 + \frac{m}{5} \left(a^2 + \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) = \left(\frac{6}{5} a + \frac{h^2}{4} \right).$$

Численное решение данных дифференциальных уравнений показывает, что момент силы F_K уже при скорости резания $\omega = 5$ рад/с превосходит момент силы P , следовательно, при реальных условиях измельчения на оптимальной скорости резания ($\omega = 230$ рад/с) сегмент зерновки развернется поверхностью среза к поверхности режущего элемента, а взаимодействие сегмента с режущими элементами рабочих органов измельчителя второй и последующих ступеней измельчения произойдет преимущественно по поверхности предварительного среза рабочими органами предыдущей ступени.

Проанализируем движение сегмента зерновки при развороте поверхностью среза к поверхности режущего элемента (рис. 14).

Основной закон динамики для относительного движения сегмента зерновки имеет вид:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{P} + \vec{F}_H + \vec{F}_K, \quad (19)$$

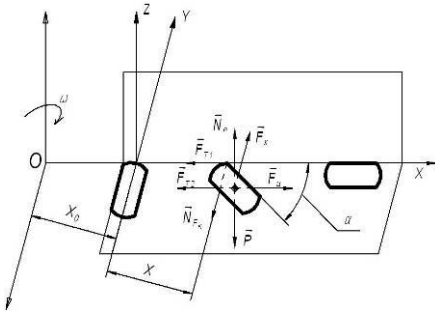
где $\vec{a}$ – ускорение относительного движения сегмента зерновки ($a = \ddot{x}$); $\sum \vec{F}$ – геометрическая сумма действующих на сегмент зерновки сил.

Для определения поступательного движения сегмента зерновки спроецируем это уравнение на оси X , Y , Z и получим:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_{11} - F_{T1} - F_{T2}, \\ 0 = F_K - N_{F_K}, \\ 0 = N_P - P. \end{cases} \quad (20)$$

или

$$\ddot{x} = -2\omega f\dot{x} + \omega^2 x - gf. \quad (21)$$



Из уравнений (21) и (24) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -2\omega\dot{x} + \omega^2 x - g f, \\ \ddot{\alpha} = \frac{2\omega\dot{x} \cos \alpha + \omega^2 x \sin \alpha - g f \sin \alpha}{\frac{6}{5}b - \frac{h^2}{4b}}. \end{cases} \quad (25)$$

где α – угол между плоскостью среза сегмента и плоскостью режущего элемента; x – перемещение сегмента с момента среза.

Данная система уравнений позволяет исследовать поступательное и вращательное движение сегмента зерновки при перемещении по ротору вдоль стенки режущего элемента.

Численное решение системы реализовано в программе MathCAD, графическая интерпретация для различных культур показана на рис. 15.

Как видно из этих зависимостей, сегмент зерновки в рабочем канале успевает повернуться плоскостью среза вдоль режущего элемента за очень небольшой промежуток времени (рис. 15,а) с незначительным перемещением (менее 0,5 мм) (рис. 15,б). И это позволяет утверждать, что резание сегмента зерновки последующей ступенью рабочих органов ударного измельчителя будет происходить по плоскости среза предыдущей, что подтверждает выдвинутую нами гипотезу.

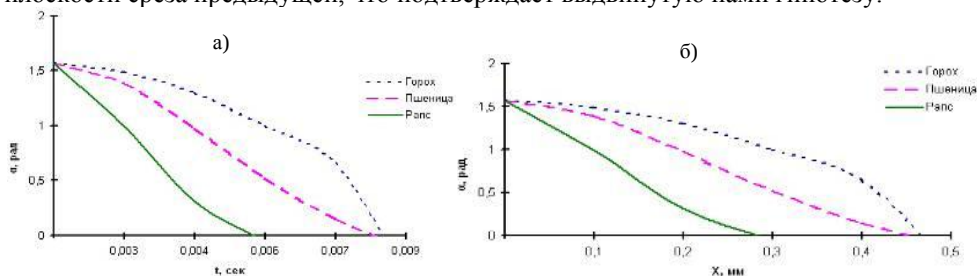


Рисунок.15 – Кинематика сегмента зерновки при движении по ротору вдоль стенки режущего элемента: а) зависимость угла поворота сегмента зерновки α от времени t ,

б) зависимость угла поворота сегмента зерновки α от перемещения x

Для измельчителя ударного принципа действия (рис.16), получен эффект управляемого (по требуемому направлению) хрупкого разрушения зерновок при защемленном ударе лезвием, способствующий уменьшению эффективных коэффициентов трения, благодаря чему происходит снижение затрат энергии на процесс.

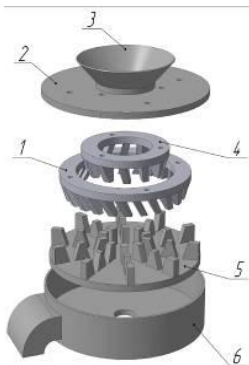


Рисунок 16 – Экспериментально - опытный измельчитель:

1,4 – кольца первой и второй ступени измельчения, 2 – крышка, 3 – приёмная камера, 5 – нижний диск-ротор, 6 – корпус.

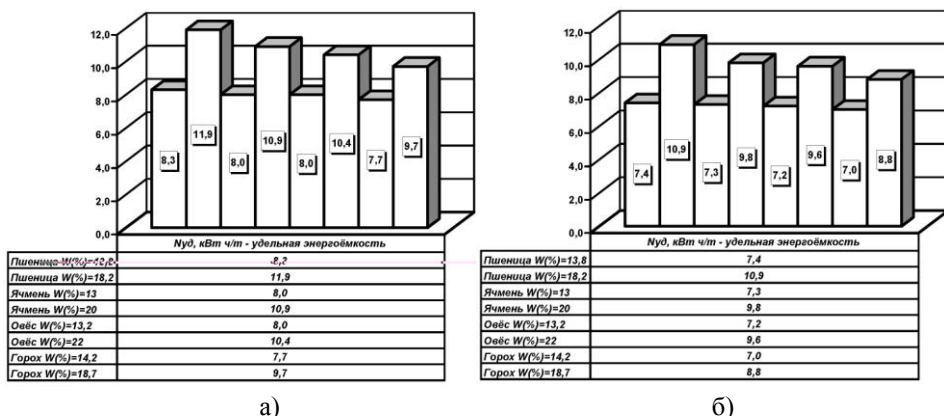


Рисунок 17. Удельная энергоёмкость при измельчении зерновых культур:

а) на серийных рабочих органах ($\chi_1=18^\circ$, $\chi_2=18^\circ$);

б) на предлагаемых рабочих органах ($\chi_1=18^\circ$, $\chi_2=28^\circ$).

Анализ результатов экспериментов (рис. 17,а, б) по определению затрат энергии на измельчение показал, что в результате отыскания оптимального угла резания в данных рабочих органах, удельная энергоёмкость снижается в среднем на 10 –15% при качестве готового продукта, соответствующем зоотехническим требованиям.

Это подтверждает правильность теоретических предпосылок по оптимизации технологического процесса взаимодействия измельчающих элементов рабочих органов с обрабатываемым материалом в измельчителе.

В пятой главе «Повышение эффективности дозирования ингредиентов комбикормов» представлена математическая модель процесса дозирования дозатором вибрационного действия, при этом средняя скорость движения частиц корма постоянна. А это является технологической основой для получения малой погрешности дозирования ингредиентов при приготовлении комбикормов.

Из сравнительного анализа существующих объемных дозаторов сыпучих кормов следует, что наиболее перспективным является вибрационный дозатор, рабочий орган которого подвергается кинематическому вибрационному возбуждению, подчиняющемся закону $\Phi = A(\varphi)$:

$$\bar{A}(\varphi) = \begin{cases} S \cos(\varphi - \varphi_1) + \sqrt{R_2^2 - S^2 \sin^2(\varphi - \varphi_1)}, & \text{при } \varphi_1 < \varphi < \varphi_2 \\ -\frac{R}{\sin \varphi}, & \text{при } \varphi_2 < \varphi < \varphi_3 \\ R, & \text{при } \varphi_3 < \varphi < \varphi_4 \text{ - общий случай} \end{cases} \quad (26)$$

Материальная частица сыпучего корма находится в равновесии под действием следующих сил (рис. 18):

1.веса: $P = m \cdot g$;

2.нормальной силы реакции плоскости лотка $N = P \cos \alpha$;

3.силы трения, описываемой законом Амонтона - Кулона:

$$F_{TP} = \begin{cases} fN \operatorname{sign} v, v \neq 0 \\ gfN, v = 0 (-1 \langle g(1) \rangle) \end{cases} \quad (27)$$

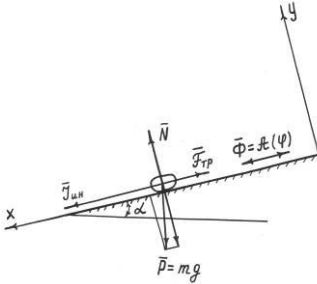


Рисунок 18 – Схема сил, действующих на частицу корма при движении ее по наклонной плоскости, совершающей продольные негармонические колебания

Наклонная плоскость совершает продольные негармонические колебания по закону, описанному уравнением (26). Очевидно, что в этом случае движение частицы корма происходит без отрыва от поверхности лотка вибродозатора и совпадает с направлением колебаний.

На основании изложенного составим дифференциальное уравнение относительного движения частицы в проекции на ось x в общем виде:

$$m\ddot{x} = I_{\text{ин}} + mg \sin \alpha - fN \operatorname{sign} \dot{x}, \quad (28)$$

где m – масса частицы, кг;
 g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
 N – сила нормального давления, н;
 f – коэффициент трения частицы о дно лотка вибродозатора;
 α – угол наклона лотка к горизонту, град;
 $\dot{x}$ – текущее значение скорости частицы вдоль оси x , м/с .

После линеаризации нелинейного члена, уравнение (28), принимает следующий вид:

$$\ddot{x} = A(\varphi)\varpi^2 - \kappa\dot{x}. \quad (29)$$

Представим уравнение (29) как

$$\ddot{x} + \kappa\dot{x} = A(\varphi)\varpi^2, \quad (30)$$

где φ – обобщенная угловая координата кулачка привода вибродозатора;
 κ – обобщенный коэффициент эквивалентного вязкого трения, учитывающий механизм взаимодействия частицы с дном лотка и угол наклона лотка вибродозатора к горизонту (принимает меньшие значения с увеличением скорости частицы $\dot{x}$ и наоборот); $\kappa\dot{x}$ – диссипативная сила, представленная вязким трением, т.е. сила трения пропорциональная скорости частицы и зависящая от угла наклона лотка вибродозатора; $A(\varphi)\varpi^2$ – периодическое внешнее воздействие; $A(\varphi)$ – амплитуда переменной силы в любой момент времени согласно системе уравнений (26).

Полученное дифференциальное уравнение не может быть проинтегрировано в квадратурах. Поэтому для его решения воспользуемся численным методом, который был реализован на ЭВМ с применением разложения функций $x(t)$ и $\dot{x}(t)$ в ряд Тейлора.

Полученная математическая модель позволяет описать процесс перемещения частиц сыпучих кормов при различных режимах работы предлагаемого экспериментального вибродозатора (рис. 19).

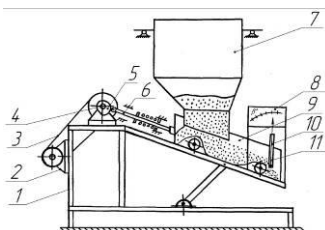


Рисунок 19 – Принципиальная схема лабораторного вибродозатора: 1 –рама, 2 – электродвигатель, 3 – гибкая передача, 4 – кулачковый вал, 5 – кулачок, 6 – подпружиненный шток, 7 – бункер, 8 – приспособление, 9 – лоток, 10 – заслонка, 11 – стрелка.

На рис.20 показаны зависимости средней скорости частицы от времени, построенные для трех различных значений амплитуды колебаний и обобщенного коэффициента k . Очевидно, что и при других значениях обобщенного коэффициента и параметров вибрации (амплитуды и частицы вынужденных колебаний) зависимость изменения средней скорости частицы от времени сохраняется. Интересно отметить, что для каждого из данных графиков характерно весьма быстрое уменьшение скорости движения частицы в начале процесса, что соответствует зоне неустойчившегося процесса вибродозирования (зона А). Далее средняя скорость движения частицы соответствует установившемуся процессу (зона Б), что обычно наблюдается на практике. Отсюда видно, что движение частицы корма по наклонной плоскости происходит с постоянной (в среднем) скоростью. Следует подчеркнуть, что это обстоятельство ($v_{cp} = const.$) объясняется особенностями движения частицы по наклонной плоскости, совершающей продольные негармонические колебания, описываемые уравнением (26).

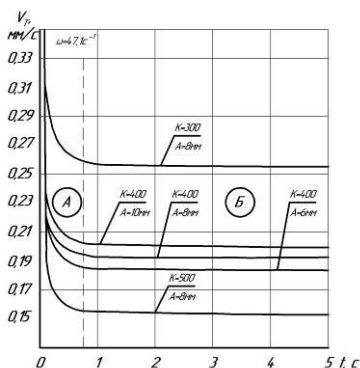


Рисунок 20 – Зависимость теоретической скорости частицы от времени и амплитуды колебаний

Известно, что имеется тесная взаимосвязь между скоростью движения частиц и подачей вибродозатора. Для предлагаемого вибродозатора можем записать:

$$Q_T = F v_{cp} \cdot \alpha \cdot \gamma, \quad (31)$$

Учитывая выражение (31) и то, что $F = B \cdot H$, окончательно получаем:

$$Q_T = B \cdot H \alpha \cdot \gamma \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{\sum \Delta x}{Z}, \quad (32)$$

где B – ширина лотка вибродозатора, м;

H – толщина слоя корма, м;
 γ – коэффициент наполнения лотка с-1;
 ω – частота колебаний лотка, с-1;
 α – угол наклона лотка, град.

Результаты эксперимента по определению неравномерности дозирования, оцениваемой коэффициентом вариации C_v , %, позволили получить математическую модель для рассыпного комбикорма в кодированном виде:

$$\begin{aligned}
 Y_{C_v} = & 1,4635 + 0,2066X_1 + 0,7166X_2 + 0,1214X_3 - 1,3274X_4 - 1,2581X_1X_2 - \\
 & 1,0355X_1X_3 - 0,5544X_2X_3 + 0,3225X_3X_4 + 1,4309X_1^2 - 0,5323X_2^2 + \\
 & 0,6341X_3^2 - 0,2461X_4^2,
 \end{aligned} \quad (33)$$

адекватно описывающий технологический процесс вибрационного дозатора.

Предварительный анализ модели (33) показал, что все выбранные факторы X_1 –высота выпускного окна (H), X_2 –частота колебаний лотка (ω), X_3 –амплитуда колебаний лотка (A), X_4 –угол наклона лотка (α) существенно влияют на неравномерность дозирования.

Для выявления закономерности влияния параметров вибрации (ω , A) дозатора на качество дозирования по результатам эксперимента построены зависимости для рассыпного комбикорма (рис. 21).

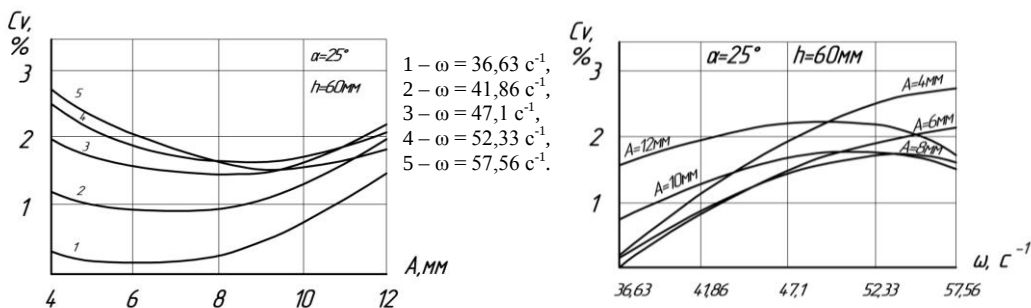


Рисунок 21– Зависимость неравномерности дозирования (C_v , %) от параметров вибрации
(материал – рассыпной комбикорм)

Анализ рассмотренных закономерностей (рис.21) позволяет обосновать границы применения вибрации при максимальной подаче, соответствующие амплитуде колебаний $A = 8–10$ мм и частоте колебаний $\omega = 47,1–52,33$ с⁻¹. В этой зоне в большей степени наблюдалось снижение неравномерности дозирования и затрат энергии на транспортирование (рис. 22) сыпучих кормов.

В результате обработки экспериментов по определению энергоемкости вибрационного дозирования получена математическая модель для рассыпного комбикорма в кодированном виде:

$$Y_{N_{уд}} = 0,0446 - 0,0133X_1 - 0,0194X_4 + 0,0144X_1^2 - 0,021X_2^2 + 0,0261X_4^2, \quad (34)$$

адекватно описывающий технологический процесс вибрационного дозатора.

По уравнению (34) построены зависимости энергоёмкости от показателя интенсивности (рис. 23)

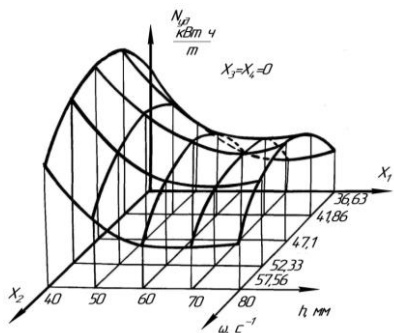


Рисунок 22 – Зависимость удельной энергоёмкости от частоты колебания лотка и высоты открытия выпускного окна

Анализ приведенного графика показывает, что с увеличением интенсивности вибрации энергоёмкость для рассыпного комбикорма вначале несколько увеличивается, а затем снижается, приближаясь к нулю. Начальное увеличение энергоёмкости объясняется повышенным расходом мощности на вибрацию. При более интенсивном действии вибрации наблюдается снижение энергоёмкости, что объясняется изменением эффективных коэффициентов трения о дно лотка дозатора.

Закономерности изменения эффективных коэффициентов трения от параметров вибрации лотка дозатора получены с использованием подхода И.И. Блехмана, рассматривающего «эффективный» коэффициент трения f^* как отношение нижней границы минимальных сил $\bar{S}$, поддерживающих ускоренное движение тела в направлении силы $\bar{S}$, к нормальной реакции $\bar{N}$:

$$f = \frac{S_{\min}}{N} \quad (35)$$

Для исследуемого технологического процесса при наложении продольных вибраций получена зависимость:

$$f^* = f \frac{\Phi}{N} \frac{C}{T} \quad (36)$$

Анализ выражения (36) показал, что при увеличении параметров вибрации значение правой части данного выражения значительно уменьшается или становится отрицательным либо мнимым. Это свидетельствует об эффективном уменьшении эффективных коэффициентов трения между обрабатываемым материалом и шероховатой вибрирующей поверхностью.

Кроме того, вибрирующий лоток дает уникальные возможности управления динамикой частиц не только посредством изменения параметров вибрации, но и наклона лотка. Это особенно важно для плавного регулирования их подачи, а также повышения эффективности самого процесса дозирования при кормоприготовлении.

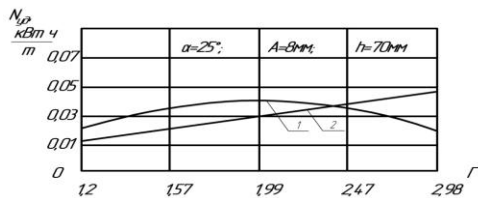


Рисунок 23 – Влияние интенсивности вибрации на удельные энергозатраты при дозировании корма: (1–рассыпной комбикорм, 2–гранулированная травяная мука)

В шестой главе «Интенсификация процесса смешивания кормовых компонентов в вибрационном смесителе с перемешивающими элементами конической формы» представлена математическая модель смешивания сыпучих кормов в вибрационном смесителе с перемешивающими элементами конической формы, обеспечивающие получение стабильно высокого качества комбикормов.

Во время работы желоб смесителя совершает прямолинейное колебательное движение вдоль оси шатуна AB с амплитудой колебаний A и круговой частотой ω . Частицы, находящиеся на плоскости перемешивающихся элементов, совершают относительное движение. Для составления дифференциальных уравнений движения частицы построена расчетная схема вибрационного смесителя (рис. 24), на которой изображены векторы действующих на частицу сил: 1) N – сила нормальной реакции; 2) F_{mp} – сила трения, которая может быть направлена по ходу движения потока частиц или в противоположную сторону, в зависимости от направления движения частицы в относительном движении (на рисунке 24 направление F_{mp} соответствует скольжению частицы вниз); 3) P – сила тяжести; 4) $F_{ин}$ – переносная сила инерции, величина которой определяется из выражения:

$$F_{ин} = mA\omega^2 \sin \alpha t, \quad (37)$$

где m – масса частицы.

В данном случае дифференциальные уравнения скользящего (без отрыва) движения частицы относительно плоскости перемешивающего элемента примут вид:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = mg \sin \alpha + F_{ин} \cos \beta \pm F_{mp} \\ m \frac{dv_z}{dt} = N - mg \cos \alpha + F_{ин} \sin \beta, \end{cases} \quad (38)$$

где α – угол наклона желоба к горизонту, град.;

β – угол направленности колебаний, град.

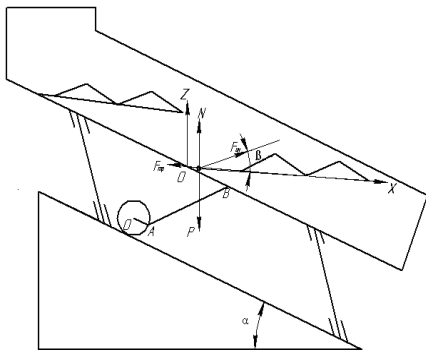


Рисунок 24 – Расчетная схема сил, действующих на частицу при ее движении по плоскости перемешивающего элемента

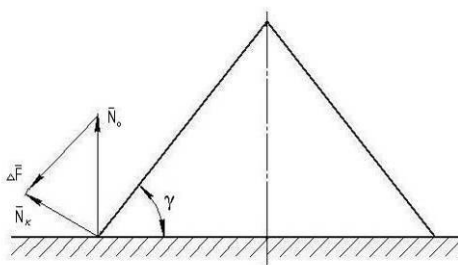


Рисунок 25 – Схема сил, действующих на частицу при приближении ее к конусу без отрыва от поверхности

При переходе материальной частицы с плоской поверхности на коническую, ввиду излома траектории движения, возможно возникновение удара. Момент перехода может быть описан разными моделями:

1. Если полагать движение материальной частицы по поверхности (рис. 25), исключая возможность отрыва (модуль переносного ускорения $\bar{a}_n$ мал в сравнении с модулем ускорения свободного падения $\bar{g}$), то приближение частицы к конусу обернется ударом в соответствии с законом:

$$m\bar{V}_k - m\bar{V}_0 = \int \Delta\bar{F}dt, \quad (39)$$

где $\Delta\bar{F} = \bar{N}_k - \bar{N}_0$ – внезапное изменение силы, действующей на точку, то есть ударная сила, Н;

$\bar{N}_k = \bar{N}_0 \cos\gamma$ – нормальная реакция конической поверхности, Н;

$\bar{N}_0$ – нормальная реакция плоской поверхности, Н;

γ – угол наклона образующей конуса к его основанию, град:

$$\cos\gamma = \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}, \quad (40)$$

где k – коэффициент, представляющий собой отношение радиуса R основания конуса к его высоте H .

2. Если считать, что точка не касалась плоскости в момент удара о конус (рис. 26, а), то ударная сила $\Delta\bar{F} = \bar{N}_k$, тогда вектор $\bar{V}_k$ будет симметричен $\bar{V}_0 = \bar{V}_r + \bar{V}_n$ относительно плоскости, касательной к конусу в точке соударения. Причем, $\bar{V}_r$ лежит в касательной плоскости, а значит, зеркально отразится лишь $\bar{V}_n$, которая затем складывается с вектором $\bar{V}_r$. Отсюда можно сделать вывод, что после удара вектор скорости повернется на угол 2γ вокруг касательной к параллели конуса (рис. 26, б)

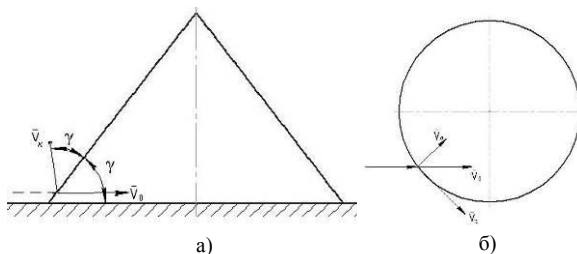


Рисунок 26 – Составляющие скорости частицы при приближении ее к конусу без касания плоскости:

а) главный вид;

б) вид сверху

3. Более точной моделью будет модель движения с неудерживающей связью (с отрывом) в том случае, если переносное ускорение $\bar{a}_n$ сравнительно велико:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \Phi \cos\alpha \\ m\ddot{z} = \Phi \sin\alpha - mg, \end{cases} \quad (41)$$

где $\Phi = mAsin\alpha t$.

В момент удара скорость меняется скачкообразно. При абсолютно упругом ударе угол падения будет равен углу отражения.

$$\begin{cases} \ddot{x} = A \sin \omega t \cos \alpha \\ \ddot{z} = A \sin \omega t \sin \alpha \end{cases} \quad (42)$$

Режим работы смесителя, при котором реализуется третий вариант приближения материальной частицы к конической поверхности, является наиболее оптимальным. Можно предположить, что в этом случае будут созданы лучшие условия для подъема частицы на коническую поверхность.

Для описания процесса движения частицы по конической поверхности используются обобщенные криволинейные Гауссовы координаты – долгота u (угол вдоль параллели) и широта v (расстояние вдоль меридианы) (рис. 27).

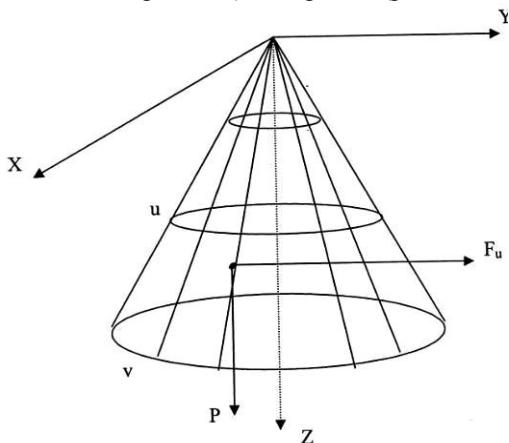


Рисунок 27 – Расчетная схема сил, действующих на частицу при ее движении по конической поверхности

Для составления уравнения движения частицы по конической поверхности использована система уравнений Лагранжа. Число уравнений равно числу степеней свободы:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}} \right) - \frac{\partial T}{\partial u} = Q_u ; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{v}} \right) - \frac{\partial T}{\partial v} = Q_v, \end{cases} \quad (43)$$

где $T = T(v, u, \dot{v}, \dot{u})$ – кинетическая энергия механической системы, выраженная через обобщенные координаты v, u и их производные $\dot{v}, \dot{u}$;

Q_u и Q_v – обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам.

Обобщенные силы вычисляются как коэффициенты в выражениях для элементарных работ всех сил на возможных перемещениях δu и δv . Для определения обобщенной силы механической системе дается такое возможное перемещение, при котором одна координата получает положительное приращение, а остальные остаются без изменения. Вычисляя обобщенную силу Q_u , дается приращение δu координате u при условии, что $v = \text{const}$ (приращение $\delta v = 0$) и наоборот. Исполь-

зуя данный принцип, получаем дифференциальные уравнения движения материальной точки по конической поверхности:

$$\begin{cases} \ddot{u} = -\frac{2\dot{v}\dot{u}}{v} - A_1 \sin u \sin \omega t \cos \alpha - \frac{mgfk/\sqrt{1+k^2}}{\sqrt{\frac{k^2+1}{k^2}\dot{v}^2 + v^2\dot{u}^2}} \dot{u}v^2; \\ \ddot{v} = \left(\frac{k^2}{k^2+1}\right) \left(\dot{v}\dot{u}^2 + A_1 \sin \omega t \left[\cos \alpha \cos u - \frac{\sin \alpha}{k} \right] + \frac{g}{k} \right) - \\ - \frac{mgfk/\sqrt{1+k^2}}{\sqrt{\frac{k^2+1}{k^2}\dot{v}^2 + v^2\dot{u}^2}} \dot{v} \left(\frac{k^2+1}{k^2} \right). \end{cases} \quad (44)$$

В соответствии с принципами эффективной организации процесса смешивания (толщины слоя сыпучего материала $h = 28\text{--}30$ мм и конструктивной ширины виброжелоба $B = 200$ мм) теоретически обоснованы: высота конусов $H = 30$ мм, диаметр основания конусов $D = 48$ мм и количество конусов в одном ряду, равное четырем.

На основе приведенной расчетной схемы движения частиц по перемешивающему элементу составлена программа для ЭВМ, которая использована при обосновании кинематических параметров вибрационного смесителя с целью обеспечения необходимого качества смешивания. Расчет производился для определения теоретических траекторий движения частиц по конической поверхности по дифференциальным уравнениям (44).

Задачей теоретического исследования движения частиц по конической поверхности виброконтакта является определение влияния амплитуды и частоты колебаний желоба на качество смешивания посредством анализа расчетных траекторий движения частиц.

Влияние амплитуды колебаний на качество процесса смешивания определялось графически при следующих условиях: $\beta = 22^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\omega = 3$ Гц; $f = 0,35$; $R = 24$ мм; $H = 30$ мм. Амплитуда колебаний менялась от 8 до 14 мм с интервалом 2 мм.

При $A = 12$ мм (рис. 28) траектории движения частиц пересекаются между собой не менее трех раз, что способствует интенсификации процесса смешивания. Продвижение каждой частицы вдоль оси u значительное. Это предполагает повышение производительности вибрационного смесителя.

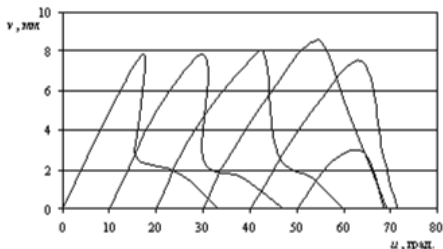


Рисунок 28– Расчетные траектории движения частиц при $A = 12$ мм

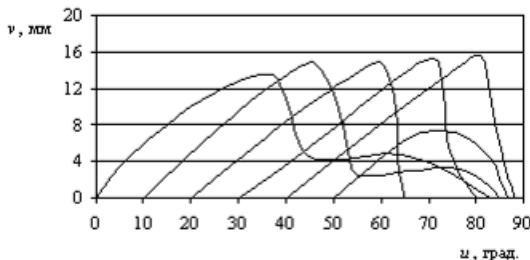


Рисунок 29 – Расчетные траектории движения частиц при $\omega = 6$ Гц

Анализируя выполненные теоретические исследования, можно сделать вывод, что наиболее эффективно процесс смешивания протекает при $A = 12$ мм, так как при этом с ростом амплитуды:

- 1) увеличивается продвижение частиц по оси u , что способствует повышению производительности смесителя;
- 2) улучшается качество смеси благодаря интенсификации движения частиц по коническим поверхностям виброконтакта за счет увеличения количества частиц, траектории движения которых пересекаются между собой, и высоты подъема частиц по поверхностям конусов.

Влияние частоты колебаний на качество смешивания определялось графически при следующих условиях: $\beta = 22^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $A = 12$ мм; $f = 0,35$; $R = 24$ мм; $H = 30$ мм. Частота колебаний изменялась в пределах от 4 до 8 Гц с интервалом 2 Гц.

На рисунке 29 изображена зависимость $v = f(u)$ при $\omega = 6$ Гц. Высота подъема пяти частиц практически одинакова (13,5 – 15,5 мм), что свидетельствует об относительно равномерном перемещении частиц. Боковое смещение этих частиц превышает 40° , то есть можно говорить о существенном увеличении скорости частиц, а значит, и о росте производительности вибрационного смесителя сыпучих кормов.

Анализируя полученные результаты, можно предположить, что наиболее эффективно процесс смешивания будет протекать при $\omega = 6$ Гц, так как имеются предпосылки к повышению качества смешивания и увеличению производительности установки за счет значительной интенсификации движения частиц.

С целью экспериментального изучения процесса смешивания сыпучих кормов была разработана и изготовлена лабораторно-экспериментальная установка (рис. 30).

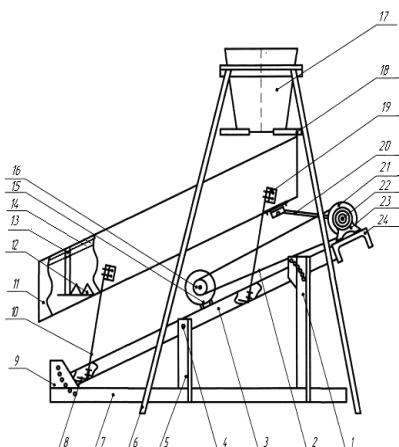


Рисунок 30 – Схема лабораторно-экспериментальной установки: 1 – задние стойки; 2 – клиноременная передача; 3 – продольные уголки; 4 – поворотная ось; 5 – передние стойки; 6 – рама бункерных дозаторов; 7 – нижние продольные балки; 8 – перемычки; 9 – косынки; 10 – рессоры; 11 – виброжелоб; 12 – перемешивающие элементы (гребенки); 13 – стержни; 14 – регулировочная пластина; 15 – электрическая машина постоянного тока; 16 – ведущий шкив; 17 – бункеры-дозаторы; 18 – регулировочные механизмы; 19 – кронштейны; 20 – шатун; 21 – ведомый шкив; 22 – вал; 23 – корпуса подшипников; 24 – опорная плита

В результате применения метода крутого восхождения получена почти стационарная область для критерия оптимальности θ (однородности смеси) с независимыми переменными A , ω , n , α , которая является основой для последующего проведения многофакторного эксперимента.

На основании результатов многофакторного эксперимента получена математическая модель процесса смешивания сыпучих кормов:

$$\begin{aligned} \theta = & -641,45 + 65,34A + 20,31\omega + 90,33n + 2,12\alpha - \\ & -0,54A\omega - 1,62An - 0,2A\alpha - 0,99\omega n + 0,5\omega\alpha + \\ & + 0,43n\alpha - 2,18A^2 - 1,07\omega^2 - 5,39n^2 - 0,23\alpha^2 . \end{aligned} \quad (45)$$

Расчетным путем получены поверхности отклика, характеризующие зависимость однородности смеси от основных параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов.

На рисунке 31 представлена поверхность отклика, отражающая изменение однородности смеси в зависимости от амплитуды A и частоты ω колебаний желоба. Из графика видно, что максимальная однородность смеси $\theta = 96,64\%$ достигается при амплитуде колебаний равной 12 мм и частоте колебаний 5,5 Гц.

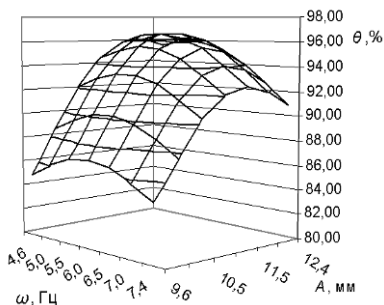


Рисунок 31 – Зависимость однородности смеси θ от амплитуды и частоты колебаний желоба при $n = 6$ шт., $\alpha = 7^\circ$

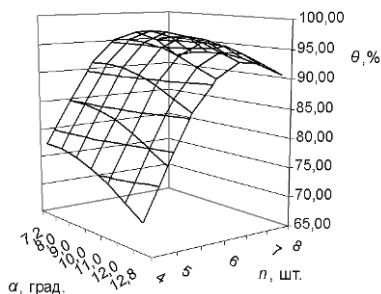


Рисунок 32 – Зависимость однородности смеси θ от количества перемешивающих элементов и угла наклона желоба к горизонту при $A = 11$ мм, $\omega = 6$ Гц

На рисунке 32 показана поверхность отклика, отражающая изменение однородности смеси в зависимости от количества n перемешивающих элементов, и угла α наклона желоба к горизонту.

При анализе рисунка 32 следует отметить, что максимальная однородность смеси $\theta = 97,05\%$ достигается при 6–7 перемешивающих элементах и угле наклона желоба к горизонту $9\text{--}10^\circ$. При этом амплитуда колебаний составляет 11 мм, частота колебаний 6 Гц.

Анализируя зависимость однородности смеси от кинематических параметров смесителя, было установлено, что максимального качества смеси ($\theta = 96,64\%$) можно достичь при $A = 12$ мм, $\omega = 5,5$ Гц, $n = 6$ шт, $\alpha = 7^\circ$. При анализе $\theta = f(n, \alpha)$ максимальное качество смеси составило 97,05% на режиме $A = 11$ мм, $\omega = 6$ Гц, $n = 6$ шт, $\alpha = 9^\circ$. Таким образом, в качестве рационального режима работы вибрационного смесителя сыпучих кормов с коническими поверхностями виброконтакта можно рекомендовать $A = 11 \dots 12$ мм, $\omega = 5,5 \dots 6$ Гц, $n = 6$ шт, $\alpha = 7 \dots 9^\circ$, при этом однородность смеси будет равна 96,8%.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что расхождения между соответствующими рациональными пара-

метрами, полученными теоретическим и экспериментальным путем, находятся в пределах 5%, что подтверждает достоверность теоретических исследований.

В седьмой главе «Производственные испытания и экономическая оценка разработанных технических решений» представлены результаты производственных испытаний и экономическая оценка внедрения результатов исследования разработанных кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия (рисунки 33-38).



Рисунок 33 – Предлагаемые решёта, установленные в решетном стане модернизированной зерноочистительной машины МС-4,5



Рисунок 34 – Экспериментальный измельчитель с предлагаемыми рабочими органами (Патенты № 65401, 64942)



Рисунок 35 – Общий вид экспериментального вибродозатора

Рисунок 36 – Фрагмент работы кормораздатчика с экспериментальными вибродозаторами (А.С. № 1250181, 1665900)

Рисунок 37 – Общий вид кормораздатчика с экспериментальными вибродозаторами (А.С. № 1378803, 1442752)



Рисунок 38 – Общий вид экспериментального вибросмесителя (Патенты № 2035986, 2043144, 2155526, 41644, 44941, 74310)

Расчеты технико-экономических показателей кормоприготовительных машин интенсифицирующего принципа действия позволили получить экономический эффект на каждую машину рекомендуемой технологической линии приготовления комбикормов: для зерноочистительной машины 13392 руб.; ударного измельчителя 28376 руб.; вибрационного дозатора 23793 руб.; вибрационного смесителя 35491 руб.

Основные выводы и предложения

Проведенные исследования по интенсификации технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий и создание машин для их реализации, достаточно широкая производственная программа позволяют сделать следующие выводы:

1. Технологические возможности и качественные показатели существующих и серийно выпускаемых машин для приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий в неполной мере удовлетворяют потребности животноводства. Эти машины имеют высокую энерго- и металлоемкость, не отвечают зоотехническим требованиям по качественным показателям. Поэтому дальнейшие пути совершенствования технологий и технических средств для приготовления комбикормов должны идти путем разработок интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия.

2. Предложены математическая модель повышения эффективности производства комбикормов и структурная схема их технологического процесса приготовления с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия, обеспечивающих повышение качества и снижение энергоемкости процесса. Разработаны конструктивно-технологические схемы кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия (для сепарации, измельчения, вибродозирования и вибросмешивания) при производстве комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

3. Теоретическим анализом обнаружены и экспериментами подтверждены следующие механико-технологические эффекты:

а) уменьшения эффективных коэффициентов трения между обрабатываемым материалом и шероховатой вибрирующей поверхностью при увеличении угла наклона последней к горизонту;

б) управляемого (по требуемому направлению) хрупкого разрушения зерновок при защемленном ударе лезвием.

Указанные эффекты положены в основу совершенствования технологических процессов приготовления комбикормов, повышения качества готового продукта и снижения энергоемкости процесса.

4. Теоретическими исследованиями для расчета предлагаемых рабочих органов кормоприготовительных машин вибрационного и ударного принципа действия получены:

для процесса сепарации (очистки):

- математическая модель относительного движения зерна по решетке с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, с учетом взаимодействия с гранями отверстия;

- формулы для подсчета вероятности прохода частицы через отверстие для наиболее характерных случаев ориентации зерновки на решетке с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси и позволяющими увеличить проход частицы через отверстие;

для процесса измельчения:

- математическая модель движения измельчаемого зерна в канале второй и последующих ступеней измельчителя ударного принципа действия, учитывающая разрушение зерновок защемленным ударом лезвием. При этом измельчение происходит преимущественно по поверхности предварительного среза рабочими органами предыдущей ступени и обеспечивает получение готового продукта выровненного гранулометрического состава при низких затратах энергии;

для процесса дозирования:

- математическая модель процесса дозирования сыпучих кормов в лотковых вибрационных дозаторах;

- показано, что эффективное уменьшение коэффициента трения возможно не только при вибрациях, но и при действии других факторов, в частности наклоне лотка в дозаторах сыпучих кормов;

для процесса смешивания:

- математическая модель процесса смешивания, описывающая движение частиц сыпучей среды;

- обоснованы количество и оптимальные размеры геометрических параметров конических поверхностей виброконтакта и высоты слоя корма.

5. На основе экспериментальных исследований получены регрессионные математические модели процессов сепарации (очистки), измельчения, вибродозирования и вибросмешивания, адекватно описывающие реальные процессы приготовления комбикормов на 5% уровне значимости с использованием интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия. Полученные математические модели определяют степень влияния каждого из исследуемых факторов на технологический процесс. В совокупности эти математические модели составляют методологическую основу и методическую базу для совершенствования технологических процессов и технических средств для приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

6. Разработаны и изготовлены перспективные рабочие органы кормоприготовительных машин интенсифицирующего действия для производства комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий, лабораторные исследования которых подтвердили достоверность результатов теоретических исследований и позволили установить интервалы нахождения рациональных значений исследуемых параметров, влияющих на очистку, измельчение, вибродозирование и вибросмешивание. Устойчивая и стабильная работа исследуемых рабочих органов кормоприготовительных машин, интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов обеспечивается при следующих параметрах:

на решетных зерноочистительных машинах-

при угле расположения грани продолговатого отверстия 15° , угле поперечного наклона плоскости решета 2° , радиусе кривошипа 7,5 мм, частоте колебаний 525 мин^{-1} , при этом увеличивается вероятность прохода частицы в отверстие решета в 1,7 раза и как следствие, увеличивается производительность на 23%;

ударного измельчителя – при оптимальной скорости $\omega = 230 \text{ рад/с}$ и угле резания $\chi = 28^\circ$ измельченных на первой ступени зёрен в соответствии с теорией резания В.П. Горячкина, снижением удельной энергоёмкости измельчения зерновых культур на 10–15%, а выравненность гранулометрического состава и пылевидная фракция готового продукта соответствует зоотехническим требованиям;

вибрационного дозатора - амплитуда колебаний $A = 8\text{--}10 \text{ мм}$; частота колебаний $\omega = 47,1\text{--}52,33 \text{ с}^{-1}$; угол наклона лотка $\alpha = 25\text{--}30^\circ$; высота открытия выпускного лотка (толщина сыпучего корма) $h = 40\text{--}80 \text{ мм}$, при этом на 35–40% повышается равномерность дозирования, в 1,5 раза снижается удельная энергоёмкость процесса дозирования;

вибрационного смесителя - амплитуда колебаний желоба $A = 11\text{--}12 \text{ мм}$, частота колебаний желоба $\omega = 5,5\text{--}6 \text{ Гц}$, количество перемешивающих элементов $n = 6$ шт, угол наклона желоба к горизонту $\alpha = 7\text{--}9^\circ$, угол направленности вибрации желоба $\beta = 22^\circ$, при этом однородность смеси (комбикорма) составляет 95–96 % при производительности 1,3 т/ч.

7. Разработанные под руководством автора новые образцы кормоприготовительных машин для интенсификации технологических процессов приготовления комбикормов показали их высокую эффективность в производственных условиях и позволили получить экономический эффект на одну машину:

-зерноочистительная машина с опытными образцами плоских решет с продолговатыми отверстиями, расположенные под углом -13392 руб.;

-ударный измельчитель, характеризующий разрушение фуражного зерна способом защемленного удара лезвием -28376 руб.;

-вибрационный дозатор, рабочий орган которого совершает продольные колебания по негармоническому закону – 23793 руб.;

-вибрационный смеситель с перемешивающими элементами конической формы – 35491 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Сабиев, У.К. Раздатчик концентрированных кормов [Текст] / Б.В Мещеряков, П.И Леонтьев. У.К Сабиев. // Техника в сельском хозяйстве. – 1987.– № 12.– с. 50–51.

2. Сабиев, У.К. Гидравлический переключатель норм выдачи корма [Текст] / Б.В Мещеряков. У.К Сабиев. // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1991.–№ 11. – с.60–61.

3. Сабиев, У.К. Теоретическое описание процесса дозирования вибрационным дозатором [Текст] / У.К. Сабиев. // Омский научный вестник.–2006.–№4 (38).–с.129-131.
4. Сабиев, У.К. Вибрационный смеситель сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов // Сельский механизатор. – 2007. – № 1. – с. 21.
5. Сабиев, У.К. Обоснование основных параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев, Л.С. Керученко, А.В. Черняков, А.Н. Яцунов // Техника в сельском хозяйстве. – 2008.– № 1. – с. 47.
6. Сабиев, У.К. Математическая модель движения сегмента зерновки в центробежно-роторном измельчителе фуражного зерна [Текст] / У.К. Сабиев, В.В. Фомин // Достижения науки и техники АПК. – 2010.–№2. – с.62– 65.
7. Сабиев, У.К. Снижение энергоемкости измельчения зерна в малогабаритном центробежно-роторном измельчителе методом дифференцирования углов резания на первой и последующих ступенях измельчения [Текст] / У.К. Сабиев, В.В. Фомин // Омский научный вестник. -2011.№2(100) . – с.167–170.
8. Сабиев, У.К. Повышение однородности гранулометрического состава измельченного материала в измельчителе центробежно-роторного действия [Текст] / У.К. Сабиев, В.В. Фомин, И.У. Сабиев //Вестник Алтайского государственного аграрного университета.–2011. №4. – с.82–84.
9. Сабиев, У.К. Особенности проявления эффективного снижения трения в лотковых вибрационных дозаторах [Текст] / И.Я.Федоренко, У.К. Сабиев// Вестник Алтайского государственного аграрного университета.– 2011. №6. – с.82-85.
10. Сабиев, У.К.Повышение эффективности дозирования сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011..№10 – с.25-26.
11. Сабиев, У.К. Теоретическое исследование влияния траектории движения частицы на вероятность взаимодействия её с кромками продолговатого отверстия решета [Текст] / А. В. Зильбернагель, У.К. Сабиев// Вестник Алтайского государственного аграрного университета.– 2011. №9. – с.78-81.
12. Сабиев, У.К.Комбикормовый агрегат [Текст] / У.К. Сабиев, А.Н Яцунов, И. У. Сабиев //Сборник научных трудов SWorld. По материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011».Том 2.Технические науки – Одесса: Черноморье, 2011. – с.63–65.
13. Сабиев, У.К.Теоретическое обоснование частоты колебаний виброжелоба смесителя сыпучих кормов [Текст] /А.Н Яцунов, У. К. Сабиев, А.В.Черняков//Сборник научных трудов SWorld. По материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011».Том 2.Технические науки – Одесса: Черноморье, 2011. – с. 60–63.

Публикации в описаниях на изобретения и патенты

1. А.С. 1250181 СССР, А 01 В 63/10.Устройство для управления рабочими органами машин [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев (СССР). – № 3745671/30–15;заявл.25.05.84; опубл. 15.08.86, Бюл. № 30. – 4 с.: ил.
2. А.С. 1269769 СССР, А 01 К 5/02. Кормораздатчик [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев (СССР). – № 3763101/30–15;заявл.12.07.84; опубл. 15.11.86, Бюл. № 42.– 4 с.: ил.

3. А.С. 1378803 СССР, А 01 К 5/02. Кормораздатчик [Текст] / П.И. Леонтьев, Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев, Б.К. Сабиев (СССР). – № 4107409/30–15; заявл. 15.08.86; опубл. 07.03.88, Бюл. № 9. – 4 с.: ил.
4. А.С. 1442152 СССР, А 01 К 5/02. Кормораздатчик [Текст] / П.И. Леонтьев, Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев (СССР). – № 4242524/30–15; заявл. 11.05.87; опубл. 07.12.88, Бюл. № 45. – 6 с.: ил.
5. А.С. 1665900 СССР, А 01 В 63/10. Устройство для управления рабочими органами машин [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев, Н.А. Петров (СССР). – № 4697509/15; заявл. 07.04.89; опубл. 30.07.91, Бюл. № 28. – 4 с.: ил.
6. А.С. 1750517 СССР, А 01 К 5/00. Кормораздатчик [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев, Н.А. Петров (СССР). – № 4832090/15; заявл. 09.04.90; опубл. 30.07.92, Бюл. № 28. – 4 с.: ил.
7. Пат. 2035986 Российская Федерация, МКИ В 01 11/00. Вибрационный смеситель [Текст] / Сабиев У.К., Сабиев Б.К.; заявитель и патентообладатель ОмСХИ им. С. М. Кирова. – № 4943527; заявл. 10.06.91; опубл. 27.05.95, Бюл. № 15. – 3 с.: ил.
8. Пат. 2043144 Российская Федерация, МКИ В 01 11/00. Устройство для смешивания сыпучих материалов [Текст] / Сабиев У.К., Сабиев Б.К.; заявитель и патентообладатель ОмСХИ им. С.М.Кирова. – № 4948223; заявл. 24.06.91; опубл. 10.09.95, Бюл. № 25. – 3 с.: ил.
9. Пат. 2155526 Российская Федерация, МКИ⁷ А 23 № 17/00. Малогабаритный комбикормовый агрегат [Текст] / Сабиев У.К.; заявитель и патентообладатель ОмГАУ. – № 98119349; заявл. 26.10.98; опубл. 10.09.00, Бюл. № 25. – 3 с.: ил.
10. Пат. на полезную модель 39445 Российская Федерация, МПК А 01К 5/00. Устройство для увлажнения корма [Текст] / Дорофеев С.В., Сабиев У.К., Егорова Т.С.; заявитель и патентообладатель Дорофеев С.В. – № 2004107358; заявл. 11.03.04; опубл. 10.08.04, Бюл. № 22. – 3 с.: ил.
11. Пат. на полезную модель 41644 Российская Федерация, МКИ⁷ В 01 F 11/00. Вибрационный смеситель [Текст] / Сабиев У.К., Яцунов А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2004118917/22; заявл. 22.06.2004; опубл. 10.11.2004, Бюл. № 31. – 3 с.: ил.
12. Пат. на полезную модель 44947 Российская Федерация, МКИ⁷ В 01 F 11/00. Устройство для смешивания сыпучих материалов [Текст] / Сабиев У.К., Яцунов А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2004132915/22; заявл. 12.11.2004; опубл. 10.04.2005, Бюл. № 10. – 3 с.: ил.
13. Пат. на полезную модель 65401 Российская Федерация, В02С 7/08. Устройство для измельчения зерновых материалов [Текст] / Сабиев У.К., Фомин В.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2007106255/22; заявл. 19.02.2007; опубл. 10.08.07, Бюл. № 22. – 3 с.: ил.
14. Пат. на полезную модель 64942 Российская Федерация, В02С 7/08. Устройство для измельчения зерна [Текст] / Сабиев У.К., Фомин В.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2007106248/22; заявл. 19.02.2007; опубл. 27.07.07, Бюл. № 21. – 2 с.: ил.
15. Пат. на полезную модель 74310 Российская Федерация, МКИ⁷ В 01 F 11/00. Вибрационный смеситель [Текст] / Сабиев У.К., Яцунов А.Н., Синцов А.Д.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2008101707/22; заявл. 16.01.2008; опубл. 27.06.2008, Бюл. № 18. – 3 с.: ил.
16. Пат. на полезную модель 89924 Российская Федерация, МПК А 01К 5/00. Устройство для увлажнения корма [Текст] / Сабиев У.К., Солодовников А. К., Родичев С.А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2009130974/22; заявл. 13.08.2009; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. – 3 с.: ил.

1. Практикум по механизации и технологии животноводства [Текст]: учеб. пособие с грифом УМО / В. А. Пиварчук, У.К. Сабиев, А.В. Черняков.– Омск: Изд-во ОмГАУ, 2004.–238 с.
2. Курсовое и дипломное проектирование по механизации и технологии животноводства [Текст]: учеб. пособие с грифом УМО / В. А. Пиварчук, У.К. Сабиев.– 2-е изд., пераб. и доп.– Омск: Изд-во ОмГАУ, 2005.–124 с.
3. Механизация животноводства [Текст]: учеб. пособие с грифом МСХ РФ/ А.Ф.Кондратов [и др.]. г. Новосибирск: изд-во НГАУ, 2005.– 428 с.
4. Дипломное проектирование [Текст]: учеб. пособие. / В. А. Пиварчук [и др.] – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2008 .– 88 с.: ил.
5. Практикум по механизации животноводства [Текст]: учеб. пособие /У. К. Сабиев., В. А. Пиварчук, А.Г.Щербакова. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009.– 224 с.: ил.
6. Практикум по механизации и технологии животноводства [Текст] : учеб. пособие с грифом УМО /В. А. Пиварчук, У.К. Сабиев, А.Г. Щербакова.–2-е изд. доп.– Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010.–238 с.

Публикации в других изданиях

1. Сабиев, У.К. Классификация мобильных раздатчиков концентрированных кормов для КРС [Текст] / У. К. Сабиев // Совершенствование технологии и механизации приготовления кормов: Внутривуз. темат. сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1986.
2. Сабиев, У.К. Результаты исследований рабочих органов для порционной раздачи кормов [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев // Механизация и эксплуатация оборудования животноводческих ферм и комплексов: темат. сб. науч. тр. СО ВАСХ-НИИ. – Новосибирск, 1986.
3. Сабиев, У.К. Определение эффективного коэффициента трения вибрационного дозатора [Текст] / П.И. Леонтьев, У.К. Сабиев // Механизация и автоматизация производственных процессов в овцеводстве Казахстана: внутривуз. темат. сб. науч. тр. Казахский СХИ. – Алма-Ата, 1987.
4. Сабиев, У.К. Математические модели процесса дозирования сыпучих кормов вибрационным дозатором [Текст] / У. К. Сабиев // Совершенствование механизации интенсивного производства продукции животноводства: Внутривуз. темат. сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1987.
5. Сабиев, У.К. Вибрационное дозирование сыпучих материалов [Текст] / У. К. Сабиев // Проблемы комплексной автоматизации и механизации производства агропромышленного комплекса Казахстана : тез. докл. Респуб. науч.- практ. конф. молод. ученых и специалистов в Кустанае, 30 июня – 1 июля.–Алма-Ата, 1988.
6. Сабиев, У.К. Вибрационный дозатор сыпучих кормов [Текст] / П.И. Леонтьев, У.К. Сабиев // Информ. листок № 342-88. ЦНТИ.– Челябинск, 1988.
7. Сабиев, У.К. Разработка и обоснование параметров вибрационного дозатора сыпучих кормов [Текст]:автореф. дис... канд. техн. наук / У. К. Сабиев. – Челябинск, 1989. –20 с.
8. Сабиев, У.К. Разработка и обоснование параметров вибрационного дозатора сыпучих кормов [Текст]: дис.... канд. техн. наук / У. К. Сабиев.– Челябинск, 1989.– 206 с.
9. Сабиев, У.К. Теоретическое исследование процесса дозирования сыпучих кормов вибрационным дозатором [Текст] / У.К. Сабиев // Проблемы повышения эффективности использования производственного потенциала сельского хозяйства в

условиях научно-технического прогресса : тез. докл. XVIII науч.-произв. конф. 11–14 апреля.– Кустанай, 1989.

10. Сабиев, У.К. Зависимости неравномерности дозирования и энергоемкости транспортирования кормов от параметров вибраций дозатора с обоснованием границ их применения [Текст] / У.К. Сабиев // Механизация процессов труда в животноводстве: темат. сб. науч. тр. ВО ВАСХНИЛ НПО «Целинсельхозмеханизация». – Алма-Ата, 1989.

11. Сабиев, У.К. Раздатчик кормов [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев, Г.Р. Винтерле, Н.А. Петров // Земля сибирская, дальневосточная; 1989, № 9.

12. Сабиев, У.К.. Влияние положения заслонки вибродозатора на неравномерность дозирования кормов [Текст] / У. К. Сабиев // Совершенствование механизации производственных процессов в животноводстве: внутривуз. темат. сб. науч. тр. ЧИ-МЭСХ.– Челябинск, 1990.

13. Сабиев, У.К. Гидравлический переключатель [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев. // Информ. листок о научно-техническом достижении № 91-1/ ЦНТИ. – Омск, 1991.

14. Сабиев, У.К. Вибрационный смеситель [Текст] /У.К. Сабиев // Информ. листок о передовом производственном опыте, № 188-92 / ЦНТИ. – Омск, 1992.

15. Сабиев, У.К. Устройство для смешивания сыпучих материалов [Текст] / У.К. Сабиев // Информ. листок о научно-техническом достижении № 301-93 / ЦНТИ. – Омск, 1993.

16. Сабиев, У.К. Устройство для раздачи сыпучих кормов [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев. // Информ. листок № 8-95 / ЦНТИ. – Омск, 1995.

17. Сабиев, У.К. К вопросу о совершенствовании устройств для смешивания сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Использование и обеспечение работоспособности машин и оборудования в сельском хозяйстве Западной Сибири: Сб. науч. тр. ОмГАУ. – Омск, 1996.

18. Сабиев, У.К. Результаты сравнительных экспериментов дозирующих устройств сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Совершенствование технологических процессов зональных сельхозмашин, тракторов и оборудования: Сб. науч. тр. ОмГАУ. – Омск, 1996.

19. Сабиев, У.К. К вопросу о совершенствовании устройств для измельчения зерновых кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Проблемы животноводства Сибири: тезисы докладов науч.- техн. конф., посв. 65-летию зооинженерного факультета (25 – 26 апреля 1996 г.) / ОмГАУ. – Омск, 1996.

20. Сабиев, У.К. Раздатчик концентрированных кормов [Текст] / Б.В. Мещеряков, У.К. Сабиев // Научные разработки и инновационная деятельность ОмГАУ. Рекламный проспект к 80-летию ОмГАУ. – Омск, 1997.

21. Сабиев, У.К. Устройство для смешивания сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Научные разработки и инновационная деятельность ОмГАУ. Рекламный проспект к 80-летию ОмГАУ. – Омск, 1997.

22. Сабиев, У.К. Малогабаритная комбикормовая установка [Текст] / У.К. Сабиев // Информ. листок № 71-98/ ЦНТИ. – Омск, 1998.

23. Сабиев, У.К. Совершенствование процесса смешивания сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев // Механизация животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции в современных условиях : тезисы докл. науч.-практ. конф./ НГАУ. – Новосибирск, 1999.

24. Сабиев, У.К. Малогабаритный комбикормовый агрегат [Текст] / У.К. Сабиев // Сибирские ученые - агропромышленному комплексу: тезисы докладов конф. ученых, посвящ. 30-летию Селекционного центра Сибирского НИИ сельского хозяйства. СО. Россельхозакадемии / СибНИИСХ. – Омск, 2000.

25. Сабиев, У.К. Малогабаритный комбикормовый агрегат [Текст] / У.К. Сабиев // Совершенствование машин и оборудования в сельском хозяйстве Западной Сибири: сб. науч. тр. / ОмГАУ. – Омск, 2001. – с. 45 – 48.
26. Сабиев, У.К. Экспериментальное исследование работы плоского решета, совершающего поперечные колебания [Текст] / У.К. Сабиев, И.В. Чушкин // Агроинженерная наука – итоги и перспективы. Ч. 1: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 18 – 19 нояб. 2004 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т. инж. ин-т. – Новосибирск. 2004. – 490с.
27. Сабиев, У.К. Обоснование и аналитическое исследование профиля кулачка привода вибродозатора сыпучих кормов [Текст] / У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов // Юбилейный сборник научных трудов сотрудников ФТС в АПК ОмГАУ. – Омск, 2006.
28. Сабиев, У.К. Определение средней скорости движения частицы корма и подачи вибродозатора [Текст] / У.К. Сабиев, А.В. Зильбернагель // Юбилейный сборник научных трудов сотрудников ФТС в АПК ОмГАУ. – Омск, 2006.
29. Сабиев, У.К. Теоретическое исследование показателей технологического процесса работы плоского решета с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси решета [Текст] / У.К. Сабиев, А.В. Зильбернагель // Юбилейный сборник научных трудов сотрудников ФТС в АПК ОмГАУ. – Омск, 2006.
30. Сабиев, У.К. Устройство для смешивания сыпучих материалов: информ. листок № 02-07[Текст] / ОмЦНТИ ; сост. : У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов. – Омск , 2007. – 4 с.
31. Сабиев, У.К. Устройство для измельчения зерновых материалов: информ. листок № 52-005-07[Текст] / ОмЦНТИ; сост.: У.К. Сабиев, В.В. Фомин. – Омск, 2007. – 2 с.
32. Сабиев, У.К.. Устройство для измельчения зерна: информ. листок № 52-004-07[Текст] / ОмЦНТИ; сост.: У.К. Сабиев, В.В. Фомин. – Омск, 2007. – 2 с.
33. Сабиев, У.К. Устройство для измельчения зерновых материалов [Текст] / У.К. Сабиев, В.В. Фомин // Вестник ОмГАУ. – 2008. – № 2 – С. 75 – 76.
34. Сабиев, У.К. Вибрационный смеситель: информ. листок № 55 -017-08[Текст] / ОмЦНТИ; сост.: У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов, А.Д. Синцов. – Омск ,2008. – 2 с.
35. Сабиев, У.К. Устройство для увлажнения корма: информ. листок № 55 -011-12 [Текст] / ОмЦНТИ; сост.: У.К. Сабиев, А.К. Солодовников, С.А. Родичев. – Омск, 2012. – 2 с.

Подписано в печать 21.02.12. Формат 60х84 1/16.

Печать – ризография. Усл.п. л. 2,0. Тираж 100 экз.

Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т. Ленина, 46.

Лицензии: ЛЦ № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.07.97.

Отпечатано в ЦОП АлтГТУ. 656038, г. Барнаул, пр-т. Ленина, 46.

