На правах рукописи

Свистунов Александр Иванович

РАЗРАБОТКА СМЕСИТЕЛЯ-ФЕРМЕНТАТОРА КОРМОВ ДЛЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Чебоксары – 2016

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор **Оболенский Николай Васильевич.**

Официальные оппоненты: **Зиганшин Булат Гусманович,** доктор технических наук, профессор, проректор по учебно-воспитательной работе Федерального государственного бюджетноого образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет»;

Солонщиков Павел Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического и энергетического оборудования ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия».

Ведущая организация – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства».

Защита состоится «___» _____ 2016 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д220.070.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия» по адресу: 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, ауд.222. Факс (8352) 62-23-34,
e-mail: info@academy21.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, сети интернет по адресу: www.academy21.ru в разделе «Диссертационные советы» от 31 августа 2016 года.

Автореферат разослан «___»_____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Алатырев С. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Главная задача, которая стоит перед отечественными сельхозпроизводителями - это стабильное обеспечение продовольственной безопасности страны. Важнейшей задачей при достижении этой цели является энергосбережение и повышение производительности труда, которые невозможны без применения современных достижений науки, внедрения передовых технологий и научно-обоснованных высокоэффективных комплексов машин и оборудования, как в растениеводстве, так и в животноводстве.

Доказано, что основная доля затрат при производстве продукции животноводства приходится на приготовление кормов. В то же время приготовление комбикормов в условиях фермерского хозяйства снижает себестоимость кормов, а также позволяет сбалансировать их по питательной ценности с учетом кормовой базы. Получить сбалансированный корм можно путем смешивания необходимых компонентов в смесительных машинах. Однако практически все смесители узко специализированы и предназначены для смешивания определенных материалов (сыпучих либо влажных), что ведет к дополнительным затратам в виде покупки фермерами дополнительного оборудования и затрат электроэнергии.

Некоторые сельхозпроизводители, стремясь снизить затраты на производство продукции, переходят на корма с высоким содержанием легко усваиваемого белка, которые получают из малоценного широко распространенного материала путем его синтеза. Однако на сегодняшний день отсутствуют специальные машины с научно обоснованными конструкционными параметрами для получения такого корма. Поэтому создание универсального смесителя, предназначенного для смешивания непосредственно в фермерских хозяйствах как традиционных сухих сыпучих и влажных рассыпных, так и получения современных синтезированных кормов, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Современные типы смесителей для сыпучих кормов сформировались в результате эмпирического отбора.

Исследованию измельчителей-смесителей и смешиванию кормов посвящены работы авторов: Алешкина В. Р., Боярского Л. Г., Влазнева А. И., Голикова В. А., Григорьева А. М., Дёмина О. В, Калашникова А. П., Королева Л. В., Кукта Г. М., Лапшина А. А., Макарова Ю. И., Оболенского Н. В., Петрова С. С., Савиных П. А,, Скоркина В. К., Сысуева В. А. Уланова И. А., Федоренко И. Я, Цой Ю. А., которые дали ценные рекомендации по улучшению их технологических и других параметров.

Из указанных работ и публикаций перечисленных авторов следует, что, решение задачи производства полноценных кормовых смесей особенно в небольших фермерских хозяйствах в целом требует комплексного подхода к оценке состояния с целью разработки решения по его дальнейшему устойчивому развитию и совершенствованию.

Цель работы. Разработка и исследование смесителя-ферментатора кормов для фермерских хозяйств с научно обоснованными конструкционными параметрами его смешивающего и нагревательного узлов (в дальнейшем тесте смесителя).

В связи с поставленной целью в настоящей работе решались следующие ***научно-практические задачи:***

- разработать конструкционное решение смесителя-ферментатора сухих и влажных кормов для фермерских хозяйств;
- провести теоретическое исследование влияния конструкционных параметров смесителя-ферментатора на мощность привода;
- теоретически исследовать влияние системы нагрева кормовой смеси на энергоёмкость смесителя;
- провести экспериментальные исследования смешивающего узла и системы нагрева кормовой смеси;
- разработать рекомендации по использованию смесителя;
- испытать смеситель-ферментатор в производственных условиях.

Объекты исследований: смешивающий узел и система нагрева кормовой смеси смесителя.

Предмет исследования: влияние конструкционных параметров и укладки нагревательного элемента кормовой смеси на энергоёмкость смесителя.

Методология исследований. На основе теории размерности и подобия, системного подхода к комплексу теоретических и экспериментальных результатов, полученных при помощи классических математических, физических, статистических методов, а также экспериментальных исследований в лабораторных условиях, проведённых в соответствии с действующими стандартами и разработанными частными методиками.

Информационной базой исследования явились: Нормативно-законодательные документы; данные, опубликованные в работах вышеназванных исследователей; аналитические материалы научно-исследовательских организаций России и других стран; информация, размещенная на официальных сайтах Министерства сельского хозяйства РФ; научно-образовательных организаций, занимающихся проблемами развития сельского хозяйства.

Научная новизна:

- разработан смеситель для использования в фермерских хозяйствах. Новизна смесителя подтверждена патентом РФ № 2567315 на изобретение с названием «Смеситель-ферментатор»;
- получены аналитическое выражение (1) и математическая модель (2), позволяющие рассчитывать затраты энергии на привод смешивающего узла и выявлять наиболее значимые факторы, влияющие на его потребляемую мощность;
- получены модели (9) и (10) на основе регрессионного анализа для оценки изменения качества корма и удельных энергозатрат при смешивании сухих сыпучих кормов, а также модели (11) и (12) для оценки изменения качества корма и удельных энергозатрат при смешивании влажных рассыпных кормов;
- получены графические зависимости влияния угла конуса геликоида шнеков и частоты вращения на коэффициент неоднородности смеси (рис. 11); влияния частоты вращения смешивающего узла на удельные энергозатраты при использовании шнеков с углом конуса геликоида 50 ° (рис. 12); изменения коэффициента неоднородности смеси при использовании шнеков с углом конуса геликоида 50 ° в зависимости от частоты вращения и времени смешивания (рис. 13) при смешивании сухих сыпучих кормов;
- получены графические зависимости: влияния времени смешивания и частоты вращения на коэффициент неоднородности при длине лопаток L = 40 мм (рис. 15); влияния частоты вращения и длины лопаток на качество смешивания (рис. 16) и удельные энергозатраты (рис. 17); при смешивании влажных рассыпных кормов:
- выведена формула (3) расчета температуры кормовой смеси; построены сравнительные графики изменения температуры питательной среды при нагреве в зависимости от угла обхвата ёмкости тепловой лентой и степени заполнения емкости (рис. 19), а также графические зависимости средних удельных энергозатрат при нагреве питательной среды в смесителе (рис. 20).

Теоретическая и практическая значимость работы;

- разработано техническое решение производства кормовых смесей непосредственно в фермерских хозяйствах, а также в сельскохозяйственном производстве - на животноводческих комплексах и фермах, способствующее обеспечению продовольственной безопасности страны и повышению конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутреннем и внешнем рынках;
- разработанный смеситель имеет совокупные затраты энергии на 7 % меньше в сравнении с базовым вариантом, а ожидаемый ежегодный экономический эффект от его использования в фермерском хозяйстве составляет 117475 руб. в ценах 2016 г.

Реализация результатов исследований:

- экспериментальный образец смесителя внедрен в ЗАО «Покровская слобода» Нижегородской области;

- результаты исследований включены в монографию [11], используемую в качестве учебного пособия для обучения магистрантов, аспирантов и соискателей ученых степеней в Нижегородском государственном инженерно-экономическом университете.

Степень достоверности подтверждена использованием: потенциала Центра энергоаудита с лабораторией энергетических обследований, организованных в Нижегородском государственном инженерно-экономическом университете; сертифицированных Госстандартом РФ поверяемых в установленном порядке средств измерения, а также результатами экспериментальных и производственных исследований основных рабочих узлов смесителя и положительным результатом практического внедрения.

Положения, выносимые на защиту:

- конструкционное решение смесителя;
- результаты теоретических исследований влияния конструкционных параметров смешивающего узла на мощность, потребляемую его электродвигателем;
- результаты теоретических исследований влияния системы нагрева и поддержания температуры кормовой смеси на энергоёмкость смесителя;
- результаты экспериментальных исследований смешивающего узла и системы нагрева кормовой смеси;
- предложения по использованию смесителя;
- результаты испытаний смесителя в фермерском хозяйстве.

Апробация. Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались, на международных, всероссийских и российских научно-практических и практических конференциях: «Философские проблемы, экономических, технических и педагогических учений» в Нижегородском ГИЭИ (г. Княгинино, 2013 г.), V и VI Научно-практических конференциях студентов, аспирантов, ученых «Основные направления развития техники и технологии в АПК, легкой и пищевой промышленности» (Княгинино, 2013 и 2014 гг.), XVI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства.Мосоловские чтения» (Йошкар-Ола, 2014), «World & Science» («Světavěda» «Мир и наука» (г. Брно, 2014 г.): «Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы»; «Тенденции и перспективы развития науки в XXI веке» и «Современный взгляд на будущее науки» в РИОМЦИИ:«ОМЕГА-САЙНС» (г. Уфа, г. Екатеринбург, г. Челябинск 2015 г.); «Современное общество, образование и наука» в ООО «Консалтинговая компания Юком» (г. Тамбов, 2015 г.); XVIII Международной научно-практической конференции «Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года» (Москва, 2015 г), «Проблемы и перспективы развития экономики сельского хозяйства» в Нижегородском ГИЭУ (Княгинино, 2016 г.): «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» в ФГБНУ ВИЭСХ (Москва, 2016 г.).

Публикации. Основные материалы диссертации отражены в 25 печатных работах, в том числе: 8 работ опубликовано в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Федерального агентства по образованию РФ, 1 монография и 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Объем диссертации составляет 186 страниц. Работа содержит 7 таблиц, 69 рисунков и 12 приложений. Список литературы включает 131 источник, в том числе 4 на иностранном языке.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Н. В. Оболенскому, кандидатам технических наук А. Г. Панасенко и С. Ю. Булатову, а также сотрудникам Нижегородского государственного инженерно-экономического университета за помощь и поддержку в процессе выполнения работы.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследований, определены объект и предмет исследования, показаны научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел «Состояние проблемы, цель и задачи научных исследований» содержит: постановку и обоснование задачи; обзор смесителей кормов периодического действия; обзор исследований процессов смешивания кормов и выводы, обусловившие цели и задачи исследований.

Выводы в первом разделе.

1. В нашей стране и за рубежом существует большое количество технологических схем и оборудования для выполнения процесса смешивания. Основной причиной, сдерживающей дальнейшее повышение уровня механизации приготовления кормов, является высокая энергоемкость процесса смешивания, узкая направленность некоторых смешивающих машин, т. е. предназначенность смесителей для смешивания материалов с определенными свойствами (сыпучих, влажных, вязких). Многие смесители, предназначенные для смешивания разных материалов, требуют предварительной настройки рабочих узлов.

2.В связи с производством в хозяйствах собственного корма возросло внимание к универсальным смесителям, позволяющим получать не только традиционные сухие и влажные корма, но и современные, с высоким содержанием белка. Имеющиеся на сегодняшний день различные по конструкции смесители с различными рабочими узлами позволяют получать в лучшем случае одновременно сухие и влажные, однако не способны приготовить ферментированные корма.

3. Дальнейшее развитие средств механизации смешивания кормов должно идти, в первую очередь, в направлении разработки и использования универсальных и надежных смесительных машин, способных готовить корма независимо от их вида и состояния. Для смешивания материалов с разными характеристиками можно использовать смесители с комбинированными смешивающими узлами.

4.Теоретические разработки в области смешивания слабы, отсутствуютматематические модели, описывающие изучаемый процесс, а эффективность машин при проведении эксперимента оценивается только одним критерием – однородностью смеси. То есть полученные экспериментальные данные не в полной мере отражают закономерности протекания процесса при работе смесителя и не могут быть эффективно использованы для совершенствования технологического процесса и конструкций рабочих узлов машин.

В связи с выводами и основываясь на результатах обзора конструкционных решений смесителей кормов, патентного поиска, проведенного анализа существующих научных работ, поставлены задачи исследований, изложенные во введении.

Второй раздел «Теоретические исследования» содержит: исследование влияния конструкционных параметров смешивающего узла на мощность, потребляемую его электродвигателем,а также исследование энергоёмкости нагрева кормовой смеси.

К конструкционным параметрам смесителяотносятся: частота вращения смешивающего узла, уровень заполнения бункера смесителя, геометрические размеры смесителя и его рабочего узла.

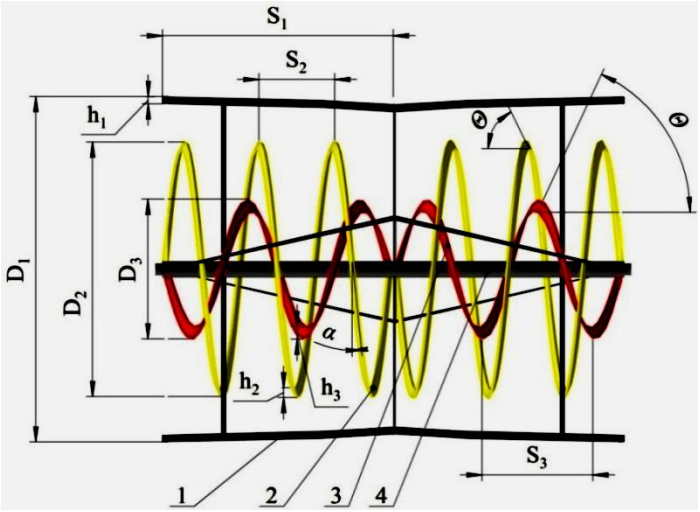

Рисунок 1 – Схема смешивающего узла смесителя:
1 - внешний шнек; 2 - средний шнек;
3 - внутренний шнек; 4 – вал

Наибольший интерес представляет влияние конструкционных параметров смешивающего узла на потребляемую электродвигателем мощность.

Смешивающий узел смесителя (рис.1) состоит из вала 4, на котором смонтированы внешний 1, средний 2 и внутренний 3 шнеки. Витки внешнего шнека смешивающего узла выполнены с шагом S_1, равным половине длины бункера смесителя, диаметр внешнего шнека равен D_1. Средний и внутренний шнеки диаметрами D_2 и D_3 имеют шаги S_2 и S_3, соответственно.

Отличительной особенностью разрабатываемого смесителя является то, что витки спирали выполнены в виде геликоида, а не коноида, как у всех выпускаемых промышленностью. Бла-

годаря такому решению резко снижается потребляемая электродвигателем энергия, а также, как показал Э. Бернхардт, увеличиваются деформации сдвига и растяжения в требуемом направлении.

В результате теоретических исследований влияния конструкционных параметров получено аналитическое выражение (1), позволившее рассчитать затраты энергии на привод смешивающего узла, состоящего из нескольких шнеков:

$$W_o = \frac{\left(\frac{Qv^2}{270g} + \frac{F_k \cdot v}{750} + \frac{P_0' \cdot D_0 \cdot (\omega - \omega_2)}{1500} + \frac{P_0'' \cdot D \cdot (\omega - \omega_2)}{1500}\right) \cdot k_o}{\eta_n}. \quad (1)$$

По выражению (1) рассчитана мощность на привод смешивающего узла прототипа - 11,3 кВт и предлагаемого смесителя - 9,1 кВт, что на 24 % ниже, чем у прототипа.

Для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на потребляемую мощность электродвигателя смешивающего узла, построена математическая модель:

$$\begin{aligned} y = {} & 11{,}91 + 1{,}03 \cdot x_1 + 0{,}19x_2 - 0{,}006 \cdot x_3 + 0{,}09 \cdot x_4 + 0{,}05 \cdot x_5 + 0{,}17 \cdot x_6 + \\ & + 0{,}001 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}0001 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0{,}032 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0{,}015 \cdot x_1 \cdot x_5 - 0{,}008 \cdot x_1 \cdot x_6 - \\ & - 0{,}001 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0{,}0003 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0{,}025 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0{,}004 \cdot x_2 \cdot x_6 + 0{,}0003 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\ & - 0{,}0003 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0{,}001 \cdot x_3 \cdot x_6 - 0{,}0003 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0{,}003 \cdot x_4 \cdot x_6 - 0{,}001 \cdot x_5 \cdot x_6, \end{aligned} \quad (2)$$

где x_1- диаметр внутреннего шнека D_3; x_2- диаметр среднего шнека D_2; x_3 - высота витков внутреннего шнека h_3; x_4- шаг витков внутреннего шнека S_3; x_5- шаг витков внешнего шнека S_2; x_6- угол конуса геликоида шнека Θ.

Анализ уравнения (2) показывает, что наибольшее влияние на потребляемую мощность оказывает фактор x_1 (диаметр внутреннего шнека) наименьшее -x_3 (высота витков внутреннего шнека). Незначимыми эффектами являются: x_1x_2, x_1x_3, x_1x_5, x_2x_4, x_3x_4, x_3x_5, x_3x_6, x_4x_5, x_5x_6. В результате анализа модель признана адекватной. Степень достоверности аппроксимации модели R^2 составила 99,99 %.

Не меньший интерес представляет энергоёмкость нагрева питательной смеси. Разрабатываемый смеситель предназначен для смешивания сухих сыпучих, влажных рассыпных и приготовления ферментированных кормов. Особенностью приготовления ферментированных кормов является процесс поддержания заданной температуры питательной смеси T_2 (рис. 2).

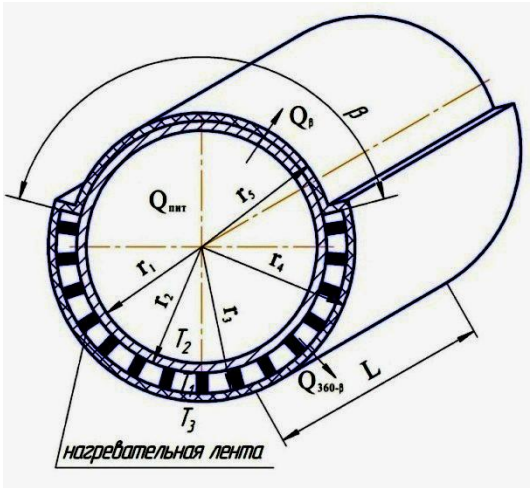

Рисунок 2 – Схема к определению энергоёмкости и нагрева кормовой смеси

С целью снижения энергозатрат на поддержание оптимальной температуры T_2питательной среды определим влияние на нее конструкционных параметров смесителя. Для этого рассмотрим конструкцию машины. Смеситель представляет из себя цилиндр с толщиной стенки $\delta_{ст} = r_2 - r_1$, который покрыт нагревательной лентой, слоем изоляции толщиной $\delta_{из} = r_4 - r_3 = r_5 - r_2$. Угол обхвата цилиндра лентой составляет $(360 - \beta)^o$(рис. 2). Длина цилиндра равна L.

В результате теоретических исследований системы нагрева корма выведена формула расчета необходимой (поддерживаемой) температуры кормовой смеси:

$$T_2 = \left(\left(\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right) \frac{(360-\beta)\pi L}{180m_{n.c.}c_{n.c.}} \right) \cdot T_{2нач} + \right.$$

$$+ \left(\frac{k_2k_1}{(k_1+k_2)} \cdot \frac{360-\beta}{180} + k_3 \cdot \frac{\beta}{180} + \frac{k_4 \cdot r_1^2}{L} \right) \frac{\pi L}{m_{n.c.}c_{n.c.}} T_3 +$$

$$\left. + \left(\frac{Pk_2}{(k_1+k_2)} \right) \frac{1}{m_{n.c.} \cdot c_{n.c.}} \right) . e^{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right) \frac{(360-\beta)\pi L}{180m_{n.c.}c_{n.c.}} \tau} -$$

$$- \frac{\left(\frac{k_2k_1}{(k_1+k_2)} \cdot \frac{360-\beta}{180} + k_3 \cdot \frac{\beta}{180} + \frac{k_4 \cdot r_1^2}{L} \right)}{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right)} \cdot \frac{180}{(360-\beta)} T_3 + \tag{3}$$

$$+ \frac{\frac{Pk_2}{(k_1+k_2)}}{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right)} \frac{180}{(360-\beta)\pi L}.$$

где P– мощность нагревательного элемента, Вт; k_1, k_2, k_3– коэффициенты теплопередачи, Вт/(м^2·К); T_3 – температура окружающего воздуха, К; T_1 – температура тепловой ленты; $T_{2нач}$–начальная температура питательной среды (корма), К; $m_{n.c.}$– масса корма, кг; $c_{n.c.}$– теплоемкость корма, Дж/(кг·К); r_1 - радиус внутренней стенки бункера смесителя, м; L- длина бункера смесителя, м.

По формуле (3) рассчитаны температура корма в зависимости от времени нагрева и построены графики теоретических зависимостей изменения температуры кормовой смеси от времени её нагрева, массы и угла обхвата бункера нагревательной лентой.

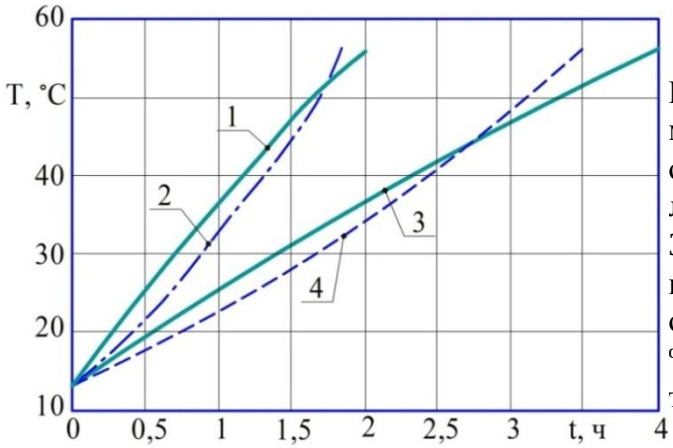

Рисунок 3 – Теоретические зависимости изменения температуры корма в зависимости от времени при нагреве: 1 – 25 кг корма с углом обхвата ёмкости нагревательной лентой 360º; 2 – 25 кг с углом обхвата ёмкости нагревательной лентой 90 º; 3 – 50 кг с углом обхвата ёмкости нагревательной лентой 360 º; 4 – 50 кг с углом обхвата ёмкости нагревательной лентой 90 º

Эффективность нагрева оценивали удельными энергозатратами:

$$w_{уд} = \frac{3600 \cdot P \cdot \Delta t}{m \cdot (T_к - T_н)}, \tag{4}$$

где $w_{уд}$ – удельные затраты энергии, кДж/(кг·К); P – мощность, потребленная нагревательной лентой за время нагрева корма от начальной $T_н$ до конечной $T_к$ температуры, Вт; Δt – время нагрева, ч; m – масса корма, кг; $T_к$, $T_н$ – конечная и начальная температуры корма, К.

По выражению (4) определены удельные энергозатраты и построены графики (рис. 4) теоретических зависимостей изменения удельных энергозатрат от массы кормовой смеси и угла обхвата тепловой лентой. Выявлено, что максимальные энергозатраты происходят в начале нагрева. С течением времени они снижаются. Наиболее интенсивное снижение энергозатрат наблюдается при нагреве 25 кг кормовой смеси в бункере с углом 90 °.

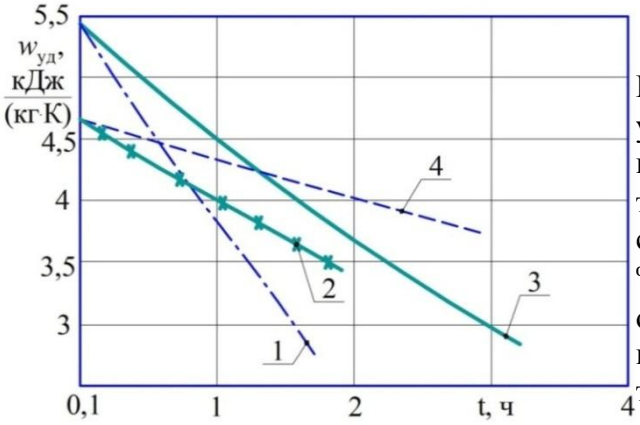

Рисунок 4 -Изменение теоретических удельных энергозатрат при нагреве: 1 – 25 кг питательной среды с углом обхвата тепловой лентой 90 °; 2 – 25 кг питательной среды с углом обхвата тепловой лентой 360 °; 3 – 50 кг питательной среды с углом обхвата тепловой лентой 90 °; 4 – 50 кг питательной среды с углом обхвата тепловой лентой 360 °

В третьем разделе «Программа, средства и методика экспериментальных исследований» изложена программа исследований, представлены приборы и измерительная аппаратура. Приводится описание экспериментальной установки.

Для исследования смешивания сыпучих и влажных компонентов кормов изготовлен макет смесителя (лабораторная установка) (рис. 5).

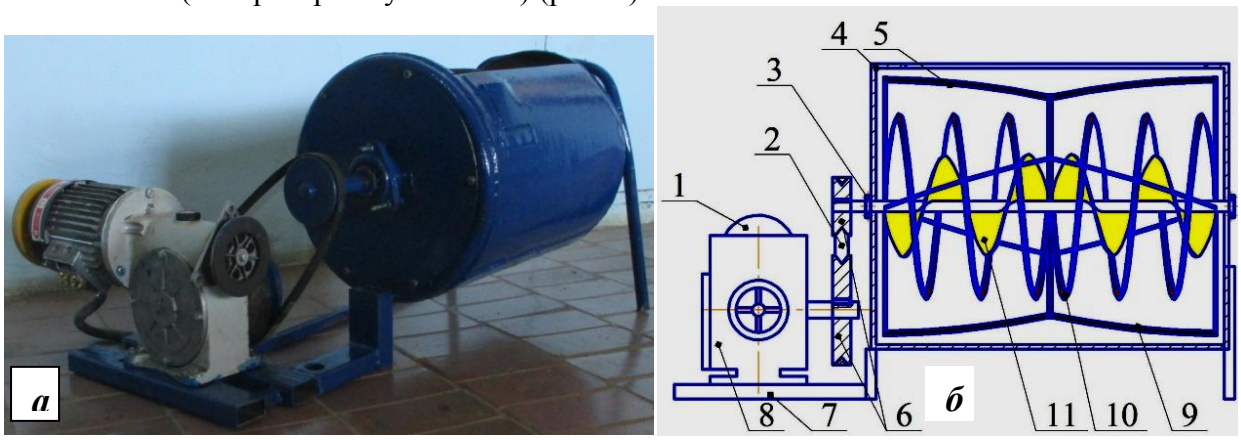

Рисунок 5 - Действующий макет смесителя: ***а*** - общий вид; ***б*** - схема; 1 - электродвигатель; 2 - ременная передача; 3 - подшипник; 4 - корпус; 5 - смешивающий узел; 7 - рама; 8 - редуктор; 9 - скребки; 10, 11 - внешний и внутренний шнеки

Для изучения влияния конструкционных параметров смешивающий узел изготавливался с разными шагами, углами и высотами витков внешнего и внутреннего шнеков (рис.6).

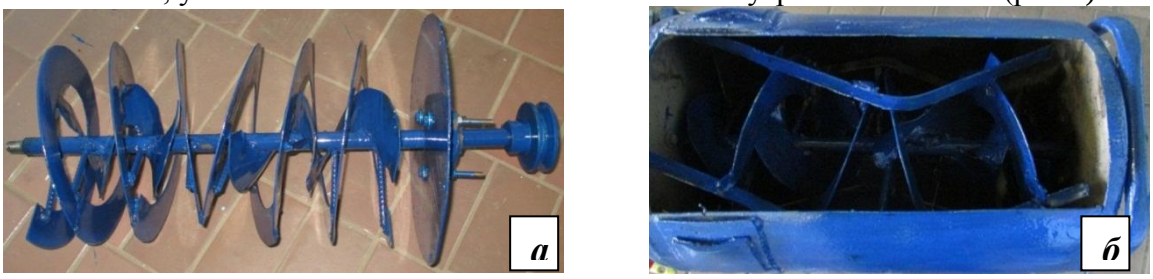

Рисунок 6 - Смешивающие узлы с различными шагами внешнего и внутреннего шнеков: ***а*** - S_2 = 80 мм; S_3 = 120 мм; ***б*** - S_2 = S_3 = 120 мм

Для исследования системы нагрева кормовых смесей изготовлены эмитаторы бункера смесителя и его макет (рис.7).

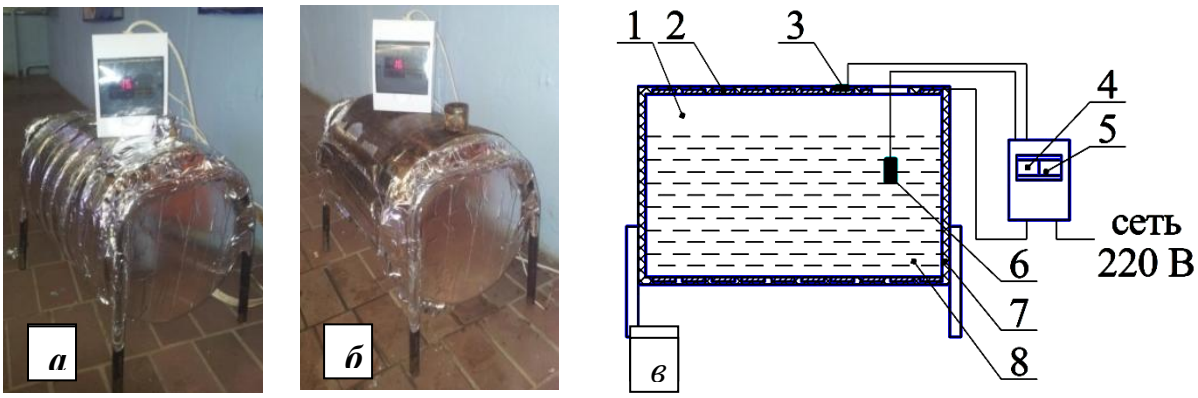

Рисунок 7 - Бункеры смесителя: *а* – с углом обхвата тепловой лентой 360 º; *б* – с углом обхвата 90 º; *в*– схема бункера

Бункер (его макеты) представлял собой ёмкость 1 цилиндрической формы, на наружную поверхность которой уложена нагревательная лента 2 ЭНГЛ-1 (180). Поверх нагревательного элемента нанесен слой теплоизоляции 7, способствующий снижению тепловых потерь в окружающую среду и тем самым наиболее интенсивному нагреву компонентов смеси 8, находящейся в емкости 1. Температуры ленты ЭНГЛ-1 (180) и кормовой смеси контролируются датчиками 3 (TST84) и 6 (TST81) соответственно, данные которых передаются терморегулятору 5 (TL-11-250). Учет потребляемой электроэнергии осуществляется с помощью прибора 4.

Для проведения экспериментов в производственных условиях с учетом результатов, полученных в лабораторных условиях, создан опытный образец смесителя (рис. 8) емкостью 3м^3.

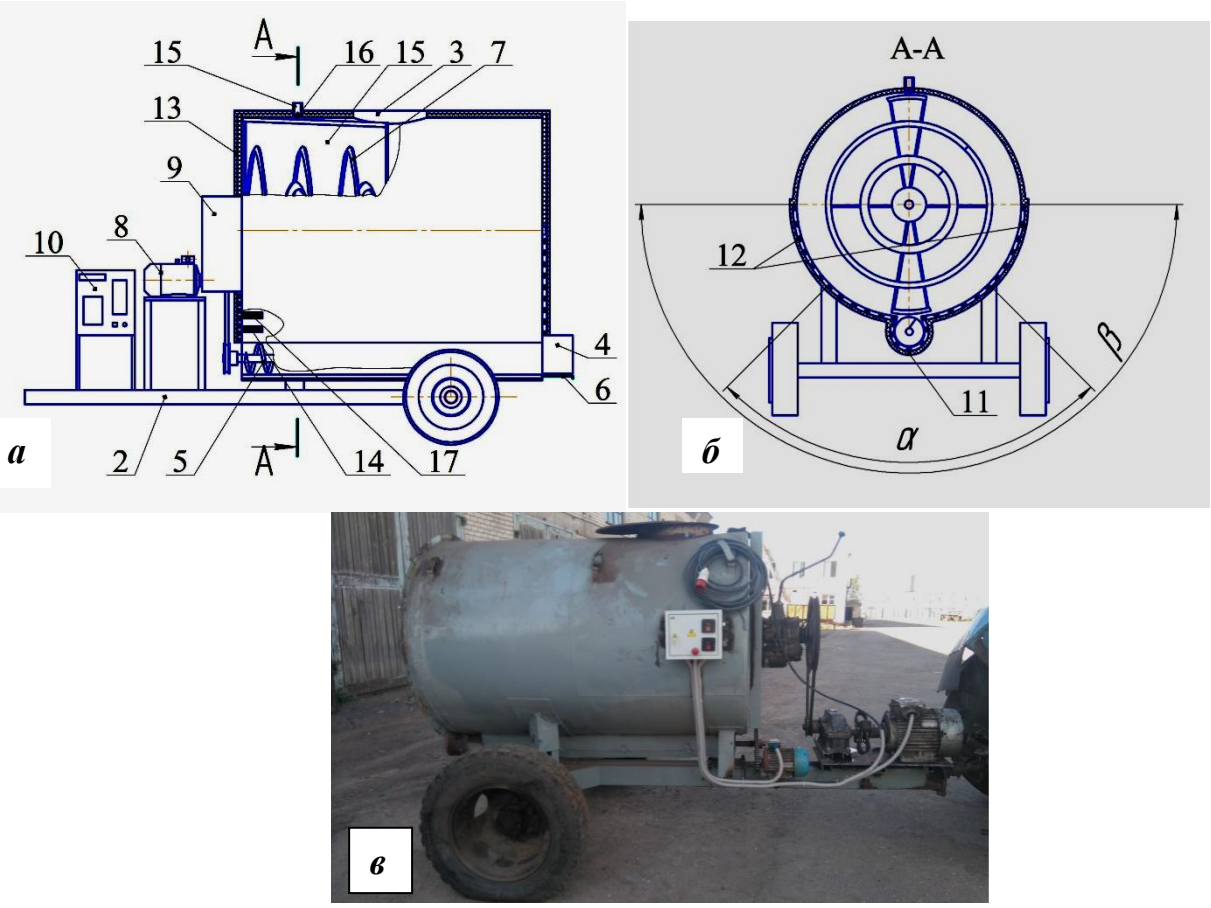

Рисунок 8 – Экспериментальный образец смесителя: ***а, б*** - схема; ***в*** - фото

При приготовлении сыпучих и влажных кормов смеситель работает следующим образом. На пульте управления 10 устанавливают переключатели в режим смешивания, задавая при этом необходимую частоту вращения вала смешивающего узла (зависит от смешиваемых компонентов: сыпучие или влажные). Через загрузочное окно 3 загружают компоненты, которые необходимо смешать и включают смеситель. Через определенное время смешивания, при котором достигается необходимое качество смеси, открывают заслонку 6, включают выгрузной шнек 5, и производят выгрузку кормовой смеси через выгрузной патрубок 4.

Исследования проводились с помощью стационарных и портативных приборов и оборудования Центра энергоаудита, с лабораторией энергетических обследований, организованного при ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Четвёртый раздел «Экспериментальные исследования» содержит результаты: исследования и оптимизации макета смесителя для смешивания сыпучих и влажных кормов; исследование системы нагрева и поддержания температуры смешиваемых кормов; производственных испытаний экспериментального образца смесителя.

В результате однофакторных экспериментов по исследованию влияния конструкционных параметров на рабочие показатели макета смесителя построены графики (рис.9) влияния частоты вращения смешивающего узла (n) и времени смешивания t на коэффициент неоднородности.

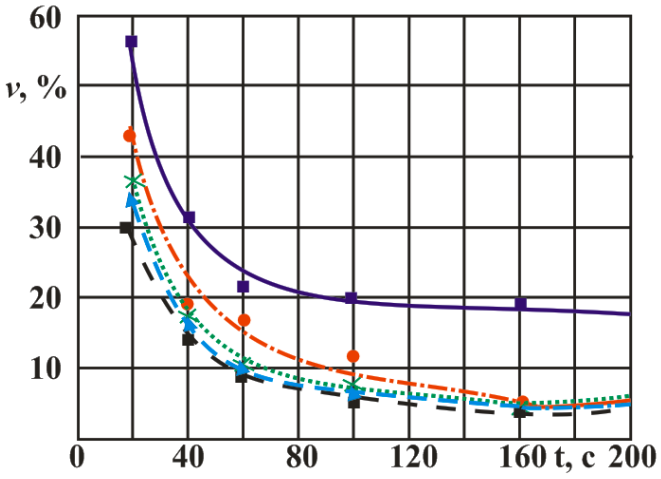

Рисунок 9 – Влияние n и t на качество смешивания:
-n = 30 мин$^{-1}$;
-n = 35 мин$^{-1}$;
-n = 40 мин$^{-1}$;
-n = 45 мин$^{-1}$;
-n = 50 мин$^{-1}$

С увеличением частоты вращения смешивающего органа, время смешивания уменьшается. Причем наибольшее влияние оказывает частота вращения в пределах от 30 до 40 мин$^{-1}$ на интервале 40…100 с. Через 40 с после начала процесса смешивания коэффициент неоднородности смеси при n = 40…50 мин$^{-1}$ достигал допустимых зоотехническими требованиями норм ν = 15 %, а при увеличении длительности смешивания в течение еще 100 с он составлял около 5 % и в дальнейшем изменялся с незначительными колебаниями. При частоте вращения вала смесителя, равной 30 мин$^{-1}$, необходимое качество смеси не обеспечивается даже в течение 7 минут работы. С увеличением частоты вращения приводного вала смесителя с 40 до 50 мин$^{-1}$ коэффициент вариации изменяется незначительно. В связи с этим построены зависимости, характеризующие изменение удельных энергозатрат от частоты вращения в момент времени, при котором коэффициент неоднородности смеси составлял 5 и 15 % (рис. 10).

Наименьшая энергоемкость наблюдалась при n = 35 мин$^{-1}$(для ν = 5 %) и n = 40 мин$^{-1}$ (для ν = 15 %), а с увеличением частоты вращения отмечался их рост, что связано с увеличением сопротивления смешивающего материала.

Построены графики, характеризующие влияние угла θ конуса косого геликоида шнеков и частоты вращения вала (при n = 35, 40, 45 мин$^{-1}$) на коэффициент неоднородности (рис.11) при

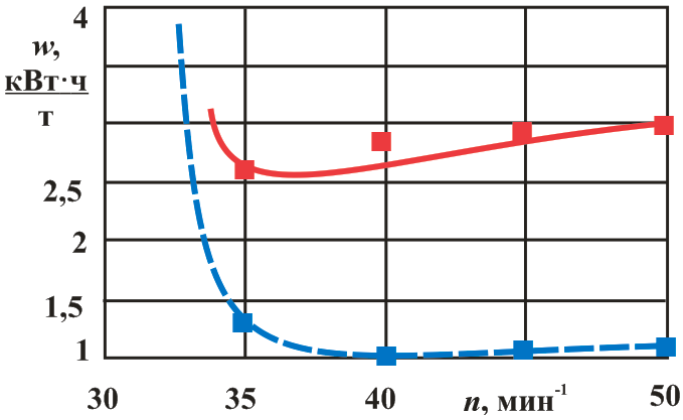

Рисунок 10 – Влияние n на удельную энергоемкость:
– ν = 5 %;
– ν = 10 %

времени смешивания 100 с (в выбранный период времени коэффициент неоднородности соответствовал зоотехническимтребованниям при $\theta = 90$ ° на всех исследуемых частотах вращения смешивающего узла).

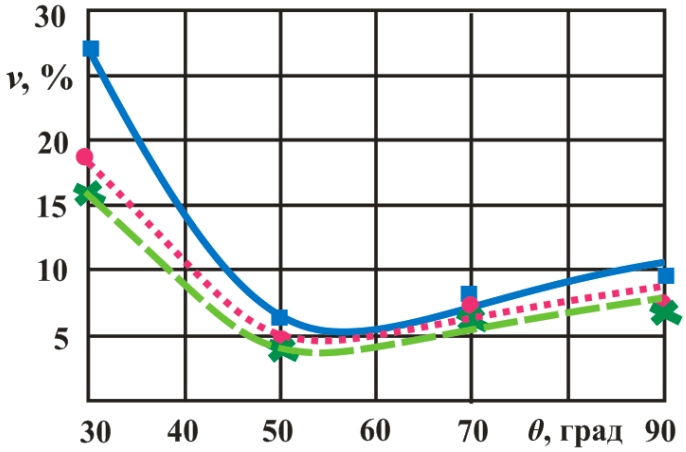

Рисунок 11 – Влияние угла конуса геликоида шнеков и частоты вращения на коэффициент неоднородности смеси:
-n = 35 мин$^{-1}$;
-n = 40 мин$^{-1}$;
-n = 45 мин$^{-1}$

Выявлено, что наилучшие результаты достигаются при смешивании шнеками с углом $\theta = 50$ °. Для сравнения энергоэффективности построены сравнительные графики для этого случая при различных частотах вращения (рис.12). Удельные энергозатраты достигают наименьшего значения при n = 35 мин$^{-1}$для ν = 15 % и n = 45 мин$^{-1}$ для ν = 5 % и составляют соответственно 0,46 и 1,2 кВт · ч/т.

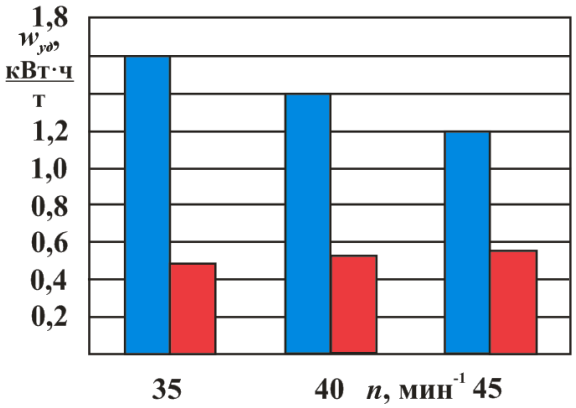

Рисунок 12 - Влияние частоты вращения смешивающего органа на удельные энергозатраты при использовании шнеков с углом конуса геликоида 50 °:
– ν = 5 %; – ν = 15 %

Для исследования влияния времени смешивания на качество смеси проведены опыты со шнеками с углом конуса косого геликоида 50° при n = 35, 40, 45 мин$^{-1}$. Наименьшее время смешивания, при котором ν составляет 5 %, наблюдается при n = 45 мин$^{-1}$ и составляет 80 с (рис. 13). При n, равном 40и 35 мин$^{-1}$, время смешивания равно соответственно 100 и 130 с.

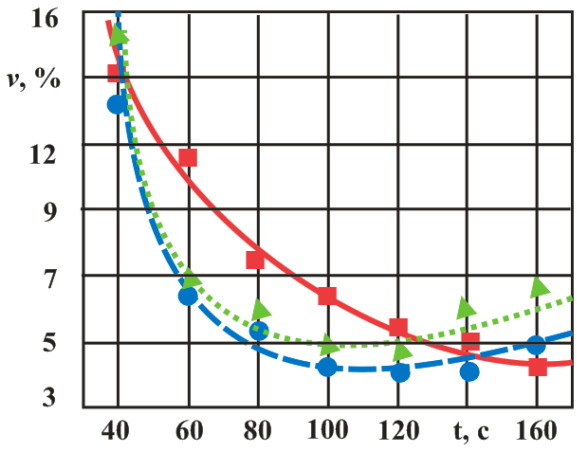

Рисунок 13 - Изменение коэффициента неоднородности смеси при использовании шнеков с углом конуса геликоида 50 ° в зависимости от частоты вращения и времени смешивания

По предварительным исследованиям установлены пределы варьирования частоты вращения смешивающего органа, угла конуса косого геликоида шнеков, времени смешивания. Поэтому оптимизационные эксперименты проводили при следующих значениях этих параметров: n = 45 мин$^{-1}$; θ = 50 °. Качество работы смесителя оценивали коэффициентом неоднородности ν (y_1) смеси и удельными энергозатратами $w_{уд}$ (y_2). Для выявления степени значимости каждого из исследуемых факторов и исключения незначимых была реализована полуреплика полного факторного эксперимента первого порядка для 5 факторов. Получены модели регрессии для y_1 и y_2:

$$y_1 = 7{,}43 - 0{,}55 \cdot x_1 - 0{,}1 \cdot x_2 + 0{,}57 \cdot x_3 - 0{,}83 \cdot x_4 - 1{,}38 \cdot x_5 - \\ - 0{,}03 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}04 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0{,}01 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0{,}1 \cdot x_1 \cdot x_5 - \\ - 0{,}01 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}01 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0{,}2 \cdot x_2 \cdot x_5 - 0{,}02 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\ - 0{,}32 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0{,}08 \cdot x_4 \cdot x_5; \quad (7)$$

$$y_2 = 1{,}21 + 0{,}14 \cdot x_1 - 0{,}02 \cdot x_2 - 0{,}31 \cdot x_3 - 0{,}24 \cdot x_4 + 0{,}39 \cdot x_5 - \\ - 0{,}04 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}03 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0{,}1 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0{,}003 \cdot x_1 \cdot x_5 - \\ - 0{,}05 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0{,}06 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0{,}02 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0{,}009 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\ - 0{,}06 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0{,}03 \cdot x_4 \cdot x_5, \quad (8)$$

где x_1- высота витков среднего шнека h_2; x_2-высота витков внутреннего шнека h_3;x_3 -шаг витков среднего шнека S_2; x_4 -шаг витков внутреннего шнекаS$_3$; x_4- время смешивания.

Выявлено, что высота витков внутреннего (фактор x_1) и внешнего (фактор x_2) шнеков не оказывает существенного влияния на критерии работы смесителя, а в случае удельных энергозатрат является незначимым фактором и может быть зафиксирована на максимальных значениях - 75 и 50 мм соответственно.

Для оптимизации факторов x_3, x_4, x_5 был реализован эксперимент второго порядка для трех факторов. После реализации опытов и обработки полученных результатов построены модели регрессии:

$$y_1 = 4{,}7 + 0{,}52 \cdot x_3 + 1{,}28 \cdot x_4 - 0{,}82 \cdot x_5 - 0{,}93 \cdot x_3^2 + 3{,}89 \cdot x_4^2 + \\ + 2{,}21 \cdot x_5^2 \quad (9)$$

$$y_2 = 1 - 0{,}34 \cdot x_3 - 0{,}34 \cdot x_4 + 0{,}4 \cdot x_5 + 0{,}29 \cdot x_3^2 + 0{,}25 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\ - 0{,}31 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0{,}19 \cdot x_4^2 - 0{,}29 \cdot x_4 \cdot x_5. \quad (10)$$

В результате анализа обе модели признаны адекватными. Степень достоверности аппроксимации моделей (9) и (10) R^2 составила соответственно 99,47 и 99,70 %.

Методом наложения двумерных сечений поверхностей откликов произвели оптимизацию исследуемых параметров (рис. 14). Решение компромиссной задачи сводилось к получению удовлетворяющим зоотехническим требованиям качеством готовой смеси с минимальными энергозатратами, приходящимися на 1 т готового корма.

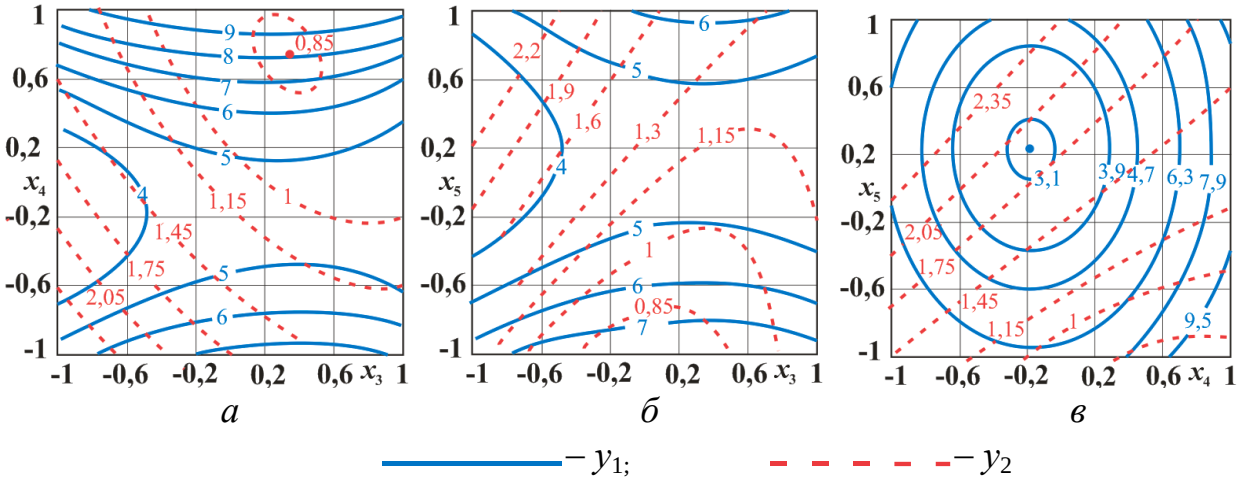

Рисунок 14– Двумерные сечения поверхностей откликов, характеризующие влияние на критерии оптимизации: *а* – шагов витков S_2 внешнего и S_3 внутреннего шнеков; *б* – шага витков S_2 внешнего шнека и времени смешивания t; *в* – шага витков S_3 внутреннего шнека и времени смешивания t

В результате выявлены оптимальные значения исследуемых параметров: n = 45 мин$^{-1}$; θ = =50 °; h_2 = 50 мм; h_3 = 75 мм; S_2 = 105 мм; S_3 =135мм; t = 84…108 с.

Вторым этапом исследований являлось изучение смешивания влажных кормов. Для этого проведены эксперименты при найденных оптимальных значениях параметров смешивающего органа, при которых однородность смеси сыпучих материалов достигает значения не менее 95 %. Результаты эксперимента показали, что при данных конструкционно-технологических параметрах влажный корм не смешивается, а под действием центробежных сил движется по периферии. В связи с этим было принято решение внешние скребки с шагом S_1 = 0,5 L заменить лопатками.

Выявлено, что с уменьшением длины лопаток коэффициент неоднородности уменьшается. Это связано с улучшением условий смешивания. Наилучшее качество смешивания наблюдается при L = 40 мм на всех режимах работы.

Неоднозначно влияние на качество смешивания частоты вращения вала. Коэффициент неоднородности *v* = 15 % через 80…95 с после начала смешивания на всех режимах работы (рис.15). Но при n = 25 мин$^{-1}$ *v*= 15 % лишь через 180 с, в то время как на остальных режимах этот показатель достигается за 110…120 с. Поэтому из дальнейших исследований изучение влияния частоты вращения вала при n = 25 мин$^{-1}$ было исключено.

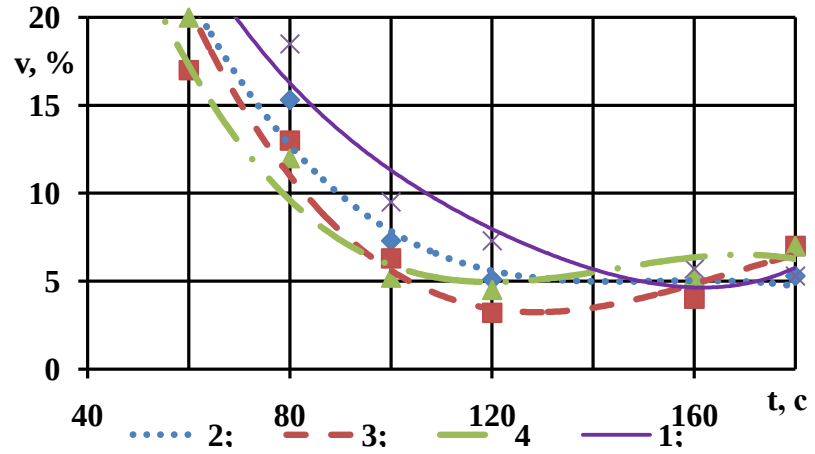

Рисунок 15 – Влияние времени смешивания и частоты вращения на коэффициент неоднородности при L = 40 мм:
1 – n = 25 мин$^{-1}$;
2 – n = 30 мин$^{-1}$;
3 – n = 35 мин$^{-1}$;
4 – n = 40 мин$^{-1}$

В интервале времени от 80 до 160 с качество смеси соответствует зоотехническим требованиям. С увеличением времени смешивания свыше 160 с наступает процесс сегрегации. Таким образом, время смешивания влажных кормов, при котором качество смеси соответствует зоотехническим требованиям, должно составлять 80…160 с.

Построены графики влияния частоты вращения и длины лопаток на качество смешивания (рис. 16). Удовлетворительное качество смешивания, при котором *v* не превышает 15%, достигается при длине лопаток, равной 30…60 мм на всех исследуемых режимах.

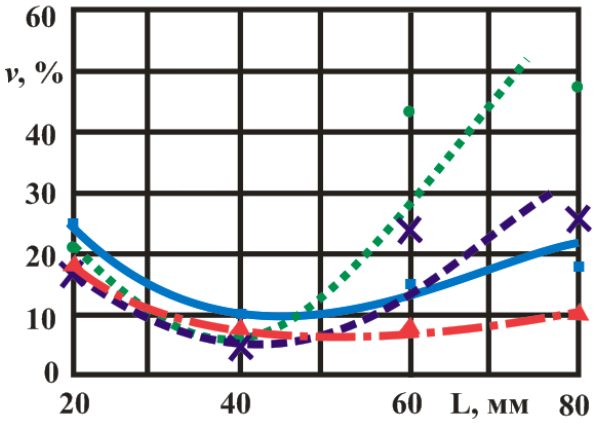

Рисунок 16 – Влияние частоты вращения и длины лопаток на качество смешивания:
–n = 25 мин$^{-1}$;
–n = 30 мин$^{-1}$;
–n = 35 мин$^{-1}$;
–n = 40 мин$^{-1}$

Энергоэффективность процесса смешивания оценивали удельными энергозатратами, необходимыми для получения 1 т готовой смеси с однородностью 95 % для чего были построены графики (рис.17). Из этих графиков следует, что наименьшие энергозатраты на всех режимах работы наблюдаются в интервале длины лопаток 30…50 мм. Увеличение длины лопаток влечет возрастание критерия оптимизации (особенно на больших частотах n = 35…40 мин$^{-1}$), что объясняется ростом сопротивления корма. Уменьшение длины лопаток также приводит к росту затрат электроэнергии. Это связано с ухудшением условий смешивания, что в свою очередь приводит к увеличению времени работы смесителя.

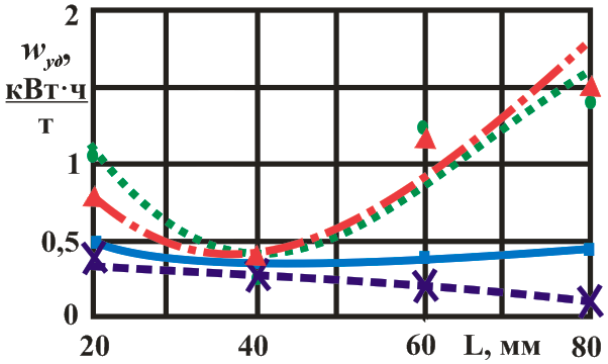

Рисунок 17 – Влияние длины лопаток и частоты вращения на удельные энергозатраты:
–n = 25 мин$^{-1}$;
–n = 30 мин$^{-1}$;
–n = 35 мин$^{-1}$;
–n = 40 мин$^{-1}$

В результате проведения однофакторных экспериментов определена область исследования со следующими границами:частота вращения вала смесителя 30…40 мин $^{-1}$; длина лопаток 20…60 мм; время смешивания 80…160 с.

После проведения однофакторных экспериментов с целью получения модели регрессии и определения оптимальных значений исследуемых параметров проведен многофакторный эксперимент. Для чего реализован план Бокса-Бенкена для 3 факторов: x_6 – длина лопаток, x_7 – частота вращения вала смесителя, x_5 – время смешивания.

Уравнения регрессий для коэффициента неоднородности и удельных энергозатрат выглядят следующим образом:

$$y_1 = 3{,}2 + 4{,}56 \cdot x_6 + 1{,}16 \cdot x_7 - 6 \cdot x_5 + 16{,}56 \cdot x_6^2 + 3{,}38 \cdot x_6 \cdot x_7 - \\ -2{,}2 \cdot x_6 \cdot x_5 - 7{,}14 \cdot x_7^2 + 1{,}15 \cdot x_7 \cdot x_5 + 13{,}09 \cdot x_5^2, \qquad (11)$$

$$y_2 = 0{,}37 + 0{,}02 \cdot x_6 + 0{,}09 \cdot x_7 + 0{,}12 \cdot x_5 - 0{,}01 \cdot x_6^2 - ,0003 \cdot x_6 \cdot x_7 +$$
$$+0{,}01 \cdot x_6 \cdot x_5 - 0{,}06 \cdot x_7^2 + 0{,}04 \cdot x_7 \cdot x_5 + 0{,}01 \cdot x_5^2. \qquad (12)$$

Для наглядного представления влияния изучаемых факторов на критерии работоспособности смесителя и определения их оптимальных значений построены наложенные друг на друга сечения поверхностей откликов, представленные на рис. 18.

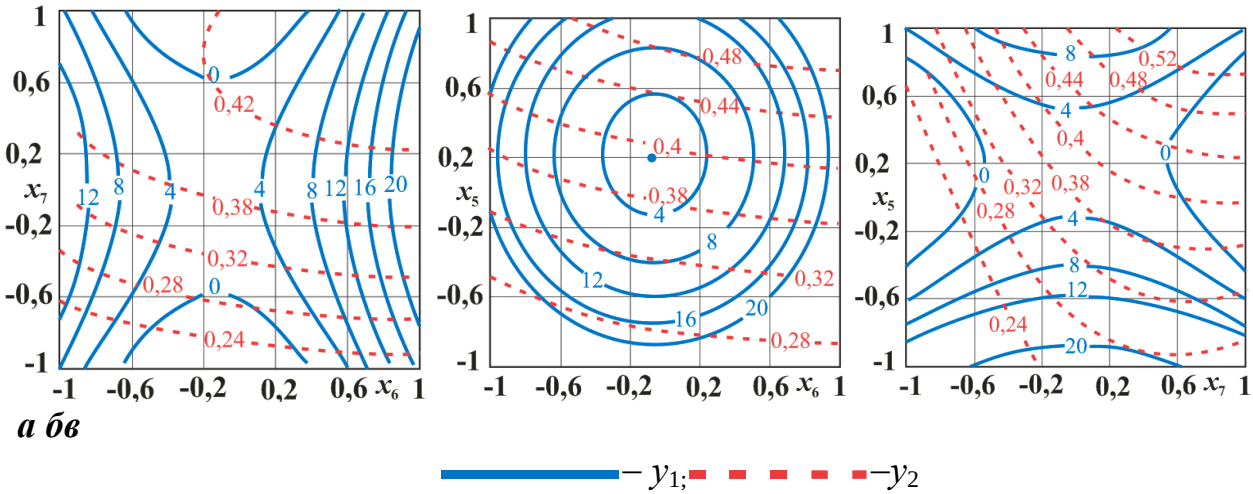

Рисунок 18– Двумерные сечения поверхностей откликов, характеризующие влияние на критерии оптимизации: ***а***– длины лопаток (фактор x_6) и частоты вращения (фактор x_7); ***б*** – длины лопаток (фактор x_6)и времени смешивания t (фактор x_5);***в*** – частоты вращения (фактор x_7) и времени смешивания t (фактор x_5)

В результате проведенных исследований определены оптимальные значения исследуемых параметров, при которых обеспечивается необходимое качество смешивания влажных кормов с минимальными затратами электроэнергии: θ = 50 °; h_2 = 50 мм; h_3 = 75 мм; S_2 = 105 мм; S_3 = 135 мм; l = 32 мм; t = 110 с; n = 30 мин$^{-1}$. При этих параметрах удельные $w_{уд}$ = 0,32 кВт·ч/т.

На первом этапе исследований по изучению тепловых процессов проверялась правильность теоретических расчётов. Для достижения поставленной задачи определяли время нагрева 25 и 50 кг (что соответствовало 50 и 100 % уровню заполнения бункера) питательной среды при углах обхвата 90 ° и 360 ° соответственно до необходимой оптимальной температуры 55 ° С.

В результате проведенных исследований получены сравнительные графики (рис. 19).

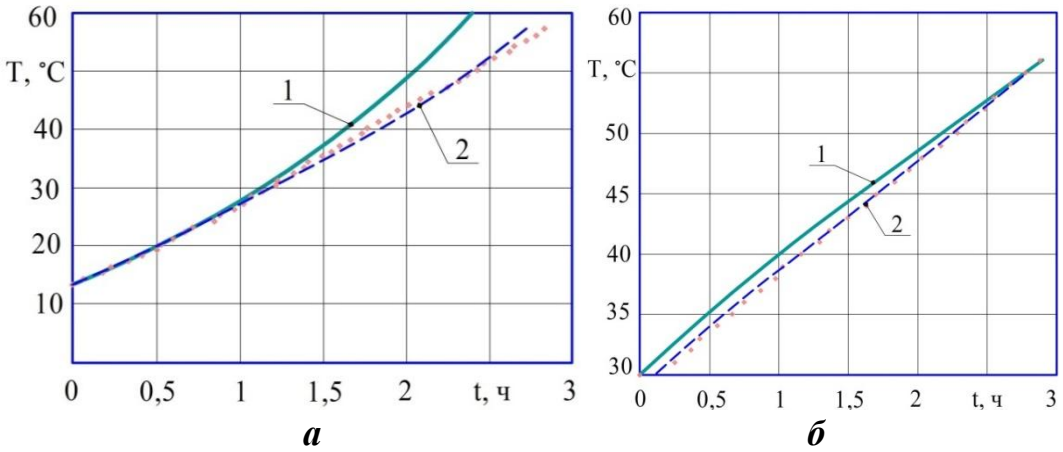

Рисунок 19 – Сравнительные графики изменения температуры питательной среды при нагреве: ***а*** – 25 кг питательной среды с углом обхвата ёмкости тепловой лентой 90 °; ***б*** – 50 кг питательной среды с углом обхвата ёмкости тепловой лентой 360 °; 1 – теоретическая зависимость; 2 – опытная зависимость

Анализ полученных данных показывает, что расхождение между теоретическими расчетами и практическими результатами не превышает 5 %, и выведенная аналитическая зависимость (3) может быть использована при расчете тепловых процессов в смесителе-ферментаторе.

С целью определения оптимальных конструкционных параметров смесителя-ферментатора, проведены однофакторные эксперименты. Выявлено, что наиболее интенсивный рост температурного напора наблюдается при 50 % заполнении емкости и угле обхвата бункера тепловой лентой 90 º. С увеличением угла обхвата бункера время роста температурного напора увеличивается.

При 50 и 100 % заполнении бункера характер изменения температурного напора не меняется для случаев, соответствующих углам обхвата бункера тепловой лентой 90 и 180 º. Однако с увеличением угла обхвата до 360 º время нагрева увеличивается в 1,4 раза.

С целью оценки эффективности нагрева рассчитаны значения удельной электроэнергии $w_{уд}$, затраченные на нагрев 1 кг кормовой смеси на 1 К, и построены графики (рис.20).

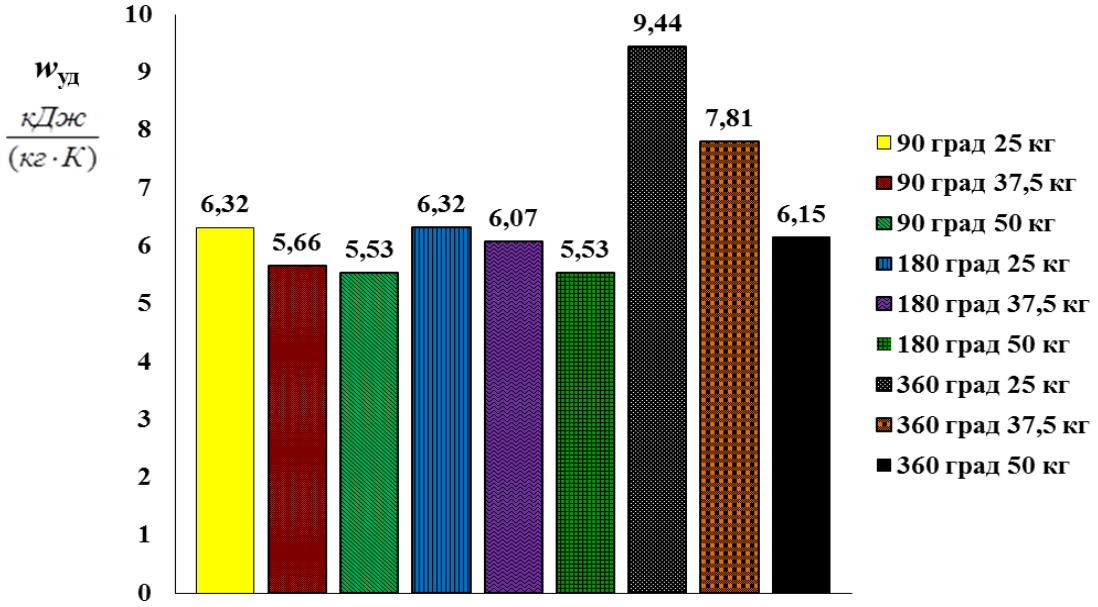

Рисунок 20 – Средние удельные энергозатраты при нагреве питательной среды в смесителе

В результате проведенных экспериментов с целью снижения удельных энергозатрат при нагреве и поддержании оптимальной температуры питательной среды можно рекомендовать заполнять емкость до100 % уровня, а угол обхвата тепловой лентой - 90…180 º.

С целью сокращения времени и средств на изготовление и испытание опытного образца смесителя емкостью 3,5 м^3 методом теории подобия, используя выведенные критериальные уравнения, а также результаты лабораторных исследований, определены его конструкционные и технологические параметры: D'_1 = 1480 мм, D'_2 = 962 мм, D'_3 = 555 мм, L' = 1850 мм, h'_1 = 111 мм, h'_2= 185 мм, h'_3 = 278 мм, l' = 119 мм, S'_2 = 389 мм, S'_3 = 500 мм, $P'_{дв}$ = 8,7 кВт, θ' = =50 °. При смешивании влажных кормов n'= 63 мин$^{-1}$. При смешивании сухих сыпучих кормов n' = 55 мин$^{-1}$.

В пятом разделе «Эффективность применения смесителя» приведены предложения по использованию смесителя, а также представлены результаты расчетов технико-экономических и энергетических показателей разработанного смесителя. Смеситель позволяет реализовать наиболее эффективный процесс приготовления рассыпных, влажных и ферментированных кормов для животных и птицы в одном и том же агрегате. Приобретя еще несколько машин: пневмосепаратор фуражного зерна, дробилку зерна с ротором, измельчитель корнеклубнеплодов и измельчитель соломы, фермерское хозяйство, имея любой из сырьевых продуктов (зерно, солома, корнеклубнеплоды), может наладить линию или организовать мини-завод круглогодичного приготовления высококачественного корма с высоким содержанием белка,

затратив при этом минимум срдств и энергии. Годовой экономический эффект от применения смесителя в сравнении со смесителем СПП-1600 составит 117475 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработано и защищено патентом РФ № 2567315 на изобретение конструкционное решение смесителя компонентов, позволяющее смешивать сухие и влажные корма с удовлетворяющим зоотехническим требованиям качеством и с меньшими по сравнению с прототипом (смесителем СПП-1600) на 7 % энергозатратами.

2. Получены аналитические модели (1) и (2.), позволяющие рассчитать потребляемую электродвигателем смесителя энергию и определить степень влияния на нее каждого параметра смешивающего узла; обосновано оптимальное соотношение параметров, позволяющее снизить энергозатраты.

3. Получены аналитические зависимости изменения температуры приготавливаемого корма (3) и удельных энергозатрат (4).

4. Установлены оптимальные значения параметров смешивающего узла смесителя, при которых обеспечивается необходимое качество смешивания сыпучих и влажных кормов с минимальными затратами электроэнергии: угол геликоида шнеков $\theta = 50$ °; высота витков внешнего шнека $h_2 = 50$ мм; высота витков внутреннего шнека $h_3 = 75$ мм; шаг витков S_2 внешнего шнека 105 мм; шаг витков S_3 внутреннего шнека 135 мм; длина лопаток $l = 32$ мм.

В случае с перемешиванием сыпучих кормов обеспечивается требуемая частота вращения смешивающего узла 45 мин$^{-1}$, время смешивания t = 70…100 с. При этих параметрах удельные энергозатраты не превышают 0,9 кВт · ч/т.

В случае перемешивания влажных кормов удельные энергозатраты не превышают значения 0,32 кВт · ч /т при частоте вращения смешивающего узла n = 30 мин$^{-1}$ и времени смешивания t = 110 с.

5. Выявлено, что максимальные энергозатраты наблюдаются в начале нагрева приготавливаемого корма, а с течением времени они снижаются. Наиболее интенсивное снижение энергозатрат наблюдается при нагреве корма в бункере с его углом обхвата тепловой лентой 90 °. В начальный момент времени масса корма практически не влияет на затраты электроэнергии, а при одном угле обхвата они практически равны. Выявлено, что минимальные средние удельные энергозатраты, на нагрев питательной среды при приготовлении ферментированных кормов, наблюдаются в случае 100 % заполнения емкости с углом обхвата тепловой лентой 90 или 180 º и составляют 5,53 кДж/кг · К. Определено, что увеличение угла обхвата тепловой лентой с 90 до 360 º ведет к росту удельных энергозатрат на 10…33 % в зависимости от уровня заполнения емкости.

6. В результате производственных испытаний определено: при смешивании влажных кормов время смешивания составляет 5…8 мин, удельные энергозатраты - 1,06 кВт·ч/т, коэффициент неоднородности не превышает 15 %, производительность смесителя составляет 10 т/ч при частоте вращения смешивающего узла 55 мин$^{-1}$; при смешивании сухих кормов время смешивания 4,5…7 мин., удельные энергозатраты - 1,36 кВт·ч/т, коэффициент неоднородности - менее 15 %, производительность - 12 т/ч при частоте вращения смешивающего узла 65 мин$^{-1}$.

7. Смеситель позволяет реализовать наиболее эффективный процесс приготовления рассыпных и влажных комбинированных кормов для животных и птицы в одном и том же агрегате. Приобретя еще несколько машин: пневмосепаратор фуражного зерна, дробилку зерна с ротором-вентилятором, измельчитель корнеклубнеплодов и измельчитель соломы, фермерское хозяйство, имея любой из сырьевых продуктов (зерно, солома, корнеклубнеплоды), может наладить линию или организовать мини-завод круглогодичного приготовления высококачественного корма, затратив при этом минимум срдств и энергии.Годовая экономия денежных средств от применения смесителя в сравнении со смесителем СПП-1600 составит 117475 руб.

Над проблемой ферментирования кормов, т.е. более глубоким развитием темы, работает

кандидат технических наук Булатов С. Ю., готовя к защите диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

Публикации в изданиях, определенных ВАК Министерства образования и науки РФ:

1.*Свистунов А. И.* Смеситель-ферментёер для кормов / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Сельский механизатор № 4. – 2014. – С.26–27.

23. *Свистунов А. И.* Оптимизация рабочего процесса смешивания сыпучих кормов в ленточном смесителе периодического действия / П. А. Савиных, Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Экономика и предпринимательство № 9 ч. 2 (62-2) – 2015. – С.811–816.

3. *Свистунов А. И.* Экспериментально-теоретические исследования рабочего процесса смесителя-ферментера в режиме подогрева / П.А. Савиных, С. Ю. Булатов, А. Г. Панасенко, А.И. Свистунов // Тракторы и сельхозмашины, 2015. – № 9 – С. 23–27.

4. *Свистунов А. И.* Разработка смесителя-ферментатора для получения корма с высоким содержанием белка в фермерских хозяйствах / Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов. // Вестник НГИЭИ Вып. 2 (57) (техн. науки). Княгинино. – 2016. - С.62–75.

5. *Свистунов А. И.* Разработка средств для приготовления ферментированного комбикорма в фермерских хозяйствах / Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов. // Вестник ВИЭСХ. – 2016 №1(22). – С.67–78.

6. *Свистунов А. И.* The nutrient medium heating's optimal modes during the fermentation process in the feed mixer-fermenter's definition / П. А. Савиных, Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Вестник ВНИИМЖ. № 3 (19). – 2015. – С. 154–156.

7. *Свистунов А. И.* Малоэнергоёмкий многофункциональный смеситель для приготовления высокопитательных кормов / А. И. Свистунов. // Вестник ВИЭСХ. – 2016 №3(24). – С.101-109

8. *Свистунов А. И.* Результаты исследований смешивания влажных кормов в смесителе-ферментаторе / С. Ю. Булатов, Н. В. Оболенский, А. И. Свистунов. // Вестник НГИЭИ Вып. 8 (63) (техн. науки). Княгинино. – 2016. - С.71–79.

Патент:

9. Патент на изобретение 2567315 РФ, МПК B 01 F7/08. Смеситель-ферментатор / П. А. Савиных, В.Е. Саитов, Н.В. Оболенский, А.И. Свистунов. Опубл. 10.11.2015. Бюл. № 31.

Монография:

10.Оболенский Н. В., Булатов С. Ю., Свистунов А. И. Изобретательство – путь к научному успеху: монография. – Н. Новгород: ДЕКОМ. – 2016. – 208 с.

Публикации в сборниках научных трудов и материалов конференции:

11 *Свистунов А. И.* Агромаркетинг, как механизм антикризисного управления на предприятиях агропромышленного комплекса. / Н. В. Оболенский, А. И. Свистунов // Мат-лы V междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, соискателей и молодых ученых «Философские проблемы, экономических, технических и педагогических учений». – Княгинино: НГИЭИ. – 2013. – С.89–92.

12. *Свистунов А. И.* Моделирование процессов обработки жидких кормовых сред. / М. Е. Зыкова, Н. В. Оболенский, А. И. Свистунов, // Мат-лы V междунар. науч.- практ. конф. аспирантов, соискателей и молодых ученых «Философские проблемы, экономических, технических и педагогических учений». – Княгмнино: НГИЭИ. – 2013. С.77–79.

13. *Свистунов А. И.* Моделирование процессов обработки жидких кормовых сред. / М. Е. Зыкова, Н. В. Оболенский, А. И. Свистунов, // Мат-лы V междунар. науч.- практ. конф. аспирантов, соискателей и молодых ученых «Философские проблемы, экономических, технических и педагогических учений». – Княгмнино: НГИЭИ. – 2013. С.77-79;

14. *Свистунов А. И.* Анализ технологий получения кормов с высоким содержаниием белков из малоценных сырьевых ресурсов и отходов производства. / С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов. // Вестник НГИЭИ. Сер. техн. науки. Вып.10 (29). – Княгинино: НГИЭИ, 2013. С. 3–14.

15. *Свистунов А. И.* Классификация способов ферментации и ферментеров. Вестник НГИЭИ. Сер. техн. науки. Вып.10 (29). – Княгинино: НГИЭИ, –2013. – С. 109 –114.

16. *Свистунов А. И.* Способы получения кормосмеси с высоким содержанием белка и устройство для их получения. / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Сб. статей междунар. науч.-практ. конф. «World & Science» («Světavěda» «Мир и наука». – Брно. – 2014.

17. *Свистунов А. И.* Линии приготовления ферментированных кормов. / Н. В. Оболенский, М. С. Вандышева, А. И. Свистунов, К. Е. Миронов, Р. А. Смирнов. // Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 28 ноября 2014 г.: Часть 1. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». – 2014. – С.122–127.

18. *Свистунов А. И.* Варианты конструкции линии приготовления ферментированных кормов /М.С. Вандышева, А. И. Свистунов, К. Е. Миронов, Р. А. Смирнов // Вестник НГИЭИ. Сер. техн. науки. Вып. 8(39). Княгинино: НГИЭИ. - 2014.– С.3–10,

19. *Свистунов А. И.* Тепловой баланс смесителя-ферментера кормов / С. Ю. Булатов, А.И. Свистунов // Вестник НГИЭИ. Сер. техн. Вып.10 (41). – Княгинино: НГИЭИ, – 2014. С. 11–16,

20. *Свистунов А. И.* Разработка лабораторной установки для смешивания компонентов комбикорма / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Научный альманах. № 9 (11). 2015. – С. 784–790.

21. *Свистунов А. И.* Исследование процесса смешивания компонентов комбикорма / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов //«Вестник научных конференций» № 1–1(1) 2015. – С. 111-119..

22. *Свистунов А. И.* Исследование процесса смешивания компонентов комбикорма / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы: сб. статей по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 13 октября 2015 г. – Уфа: РИО МЦИИ: «ОМЕГА-САЙНС».– 2015. – С.45-50.

23. *Свистунов А. И.* Оптимизация параметров ленточного смесителя периодичес-кого действия / Н. В. Оболенский, С.Ю. Булатов, И.А. Свистунов // Тенденции и перспективы развития науки XXI века: сб. статей по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 18 октября 2015 г. – Уфа: РИО МЦИИ: «ОМЕГА-САЙНС».– 2015. С.67–75.

24. *Свистунов А. И.* Кавитация в шнековых насосах и методы снижения её влияния / Н. В. Оболенский, В. В.Ильичев, А. И. Свистунов // Современный взгляд на будущее науки: сб. статей по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. 28 октября 2015 г. – Челябинск: РИО МЦИИ: "ОМЕГА-САЙНС".– 2015. – С.72–77.

25. *Свистунов А. И.* Разработка и исследование смесителя-ферментатора кормов для фермерских хозяйств // Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов. // Инновации в сельском хозяйстве 4/(19). – 2016. – С.196–208.

Подписано в печать _____Формат 60x84 1/16.
Объём 1п.л. Тираж 100 экз. Заказ № ___.
Отпечатано с оригинал-макета.
Полиграфический отдел ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА.
428003, г.Чебоксары, ул.К.Маркса, 29. Лицензия ПЛД № 27-36.