

На правах рукописи

РЫСПАЕВ Куаныш Сабиржанович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РОТОРНОГО ДИСПЕРГАТОРА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург, 2014

Работа выполнена в кафедре «Технический сервис» Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова и в кафедре «Транспорт и сервис» Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова.

- Научный руководитель доктор технических наук, доцент
Курманов Аяп Конлямжаевич,
Костанайский государственный университет
им. А. Байтурсынова
- Официальные оппоненты: **Межуева Лариса Владимировна**,
доктор технических наук, профессор кафедры
пищевой биотехнологии, ФГБОУ ВПО
«Оренбургский государственный университет»;
Новиков Владимир Васильевич,
кандидат технических наук, профессор кафедры
сельскохозяйственных машин и механизации
животноводства ФГБОУ ВПО «Самарская
государственная сельскохозяйственная академия»
- Ведущая организация ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт мясного скотоводства»

Защита состоится 26 июня 2014 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.220.051.02 в ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, д. 4 (корпус № 3 ОГАУ, инженерный факультет), ауд. 500.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://www.orensau.ru> и на сайте Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Минобрнауки России <http://www.vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан ___ апреля 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



В.А. Шахов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие животноводства основано на создании новых технологий и машин, производстве высококачественных легкоусвояемых поликомпонентных продуктов с высокой пищевой и биологической ценностью. Одним из решающих факторов получения максимальной и высококачественной продукции крупного рогатого скота является сохранение и выращивание здорового поголовья молодняка. В ранний период своего развития организм новорождённого телёнка более подвержен постоянному воздействию различных факторов внешней среды, условиям содержания, особенностям технологии выращивания, кормления и т.д.

Разработка и изыскание наиболее рациональных, инновационных приёмов выращивания новорождённых телят, которые обеспечивают формирование жизнестойких, высокопродуктивных и высокорезистентных качеств их организма, крайне важны для современных интенсивных форм содержания крупного рогатого скота. Заменители цельного молока (ЗЦМ) имеют преимущества в рационе телят перед другими видами кормов:

- повышенная степень усвоения животными питательных веществ;
- низкая стоимость производства смеси из-за низкой энергоёмкости.

Задача приготовления – повысить усвояемость смеси, ее можно решить применением роторного диспергатора, это позволит снизить себестоимость производства продукции.

Поэтому приготовление ЗЦМ является актуальной задачей, важным условием перехода на интенсивное молочное животноводство.

Данная работа выполнена в соответствии с темами научно-исследовательской работы «Разработать рекомендации по повышению эффективности машинных технологий в агропромышленном комплексе для условий Костанайской области», утверждённой НТИ РК от 13.02.12 г., государственная регистрация № 0112 РК00946 и «Анализ опасностей и критические контрольные точки в продукции сельскохозяйственного производства в соответствии с системой НАССР», государственная регистрация № 0112 РК00929 от 13.02.12 г.

Цель исследования. Повышение эффективности приготовления заменителя цельного молока за счёт совершенствования конструктивно-режимных параметров роторного диспергатора.

Предмет исследования. Закономерности взаимодействия рабочих органов роторного диспергатора с компонентами заменителя цельного молока.

Объект исследования. Технологический процесс приготовления заменителя цельного молока роторным диспергатором.

Методика исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений, законов и методов классической механики, физики и математики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на основе общепринятых методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием теории планирования многофакторных экспериментов. Основные расчёты и обработка результатов

экспериментов выполнялись с использованием методов математической статистики, а также программ Microsoft Excel, Мастер функций, MathCAD12.

Научная новизна:

- получены аналитические зависимости для обоснования конструктивно-режимных параметров роторного диспергатора;
- получена математическая модель взаимосвязи качества измельчения смеси с параметрами и режимами работы роторного диспергатора;
- разработана новая конструкция роторного диспергатора, подтверждённая тремя авторскими свидетельствами на изобретения.

Практическая ценность:

- предложены оптимальные конструктивно-режимные параметры роторного диспергатора для приготовления заменителя цельного молока;
- разработаны исходные требования на проектирование и изготовление роторного диспергатора;
- кафедрой «Технический сервис» Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова и кафедрой «Транспорт и сервис» Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова предложен и внедрён в производство роторный диспергатор в хозяйства Костанайской области, а именно: КХ «Иржанова А.», ЧП «Айтбаев М.О.», ИП «Кузовой А.В.».

Вклад автора в проведённое исследование. Разработана математическая модель процесса обработки заменителя цельного молока роторным диспергатором, получены аналитические зависимости, характеризующие качество измельчения смеси, проведены экспериментальные исследования приготовления заменителя цельного молока роторным диспергатором.

Реализация результатов исследований. Экспериментальный роторный диспергатор внедрен в КХ «Иржанова А.» Костанайской области Республики Казахстан Узункольского района, п. Ершовка; в хозяйстве ЧП «Айтбаев М.О.» Костанайской области Республики Казахстан Карасуского района, п. Карасу; в хозяйстве ИП «Кузовой А.В.» Костанайской области Республики Казахстан Камыстинского района, п. Талдыколь. Методика определения параметров и оценки качества процесса диспергации используется в учебном курсе «Механизация животноводства» Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова.

Апробация. Основные положения диссертационной работы доложены на конференциях: Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова, Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова (г. Костанай, Республика Казахстан, 2011–2013 гг.), Челябинской государственной агроинженерной академии (г. Челябинск, Россия, 2013 г.), Кызылординского государственного университета им. Коркыт Ата (г. Кызылорда, Республика Казахстан, 2013 г.).

Научные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель рабочего процесса роторного диспергатора при приготовлении ЗЦМ;
- разработанная конструкция роторного диспергатора;

- конструктивно-режимные параметры роторного диспергатора;
- результаты производственных испытаний и оценка технико-экономической эффективности предлагаемого роторного диспергатора.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; положительными результатами опытов и производственных испытаний разработанных технологических решений и технических средств; эффективным использованием результатов научных исследований на предприятиях агропромышленного комплекса.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, одна статья в зарубежном издании, три авторских свидетельства.

Объём работ и структура. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, включая список литературы из 117 наименований, 41 рисунка, 13 таблиц и 45 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи, показаны научная новизна и практическая значимость, отражены вопросы реализации и апробации полученных научных и практических результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Общее состояние вопроса» представлен анализ результатов существующих исследований, известных технологий и машин для диспергации и гомогенизации, их систематизация и классификация. Анализ работ Горячкина В.П., Карташова Л.П., Алимова Т.К., Альсеитова Г.С., Барановского Н.В., Бонда Ф., Кик Ф., Кирпичева В.Л., Куленко В.Г., Кухта Г.М., Леонтьева П.И., Петрачкова Б.В., Риттингера П.Р., Рундквиста А.В, Исинтаева Т.И., Харитоновы Л.В., Фиалкова Е.А. и других авторов позволил обосновать направление совершенствования машин и их рабочего процесса при приготовлении ЗЦМ.

Вместе с интенсификацией производства высококачественной животноводческой продукции актуальным является вопрос удешевления кормов, так как их стоимость составляет от 50 до 70% в себестоимости животноводческой продукции.

Учитывая, что заменители цельного молока (ЗЦМ) являются одними из важнейших составляющих в рационе кормления молодых сельскохозяйственных животных, влияющих на их рост и развитие при выращивании молодняка, приготовление смеси ЗЦМ является актуальной задачей. ЗЦМ необходимо приготовить таким образом, чтобы обеспечить лёгкую усваиваемость питательных веществ и их использование организмом молодого животного с максимальной отдачей. Добиться этого возможно на основе технологии диспергации смеси ЗЦМ.

На основании анализа исследований и классификации конструктивных решений найдена перспективная модель – роторный диспергатор и определено направление его совершенствования.

В связи с этим повышение эффективности приготовления ЗЦМ за счёт совершенствования конструктивно-режимных параметров роторного диспергатора является актуальной задачей.

Задачи исследования.

1. Провести анализ и обосновать направление совершенствования конструкции роторного диспергатора и рабочего процесса при приготовлении ЗЦМ.

2. Обосновать теоретически и экспериментально конструктивные параметры и технологические режимы роторного диспергатора.

3. Разработать исходные требования на проектирование и изготовление роторного диспергатора.

4. Провести технико-экономическую оценку эффективности предлагаемого роторного диспергатора.

Во второй главе «Теоретические исследования» проведён анализ влияния факторов на работу роторного диспергатора, уточнена общая методика расчёта основных технологических параметров рабочих органов машины, обоснованы условия снижения энергоёмкости и материалоемкости роторного диспергатора.

Анализируя условия, в которых происходит процесс дробления жидкой фазы, можно сделать вывод, что он начинается с первоначальной деформации жидких капель, взвешенных в жидкой среде. Степень деформации в начальной стадии дробления характеризует интенсивность действия механических факторов.

В роторных диспергаторах поток эмульсии в зоне ротора подвергается последовательным механическим воздействиям, при которых диспергирующую роль могут играть следующие, наиболее вероятные факторы:

- относительное смещение жидких частиц с резкой переменной скорости в связи с переформированием потока в месте перехода смеси из ротора в наружную обечайку статора;

- относительное смещение жидких частиц при наличии высокого градиента скорости поперёк потока смеси в узкой щели между ротором и наружной обечайки статора;

- удар плоской струи, выходящей с большой скоростью из-под ротора, о металлическую стенку наружной обечайки статора, окружающую ротор на близком расстоянии.

Главным компонентом ЗЦМ является жир, равномерное распределение которого в растворителе (воде) является главным в работе диспергатора.

Стабильность смеси во времени тоже связана с размером частиц дисперсной фазы. Закон Стокса, описывающий зависимость скорости всплытия жировых шариков от их размера, подтверждает необходимость интенсификации процесса диспергации для повышения устойчивости смеси. Чем меньше раз-

мер жировых шариков, тем меньше скорость их всплытия и тем стабильнее смесь. С отстоем жира связано не только ухудшение качества продуктов, но и его потери при хранении.

ЗЦМ является типичной эмульсией (дисперсией) жира в воде – жировая фаза находится в плазме ЗЦМ в виде мелких капель (шариков жира) более или менее правильной формы, окружённых защитной липопротейдной оболочкой. Нахождение жира в мелкодиспергированном виде очень важно для процесса его усвоения, а также для технологической обработки ЗЦМ.

Физическая стабильность шариков жира в молоке и молочных продуктах, их состояние при отстое сливок и технологической обработке (диспергации, пастеризации и т. д.) в основном зависят от состава и свойств их оболочек. Эти компоненты, ориентированные определённым образом на поверхности шариков, стабилизируют жировую эмульсию молока.

По данным электронно-микроскопических исследований оболочка жирового шарика состоит из двух слоёв различного состава – внутреннего тонкого, плотно прилегающего к жировой глобуле и внешнего рыхлого (диффузного), легкодесорбируемого при технологической обработке ЗЦМ.

Жировые шарики молока покрыты тонкой оболочкой белков и липидно-белковой смеси. Белки в этой оболочке находятся в набухшем состоянии (рис. 1).

Интенсивное дробление частиц дисперсной фазы в роторных диспергаторах происходит за счёт их вытягивания в нити и разрыва этих нитей на части при ускорении потока жидкости на выходе из ротора в статор. Фронтальные элементы образований раньше тыльных их частей подвергаются ускорению и более длительное время пребывают под воздействием повышенных скоростей движения. При переходе от небольших скоростей движения к высоким жировой шарик изменяется: его передняя часть вытягивается в нить и разбивается на мелкие капли. При малой разности скоростей фронтальных и тыльных

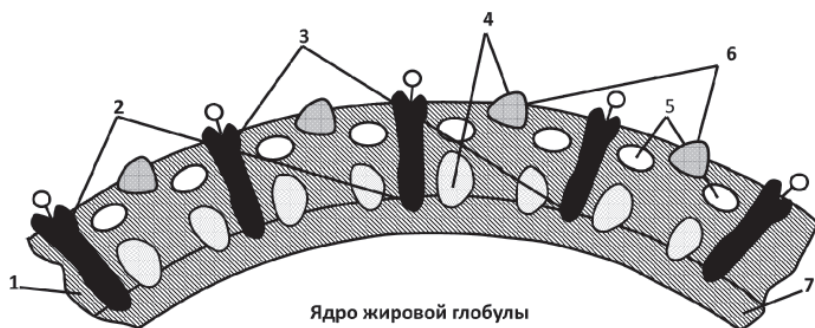


Рисунок 1 – Модель оболочки жирового шарика по Мак Ферсону и Китчену:

- 1 – фасфолипиды; 2, 3 – гликапротейды; 4 – интегральный гидрофобный белок; 5 – осантиноксадаза; 6 – нуклеотидаза; 7 – слой высокоплавких триглицеридов

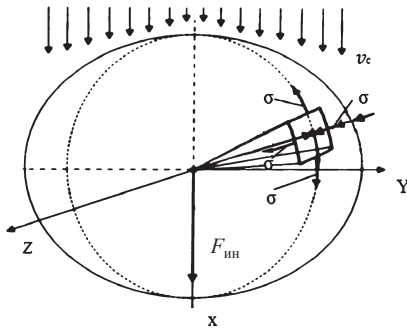


Рисунок 2 – Схема действия сил на поверхность жировой частицы:

σ – коэффициент поверхностного натяжения; v_c – скорость среды; $F_{инн}$ – сила инерции

частей частицы происходит только ее деформирование. Чем выше разность скоростей, тем интенсивнее частица вытягивается в нить, тем тоньше эта нить и мельче частички ее распада.

Плотность жировой частицы мало отличается от плотности окружающей жидкости. Поэтому можно считать, что ее скорость практически не отличается от скорости потока, и, следовательно, архимедовой силой и силами вязкого трения можно пренебречь. При этих допущениях на частицу, движущуюся в ускоренном потоке, действует сила инерции $F_{инн}$, стремящая ее растянуть, и сила поверхностного напряжения σ , под

действием которой шарик жира стремится сохранить свою форму (рис. 2). Силы инерции, развивающиеся при разгоне частиц жира, оказываются достаточными для их растяжения и разрыва. Роль самой щели сводится лишь к тому, что она создаёт условия, способствующие движению частиц с ускорением.

Изменение скорости не может быть скачкообразным, разгон частиц происходит на каком-то участке траектории. Если этот участок имеет небольшую протяжённость, то жировая частица будет подвержена действию достаточно мощных инерционных сил, в результате чего может произойти ее растяжение, а затем и разрыв.

Работа сил инерции может быть представлена как:

$$A_{инн} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot v^2, \text{ Дж} \tag{1}$$

где ρ – плотность жировой фазы, кг/м^3 ;

d – диаметр частицы, м;

v – скорость на рассматриваемом участке траектории, м/с.

Работа сил поверхностного натяжения, $A_{п.н.}$:

$$A_{п.н.} = \sigma \Delta S, \text{ Дж} \tag{2}$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м^2 ;

$\Delta S = S_{ц} - S_{ш}$ – изменение поверхности жировой частицы при деформации ее в цилиндр (нить), поверхность которого $S_{ц} = \pi dl$, м^2 .

Условием дробления, т. е. растяжения сферы в цилиндрическую нить, является равенство: $A_{инн} = A_{п.н.}$ Разрыв жировых шариков происходит в момент разгона смеси из ротора в статор за счёт большого градиента скорости. Диаметр раздробленных частиц вычисляется по формуле:

$$d = k \cdot \frac{\sigma^{1/2} \cdot Q^{1/2} \cdot \rho^{1/4}}{L^{1/2} \cdot \Delta\rho^{3/4}}, \text{ м} \quad (3)$$

где k – безразмерный коэффициент, зависящий от конструкции диспергирующей головки;

ρ – плотность эмульсии, кг/м³;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м²;

Q – производительность диспергатора, кг/с;

L – размер щели, м;

$\Delta\rho$ – разность плотностей жира и плазмы, кг/м³.

Разрушению частицы препятствует ее поверхностное натяжение. Соотношение разрушающей силы и силы поверхностного натяжения определяется критерием Вебера (We):

$$We = \frac{(v_{\text{ч}} - v_{\text{с}})^2 \cdot \rho_1 \cdot r}{\sigma}, \quad (4)$$

где $v_{\text{ч}}$ – относительная скорость частицы, м/с;

$v_{\text{с}}$ – относительная скорость среды, м/с;

ρ_1 – плотность частицы, кг/м³;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м²;

r – радиус частицы, м.

При превышении критерием Вебера критического значения развивается один из механизмов разрушения. Для разных механизмов разрушения критические значения критерия Вебера различны. Разрушение частиц заканчивается спустя некоторое время после достижения критического значения критерия Вебера. Это время называется временем индукции. По физическому смыслу оно является временем, в течение которого развивается деформация частиц до достаточно большой степени.

Таким образом, из всех известных механизмов разрушения жирового шарика реальным для нашего процесса диспергации является только механизм с вытягиванием частиц дисперсной фазы и их дроблением в результате действия градиента скорости, разрывом жидких частиц дисперсной фазы за счёт относительной скорости подвижных и неподвижных частей и дроблением в результате истирания (рис. 3).

В роторном диспергаторе жидкость под действием градиента скорости должна пройти через окна ротора и статора. Дробление частиц при этом происходит по такому же механизму, как в клапанном гомогенизаторе. Эффективность диспергации зависит от градиента скорости. Частица дисперсной фазы диаметром d изображена на рисунке 3. Скорости в статоре и на выходе из ротора этой частицы соответственно равны v_1 и v_0 . Скорость v_1 превышает скорость v_0 .

Последующее механическое воздействие на эмульсию при ее движении в щели и при ударе струи за пределами ротора заметно не влияет на дисперсность эмульсии, несмотря на изменение градиента скорости при движении потока

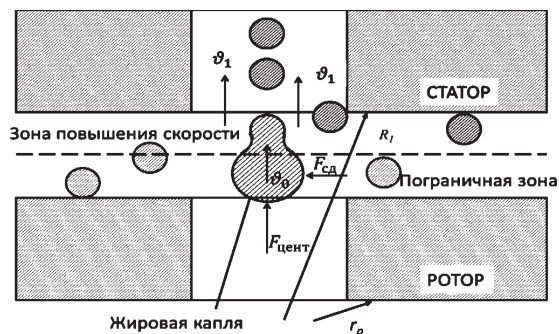


Рисунок 3 – Схема процесса диспергации:

v_1 – скорость частицы жира в статоре; v_0 – скорость частицы жира на выходе из ротора; $F_{сд}$ – сила сдвигового усилия; $F_{цент}$ – центробежная сила; ω – частота вращения ротора; d – диаметр жирового шарика

в щели и скорости выходящей струи в широком диапазоне. На дисперсность эмульсии не влияет также изменение длины пути, проходимого эмульсией под ротором.

Для роторного диспергатора характерны две ступени: первая – внутренняя обечайка статора – ротор; вторая – ротор – наружная обечайка статора с зазором между ступенями 0,1–0,5 мм и большим шагом расположения каналов в роторе и статоре по боковым стенкам ротора и статора. Наиболее активной рабочей зоной является щель между ротором и статором.

При вращении ротора его каналы периодически совмещаются с каналами внутренней и наружной обечаек статора. В период времени, когда каналы ротора перекрыты стенкой статора, в роторе давление возрастает, а при совмещении канала ротора с каналом статора давление за короткий промежуток времени сбрасывается. Скорость потока жидкости в канале статора является переменной величиной.

При работе в роторном диспергаторе возникают определенным образом направленные токи жидкости. Интенсивное перемешивание жидкости имеет место только в результате образования вторичных потоков и вихревого движения. Под действием центробежных сил жидкость движется в плоскости вращения ротора диспергатора от центра к стенкам. Вследствие такого движения в центре диспергатора возникает зона пониженного давления и образуется воронка, куда засасывается жидкость из слоев, расположенных выше и ниже ротора. Вторичные потоки и круговое движение жидкости создают сложный контур циркуляции, в результате чего происходит перемешивание слоев смеси.

Как отмечалось в анализе и в теоретическом обосновании диспергации, основная часть энергии (до 80–90%) расходуется на сообщение жидкости кинетической энергии при вращении ротора, а остальная – на преодоление сопротивления над ротором. Кинетическая энергия F не что иное, как центробежная сила массы смеси m , заключенной в окне ротора 2 (рис. 4).

Производительность роторного диспергатора определяем по формуле:

$$Q = A \cdot t, \text{ кг/с} \quad (5)$$

где A – работа по перемещению ЗЦМ, Дж;

t – продолжительность работы роторного диспергатора, с.

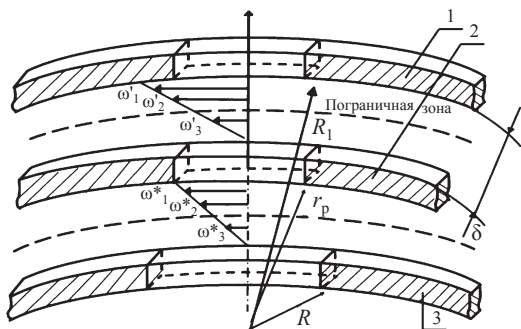


Рисунок 4 – Схема роторного диспергатора:

1 – наружная обечайка статора; 2 – ротор; 3 – внутренняя обечайка статора; R – радиус внутренней обечайки статора; R_1 – радиус наружной обечайки статора; r_p – радиус ротора; δ – зазор щели между ротором и статором; ω^* , ω' – градиенты частоты вращения ротора; $F_{\text{центр}}$ – центробежная сила

$$A = \frac{F_{\text{центр}}}{r_p}, \text{ Дж} \quad (6)$$

где $F_{\text{центр}}$ – центробежная сила, Н;

r_p – радиус ротора, м.

Центробежную силу рассчитываем по формуле:

$$F_{\text{центр}} = m \cdot r_p \cdot \omega^2, \text{ Н} \quad (7)$$

где m – масса смеси ЗЦМ, кг;

r_p – радиус ротора, м;

ω – угловая скорость ротора, с^{-1} .

$$F_{\text{центр}} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot r_p \cdot V \cdot \rho}{900}, \text{ Н} \quad (8)$$

где n – частота вращения ротора, с^{-1} ;

r_p – радиус ротора, м;

V – объем окон внутренней обечайки статора, м^3 ;

ρ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$Q = m \cdot \omega^2 \cdot t = \frac{V \cdot \rho \cdot a \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot t}{900} \xi \cdot k_c = a \cdot n^2 \cdot t \cdot \xi \cdot k_c \cdot k_p, \text{ кг/с} \quad (9)$$

где m – масса смеси ЗЦМ, кг;

ω – угловая скорость ротора, с^{-1} ;

V – объем окон внутренней обечайки статора, м^3 ;

ρ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

a – количество окон внутренней обечайки статора, шт;

n – частота вращения ротора, с^{-1} ;

t – продолжительность обработки смеси, с;

ξ – коэффициент качества измельчения смеси;

k_c – концентрация ЗЦМ в 1 л воды, кг;

k_p – коэффициент пропорциональности, ($k_p = 2,8$).

Отсюда коэффициент качества измельчения смеси:

$$\xi = \frac{Q}{a \cdot n^2 \cdot t \cdot k_c \cdot k_p}, \quad (10)$$

где Q – производительность роторного диспергатора, кг/с;

a – количество окон внутренней обечайки статора, шт;

n – частота вращения ротора, с^{-1} ;

t – продолжительность обработки смеси, с;

k_c – концентрация ЗЦМ в 1 л воды, кг;

k_p – коэффициент пропорциональности, ($k_p = 2,8$).

Основная часть энергии тратится на центробежную силу. Затратами энергии на деформацию и образование продуктов износа деталей измельчителя на данном этапе мы пренебрегаем, отсюда мощность роторного диспергатора определяем по формуле:

$$N = F_{\text{центр}} \cdot S = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot S = \frac{V \cdot \rho \cdot a \cdot r_p \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot (R_1 - R)}{900}, \quad \text{кВт} \quad (11)$$

где $F_{\text{центр}}$ – центробежная сила, Н;

m – масса смеси ЗЦМ, кг;

S – расстояние перемещения массы смеси в роторном диспергаторе,

$S = R_1 - R$, м;

V – объем окон внутренней обечайки статора, м^3 ;

ρ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

a – количество окон внутренней обечайки статора, шт;

R_1 – радиус наружной обечайки статора, м;

R – радиус внутренней обечайки статора, м;

r_p – радиус ротора, м;

n – частота вращения ротора, с^{-1} .

В третьей главе приведена программа и методика проведения экспериментальных исследований. Целью экспериментальных исследований являлось подтверждение теоретических исследований по определению количественных показателей работы роторного диспергатора.

Разработана методика экспериментальных исследований, состоящая из методики определения технологических и конструктивно-режимных параметров (рис. 5).

Разработаны методики определения качества измельчения смеси, степени однородности смеси центрифугированием. Для проведения исследований роторного диспергатора была изготовлена экспериментальная установка для определения технологических и конструктивно-режимных параметров роторного диспергатора (рис. 6).

Для реализации эксперимента выбран некомпозиционный план Бокса–Бенкена на четырёх уровнях 4^k . Уровни варьирования факторов даны в таблице 1.



Рисунок 5 – Методика экспериментальных исследований

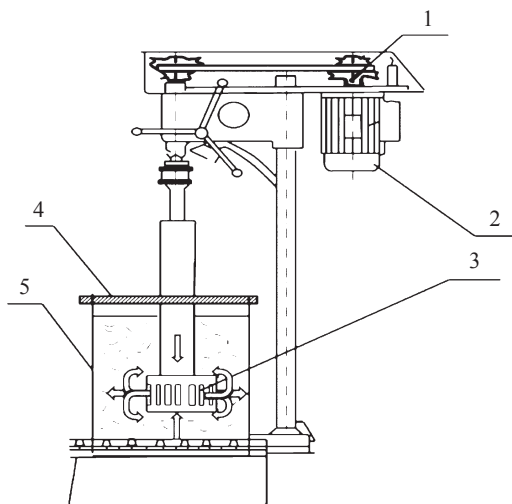


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки:

- 1 – вариатор скоростей; 2 – электродвигатель; 3 – роторный диспергатор; 4 – крепление корпуса диспергатора; 5 – ёмкость

Эффективность диспергации определялась методом центрифугирования смеси, замерив массовые доли жира в полученных фракциях. Критерием отклика эксперимента являлось качество измельчения смеси, которое количественно оценивалось толщиной слоя выделенного жира при центрифугировании и измерялось в мм. Оптимальным является стремление этого показателя к нулю.

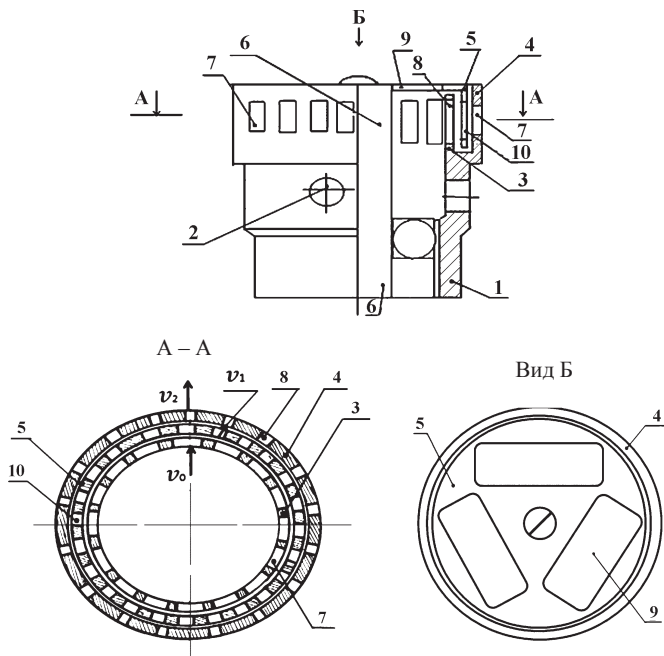


Рисунок 7 – Роторный диспергатор:

1 – корпус; 2 – радиальные отверстия; 3 – внутренняя обечайка статора; 4 – наружная обечайка статора; 5 – ротор; 6 – вал ротора; 7, 8 – боковые отверстия наружной и внутренней обечайки статора; 9 – торцовые отверстия; 10 – боковые отверстия ротора

Для проведения экспериментов подготовленную смесь помещали в ёмкость 5 установки (рис. 6), объёмом пять литров и включали электродвигатель 2 с заданными параметрами. Продолжительность обработки смеси фиксировали секундомером. После окончания обработки брали образцы смеси с шести различных участков ёмкости объёмом 5 мм³ и помещали в центрифугу. Продолжительность центрифугирования фиксировали с помощью автоматического выключателя с секундомером. Фиксировали в журнале основное время центрифугирования и время выбега центрифуги. После центрифугирования образцов смеси проводили замеры количества жира с помощью штангенциркуля. Результаты замеров заносили в журнал. Частота вращения ротора изменялась на электродвигателе вариатором скоростей 1, количество окон внутренней обечайки статора изменялось с помощью двух дополнительных колец, перекрывающих окна внутренней обечайки статора. Концентрацию ЗЦМ в 1 л. воды готовили заранее, путём добавления сухого порошка ЗЦМ в 1 л воды с температурой не менее +38 °С, взвешивание порошка ЗЦМ проводили на электронных весах SF400 с точностью ± 1 гр.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	X_1 Частота вращения ротора, c^{-1}	X_2 Продолжительность обработки смеси, с	X_3 Количество окон внутренней обечайки статора, шт.	X_4 Концентрация ЗЦМ в 1 л воды, кг
Нижний уровень ($X = -1$)	167,5	300	10	0,110
Основной уровень (X)	219,8	600	15	0,117
Верхний уровень ($X = +1$)	272,1	900	20	0,124
Интервалы варьирования	52,3	300	5	0,007

В четвертой главе «Обработка и анализ экспериментальных исследований» представлены результаты проведённых экспериментов.

В результате обработки и анализа экспериментальных исследований получено уравнение регрессии – зависимость качества измельчения смеси (y) от факторов: частоты вращения ротора (X_1), продолжительности обработки смеси (X_2), количества окон внутренней обечайки статора (X_3) и концентрации ЗЦМ в 1 л воды (X_4).

$$y = 3,2 - 0,569X_1 - 0,093X_2 + 0,356X_3 + 0,10X_4 - 1,9875X_1X_2 - 0,595X_1X_4 + 0,195X_2X_3 + 0,18X_2X_4 - 0,309X_1^2 - 0,3315X_2^2 + 1,2335X_3^2. \quad (12)$$

Значимость коэффициентов проверена по табличному значению критерия Стьюдента, адекватность – по табличному значению критерия Фишера.

Адекватность математической модели подтверждается с вероятностью $P=0,99$ при $F_T > F_R$ (при $F_T = 19,42$; $F_R = 1,32$). Модель адекватна.

Для обработки полученных результатов была применена программа «MathCAD12», что позволило получить оптимальные значения факторов.

Для анализа влияния факторов на процесс диспергации смеси были построены поверхности отклика (рис. 8–13).

При этом оптимальные значения частоты вращения ротора $258,5 c^{-1}$, продолжительность обработки смеси 320 с, количество окон внутренней обечайки статора 12 шт. и концентрация ЗЦМ в 1 л воды $0,110 \pm 0,005$ кг.

$$Y(X_1, X_2) = 3,2 - 0,569X_1 - 0,093X_2 - 1,9875X_1X_2 - 0,309X_1^2 - 0,3315X_2^2, \quad (13)$$

$$Y_{\text{опт}} = 0,096.$$

Характер поведения поверхности отклика показывает, что увеличение качества измельчения смеси достигается при оптимальной частоте вращения ротора X_1 , соответствующее $258,5 c^{-1}$. Оптимальное значение фактора Y находится в точке 0,096, что соответствует значению 320 с продолжительности обработки смеси.

$$Y(X_1, X_3) = 3,2 - 0,569X_1 + 0,356X_3 + 0,309X_1^2 + 1,2335X_3^2, \quad (14)$$

$$Y_{\text{опт}} = 2,322.$$

Из графического изображения поверхности отклика видно, что увеличение качества измельчения смеси достигается при оптимальной частоте вращения ротора X_1 , соответствующее $258,5 \text{ c}^{-1}$. Оптимальное значение фактора Y находится в точке 2,322, что соответствует значению 12 окон внутренней обечайки статора:

$$Y(X_1, X_4) = 3,2 - 0,569X_1 + 0,10X_4 - 0,595X_1X_4, \quad (15)$$

$$Y_{\text{опт}} = 2,631.$$

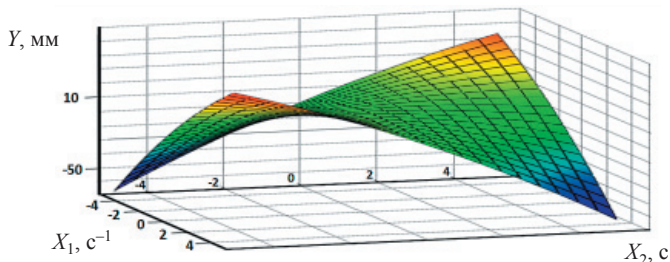


Рисунок 8 – Зависимость качества измельчения смеси от частоты вращения ротора X_1 и продолжительности обработки смеси X_2

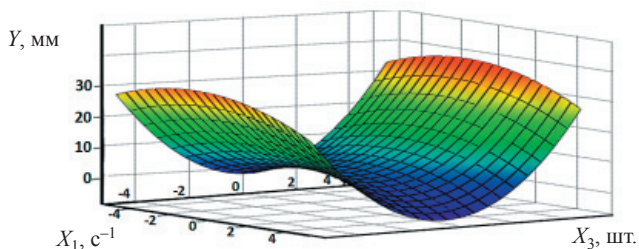


Рисунок 9 – Зависимость качества измельчения смеси от частоты вращения ротора X_1 и количества окон внутренней обечайки статора X_3

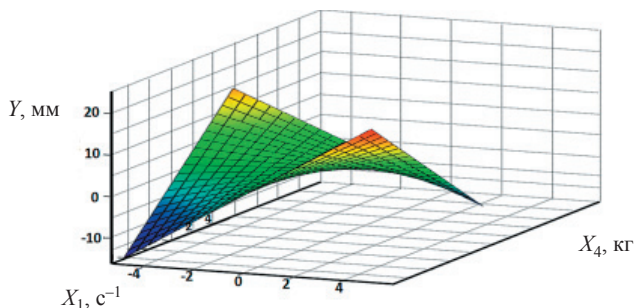


Рисунок 10 – Зависимость качества измельчения смеси от частоты вращения ротора X_1 и концентрации ЗЦМ в 1 л воды X_4

Анализ зависимости качества измельчения смеси от концентрации ЗЦМ в смеси X_4 и частоты вращения ротора X_1 показывает, что характер поверхности отклика фактора X_1 растёт по нелинейной зависимости и достигает оптимального значения, что соответствует значению $258,5 \text{ с}^{-1}$. Значение фактора X_4 достигает своего значения в точке $2,631$, что соответствует концентрации ЗЦМ в 1 л воды в количестве $0,110 \pm 0,005 \text{ кг}$.

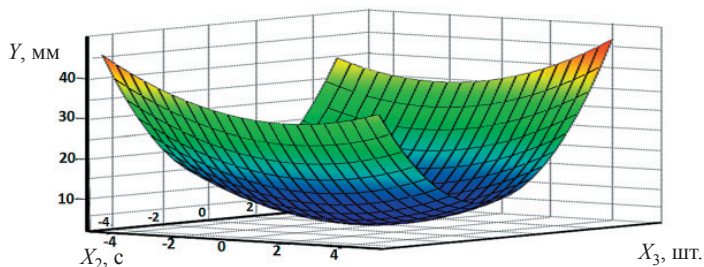


Рисунок 11 – Зависимость качества измельчения смеси от продолжительности обработки смеси X_2 и количества окон внутренней обечайки статора X_3

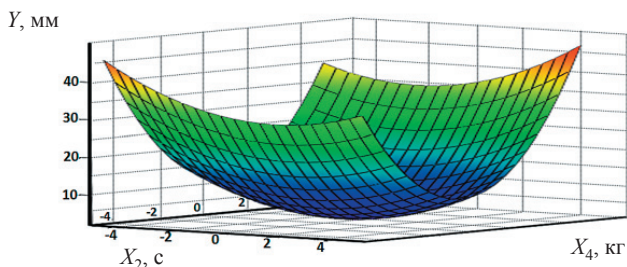


Рисунок 12 – Зависимость качества измельчения смеси от продолжительности обработки смеси X_2 и концентрации ЗЦМ в 1 л воды X_4

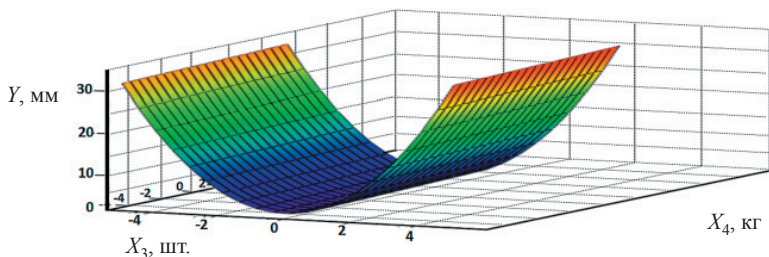


Рисунок 13 – Зависимость качества измельчения смеси от количества окон внутренней обечайки статора X_3 и концентрации ЗЦМ в 1 л воды X_4

$$Y(X_2, X_3) = 3,2 - 0,093X_2 + 0,356X_3 + 0,195X_2X_3 - 0,3315X_2^2 + 1,2335X_3^2, \quad (16)$$

$$Y_{\text{опт}} = 3,094.$$

Анализируя полученное изображение поверхности отклика, видно, что оптимальное значение продолжительности обработки смеси X_2 составляет 320 с. Значение фактора X_3 имеет оптимальное значение при 12 окнах внутренней обечайки статора.

$$Y(X_2, X_4) = 3,2 - 0,093X_2 + 0,10X_4 + 0,18X_2X_4 - 0,3315X_2^2, \quad (17)$$

$$Y_{\text{опт}} = 3,2.$$

Анализируя влияние продолжительности обработки смеси, выявлено, что X_2 имеет свой минимум на графическом изображении отклика. Значение концентрации ЗЦМ в 1 л воды X_4 имеет такой же характер поверхности отклика по нелинейной зависимости.

$$Y(X_3, X_4) = 3,2 + 0,356X_3 + 0,10X_4 + 1,2335X_3^2, \quad (18)$$

$$Y_{\text{опт}} = 4,076.$$

Анализ поверхности отклика на рисунке 13 показывает, что с ростом количества окон внутренней обечайки статора X_3 растёт и значение фактора по нелинейной зависимости. Рост фактора X_4 ведёт к снижению значения поверхности отклика по нелинейной зависимости. Характер поведения факторов на качество измельчения смеси в одном случае фактора X_3 ведёт к значительному повышению.

Для сравнения теоретических и экспериментальных исследований были построены графики влияния каждого отдельного фактора на качество измельчения смеси, таким образом в полученное уравнение регрессии подставляли поочередно три фактора на оптимальном (нулевом уровне), а один фактор оставляли на варьируемом уровне. В результате чего была получена система уравнений:

$$\begin{cases} y(x_1) = 3,2 - 0,569x_1 - 0,309x_1^2 \\ y(x_2) = 3,2 - 0,093x_2 - 0,3315x_2^2 \\ y(x_3) = 3,2 + 0,356x_3 + 1,2335x_3^2 \\ y(x_4) = 3,2 + 0,1x_4 \end{cases} \quad (19)$$

Сравнение качества измельчения смесей, определённых экспериментальным путем, с аналогичными, рассчитанными в ходе теоретических исследований, показало, что они статистически неразличимы, что свидетельствует об адекватности полученной математической модели. Графическая реализация экспериментальных исследований подтвердила теоретические. Коэффициенты корреляции приведены в таблице 2.

Степень однородности смеси в проведённых экспериментах определялась по методике Г.М. Кухты.

В 93% проведённого эксперимента однородность смеси удовлетворительного и хорошего качества.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции

Функция	Коэффициент
$y(x_1)$	0,99
$y(x_2)$	0,98
$y(x_3)$	0,80
$y(x_4)$	0,98

В пятой главе «Исходные требования на проектирование и изготовление роторного диспергатора» разработаны исходные требования для проектирования и изготовления роторного диспергатора.

В шестой главе приведены производственные испытания и оценка технико-экономической эффективности работы роторного диспергатора для приготовления ЗЦМ.

Применение разработанной установки для приготовления ЗЦМ позволит получить годовой экономический эффект 27120 рублей на тонну ЗЦМ за счёт увеличения производительности на 13,8 %, за счёт снижения приведённых затрат на 31,3 %, эксплуатационных затрат на 31,5%, при высоком качестве приготавливаемой смеси. Срок окупаемости – 1,7 года

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Проведённый анализ существующих исследований по приготовлению диспергированных структурированных смесей, разработанная классификация технических решений позволили обосновать новую конструкцию роторного диспергатора, позволяющую за счёт физического эффекта измельчения, дробления и истирания снизить энергоёмкость процесса приготовления смеси ЗЦМ. Такое устройство и технология на ее основе обладают преимуществом перед существующими и являются актуальными для современного сельского хозяйства при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных.

2. Разработанная теоретическая модель взаимодействия рабочих органов роторного диспергатора с компонентами смеси ЗЦМ позволила получить аналитические закономерности качества приготовления смеси в зависимости от частоты оборота ротора, продолжительности обработки смеси, количества окон внутренней обечайки статора, концентрации ЗЦМ в 1 л воды. Полученная модель адекватна, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Установлено, что основными силами в процессе работы роторного диспергатора являются центробежные силы и силы поверхностного натяжения. Их соотношение позволило установить, что условием дробления, т. е. растяжения частиц жирового шарика в цилиндрическую нить, является равенство: $A_{ин} = A_{пн}$, при превышении которого и происходит разрушение частиц жира.

3. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснована конструкция роторного диспергатора, которая защищена авторскими

свидетельствами РК на изобретения: № 78533, № 79570 и № 80084. Изготовлена экспериментальная модель роторного диспергатора с диаметром ротора 50 мм и количеством окон внутренней обечайки 12 шт.

4. Проведённый многофакторный эксперимент позволил определить технологические и конструктивно-режимные параметры приготовления смеси ЗЦМ от следующих четырёх варьируемых факторов: частота оборота ротора, продолжительность обработки смеси, количество окон внутренней обечайки статора, концентрация ЗЦМ в 1 л воды при любых значениях факторов, взятых из интервала варьирования. В результате экспериментальных исследований установлено, что данные теоретических исследований обладают высокой схожимостью и с достаточной точностью (2–4%) описывают реальный процесс.

5. Разработанные исходные требования на изготовление и проектирование роторного диспергатора позволяют изготовить роторный диспергатор со следующими параметрами: средний диаметр ротора – 50 мм, зазор между режущими кромками не более 0,5 мм, ширина прорезей не более 4 мм, высота прорезей – 12 мм, число прорезей – 12 шт., толщина стенок и образующих не более 2 мм.

6. Проведённые поисковые исследования позволили получить оптимальные режимы работы центрифуги: частота вращения ротора 628 с^{-1} , время центрифугирования – 300 с, обеспечивали наиболее качественное определение качества приготовления смеси ЗЦМ в экспериментальных исследованиях.

7. Выбранный некомпозиционный план Бокса – Бенкина на четырёх уровнях позволил получить математическую модель – уравнение регрессии, качество измельчения смеси в зависимости от частоты оборота ротора, продолжительности обработки смеси, количества окон внутренней обечайки статора, концентрации ЗЦМ в 1 л воды. Адекватность математической модели, по критерию Фишера, подтверждается с вероятностью $P = 0,99$ при $F_T > F_R$ (при $F_T = 19,42$; $F_R = 1,32$). Оптимальные значения получены при частоте вращения ротора $258,5 \text{ с}^{-1}$, продолжительности обработки смеси 320 с, количества окон внутренней обечайки статора – 12 шт. и концентрации ЗЦМ в 1 л воды $0,110 \pm 0,005 \text{ кг}$.

8. Расчёты экономической эффективности применения роторного диспергатора при приготовлении смеси ЗЦМ показали, что годовой экономический эффект составляет 27120 руб./т при сроке окупаемости вложений 1,7 года и годовой загрузке 640 тонн смеси ЗЦМ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Рыспаев, К.С. Теория дробления ингредиентов смеси / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург, 2013. – № 1 (39). – С. 48–51.

2. Рыспаев, К.С. Оптимальные конструктивно-режимные параметры роторного диспергатора / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, 2013. – № 1 (21). – С. 31–34.

3. Рыспаев, К.С. Определение степени дробления / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург, 2013. – № 2 (40). – С. 83–84.

4. Рыспаев, К.С. Совершенствование методики исследования роторного диспергатора / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург, 2013. – № 6 (44). – С. 77–79.

Публикации в других изданиях и материалах научных конференций

5. Рыспаев, К.С. Использование и технология производства искусственного молока (ЗЦМ) в молочном животноводстве / А.К. Курманов, И.Т. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Наука. – Костанай, 2012. – № 1. – С. 8–12.

6. Рыспаев, К.С. Использование и технология производства искусственного молока (ЗЦМ) в молочном животноводстве / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Материалы междунар. науч.-практ. конф. Байтурсьновские чтения – 2012 «Роль науки и образования в реализации стратегии индустриально-инновационного развития Казахстана». – Костанай, 2012. – Ч. 1. – С. 66–68.

7. Рыспаев, К.С. Экструдирование смесей для получения ЗЦМ / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Дулатовские чтения – 2012 «Республика Казахстан и Евразийское экономическое сообщество: сотрудничество во имя прогресса». – Костанай, 2012. – Ч. 1. – С. 286–290.

8. Рыспаев, К.С. Роторный диспергатор / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Материалы XI междунар. науч.-практ. конф. / под редакцией Гриценко Г.М. «Развитие регионального АПК в XXI веке: тенденции и перспективы». – Барнаул: ООО Пять плюсов, 2012. – С. 54–56.

9. Рыспаев, К.С. Повышение эффективности роторного диспергатора / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Материалы IX междунар. науч.-практ. конф. «Ключевые проблемы современной науки», г. София, Республика Болгария. «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013 г. – Том 35. Технологии. – С. 47–52.

10. Рыспаев, К.С. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров роторного диспергатора / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Материалы LII междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». Россия / Челябинская государственная агроинженерная академия. – Челябинск, 2013. – Ч. III. – С. 172–175.

11. Рыспаев, К.С. Роторный диспергатор / Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Рыспаев К.С. // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – Астана, 2013. – № 7 (I). – С. 5.

12. Рыспаев, К.С. Роторный эмульгатор / А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – Астана, 2013. – № 10 (I). – С. 9.

13. Рыспаев, К.С. Роторный эмульгатор-диспергатор / А.М. Наметов, А.К. Курманов, Т.И. Исинтаев, К.С. Рыспаев // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – Астана, 2013. – № 11 (I). – С. 9.

Авторские свидетельства на изобретения

1. Авторское свидетельство № 78533 «Роторный диспергатор» / Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Рыспаев К.С. // А4 (11) 27141, МПК В01F 7/28 (2006/01), В06В 1/16 (2006.01), заявка 2012/0719.1 от 18.06.2012г., дата публикации 15.07.2013 г., официальный бюллетень, 2013, № 7 (I).

2. Авторское свидетельство № 79570 «Роторный эмульгатор» / Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Рыспаев К.С. // А4 (11) 27439, МПК В01F 11/02 (2006.01), В01F 7/18 (2006.01), В06В1/16 (2006.01), А01J 11/06 (2006.01), А23L 1/035 (2006.01), заявка 2012/0840.1 от 18.07. 2012 г., дата публикации 15.09.2013 г., официальный бюллетень. 2013, № 10(I).

3. Авторское свидетельство № 80084 «Роторный эмульгатор-диспергатор» / Наметов А.М., Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Рыспаев К.С. // А4 (11) 27612, МПК В01F 7/00 (2006/01), В06В 1/16 (2006.01), А01J 11/06 (2006.01), А23L 1/035 (2006.01) – заявка 2013/0188.1 от 14.02.2013 г., дата публикации 15.11.2013г., официальный бюллетень. 2013, № 11 (I).

Рыспаев Куаныш Сабиржанович

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РОТОРНОГО ДИСПЕРГАТОРА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.04.2014.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0. Печать трафаретная.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Заказ № 7066. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Издательском центре ОГАУ.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18.

Тел.: (3532) 77-61-43