

На правах рукописи

Азиаткин Дамир Нариманович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШИВАНИЯ
КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ С ОБОСНОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ
СМЕСИТЕЛЯ-ДОЗАТОРА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Пенза – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО «Самарская ГСХА»)

Научный руководитель

Новиков Владимир Васильевич
кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Курдюмов Владимир Иванович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А.
Столыпина», заведующий кафедрой
«Безопасность жизнедеятельности
и энергетика»

Терюшков Вячеслав Петрович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»,
доцент кафедры «Эксплуатация
машинотракторного парка»

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Поволжская государственная
зональная машиноиспытательная станция»

Защита состоится « 15 » ноября 2013 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 220.053.02 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» по адресу: 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, ауд. 1246.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА».

Автореферат разослан « 15 » октября 2013 г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета**

Кухарев О.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Наиболее эффективными способами обработки зерна на корм, повышающие его усвояемость, являются баротермическое воздействие. Из всего перечня баротермических обработок наиболее распространённым и востребованным является экструдирование кормов, осуществляемое шнековыми машинами – пресс-экструдерами.

Одним из важных элементов конструкций пресс-экструдеров является устройство подачи и подготовки исходного корма, от качества выполняемых в нём операций, будет зависеть большое количество показателей работы самого пресс-экструдера.

Многие исследования показывают что, скармливание смесей кормов наиболее благоприятно сказывается на продуктивности животных, однако применение серийных устройств для подачи и смешивания компонентов смесей перед экструдированием на практике показало их неэффективность. Данная проблема явилась основополагающей для данного исследования.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВПО «Самарская ГСХА» «Совершенствование процесса обработки зерновой смеси и продуктов её переработки с разработкой устройств для дозирования, смешивания и разделения её на фракции» (РГ № 01 201177131 до 30.12.2014 г.).

Степень разработанности темы. В настоящее время серийно выпускаемые пресс-экструдеры комплектуются дозаторами шнекового типа, которые не способны смешивать несколько компонентов кормов. Кроме того имеются разработки комбинированных устройств, сочетающие в себе и смеситель и дозатор, призванные обеспечить подготовку смеси кормов, подаваемую в пресс-экструдер, что актуально в условиях небольших хозяйств. Однако имеющиеся разработки единичны и имеют существенные недостатки, связанные с повышенным расходом энергии потребной для выполнения технологического процесса, и зачастую, показатели их работы не соответствуют предъявляемым требованиям качества.

Анализируя состояние разработок по данному направлению можно сделать вывод о недостаточной проработке смесителей-дозаторов пресс-экструдеров, позволяющих смешивать одновременно несколько компонентов кормов и подавать готовую смесь в пресс-экструдер.

Цель работы. Повышение эффективности смешивания и подачи исходной смеси в пресс-экструдер с обоснованием параметров смесителя-дозатора пресс-экструдера.

Задачи исследований:

1. Разработать конструктивно-технологическую схему смесителя-дозатора пресс-экструдера, обеспечивающую качественное смешивание компонентов и дозирование смеси, идущей на экструдирование.
2. Теоретически выявить закономерности влияния конструктивных и кинематических параметров смесителя-дозатора на затрачиваемую мощность и необходимую длительность смешивания при заданной производительности устройства.
3. Изготовить опытный образец смесителя-дозатора пресс-экструдера и экспериментально обосновать его рациональные конструктивные и кинематические параметры.
4. Провести исследования смесителя-дозатора пресс-экструдера в производст-

венных условиях и оценить технико-экономическую эффективность применения результатов исследований на производстве.

Объект исследований. Технологический процесс и схема приготовления смесей кормов поступающих на экструзию.

Предмет исследований. Показатели эффективности смешивания зерносмеси поступающей на экструдирование, конструктивные и кинематические параметры смесителя-дозатора пресс-экструдера.

Научную новизну составляют:

- конструкция смесителя-дозатора пресс-экструдера (новизна подтверждена патентом РФ №2435461);
- аналитические зависимости по определению мощности привода и энергоёмкости смесеобразования в зависимости от конструктивных и кинематических параметров смесителя-дозатора и физико-механических свойств кормов;
- конструктивные и кинематические параметры смесителя-дозатора, комплексно влияющие на неравномерность дозирования, неравномерность смешивания, мощность привода, энергоёмкость смесеобразования и определение их рациональных значений.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанный смеситель-дозатор пресс-экструдера непрерывного действия, за счёт смешивания и дозирования компонентов, позволяет подготовить предварительную зерносмесь, обеспечивает производительность до 600 кг/ч при неравномерности дозирования не выше 1,5 % и неравномерности смешивания не выше 10 %. Удельная энергоёмкость составляет 1,57 Вт·ч/кг. Технологическая линия экструдирования зерносмесей включающая пресс-экструдер и смеситель-дозатор обеспечивает уменьшение приведённых затрат на 0,3 % по отношению к затратам получаемых при использовании серийного пресс-экструдера и вспомогательных устройств.

Экспериментальный образец смесителя-дозатора был установлен на серийный пресс-экструдер. Данный агрегат прошёл производственную проверку и рекомендован актом хозяйственной комиссии к использованию.

Методика исследований. Теоретические исследования смесителя-дозатора пресс-экструдера выполнялись с использованием основных положений, законов и методов классической механики и математики. Предложенная конструкция смесителя-дозатора исследовались в лабораторных и производственных условиях в соответствии с действующими ГОСТ, ОСТ и разработанными частными методиками. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием программ Statistica 6.0, Mathcad 11.0, Microsoft Office Excel 2003. Достоверность результатов работы подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; проведением сравнительных исследований в производственных условиях.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

1. Конструктивно-технологическая схема и конструкция смесителя-дозатора пресс-экструдера.
2. Теоретические зависимости по определению потребной мощности, длительности смешивания и энергоёмкости в зависимости от основных конструктивных и кинематических параметров смесителя-дозатора пресс-экструдера.
3. Функциональные зависимости неравномерности смешивания, неравномер-

ности дозирования и удельной энергоёмкости процесса от частот вращения шнека и лопастной мешалки, количества лопастей мешалки, шага шнека и длины ворошителя, рациональные значения конструктивных и кинематических параметров, полученные в ходе экспериментальных исследований.

4. Параметры разработанного смесителя-дозатора пресс-экструдера, технико-экономическое обоснование эффективности его применения.

Степень достоверности и апробация результатов. Пресс-экструдер с экспериментальным смесителем-дозатором внедрён в СПК имени Ленина Самарской области.

Основные положения и результаты исследований докладывались на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Самарская ГСХА» (2010...2013 гг.), ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» (2011...2013 гг.) и ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ (2012 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 печатных работах, из них четыре без соавторов и пять в изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК». Общий объём опубликованных работ составляет 2,9 п.л., из них автору принадлежит 1,3 п.л.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка литературы из 146 наименований и приложение на 31 с. Работа изложена на 164 с., содержит 20 табл. и 81 рис.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы, цель и задачи исследований, основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первом разделе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» представлен анализ технологических линий подготовки экструдированных кормов, выявлено, что применение полномасштабных линий производства экструдированного корма в условиях отдельных хозяйств не эффективно и требуется разработка универсального питателя пресс-экструдера, совмещающего в себе функции смесителя и дозатора зерновых кормов, поступающих в пресс-экструдер. В связи, с чем были проанализированы конструкции питателей пресс-экструдеров и смесителей, научные работы профессоров Б.И. Вагина, А.И. Завражнова, Р.Л. Зенкова, Л.П. Карташова, В.Г. Кобы, В.В. Коновалова, В.И. Курдюмова, С.В. Мельникова, В.И. Сыроватки и других. По результатам литературного и патентного обзора научной информации сформулированы цель и задачи исследований.

Во втором разделе «Обоснование параметров смесителя-дозатора компонентов экструдированных смесей кормов» представлено обоснование структурно-функциональной схемы предлагаемого смесителя-дозатора пресс-экструдера, определены факторы оптимизации устройства: *качественными* показателями работы смесителя-дозатора принято использовать неравномерность смеси и неравномерность дозирования; *энергетическим* показателем используется потребляемая мощность привода и рассчитанная энергоёмкость смесеобразования; *количественные* – производительность экструдера и соответственно его смесителя-дозатора. При несоблюдении зоотехнических требований на качественные показатели работы использование технических средств должно быть пре-

кращено. Поэтому *дополнительными критериями оптимизации* применяются качественные показатели технологического процесса смешивания, используемые как ограничения. *Основным критерием* оптимизации при исследованиях технологических процессов используется энергоёмкость процесса, определяемая на участке соблюдения зоотребований.

Конструктивно-технологическая схема разработанного смесителя-дозатора кормов для приготовления предварительной смеси, поступающей на экструзию представлена на рисунке 1.

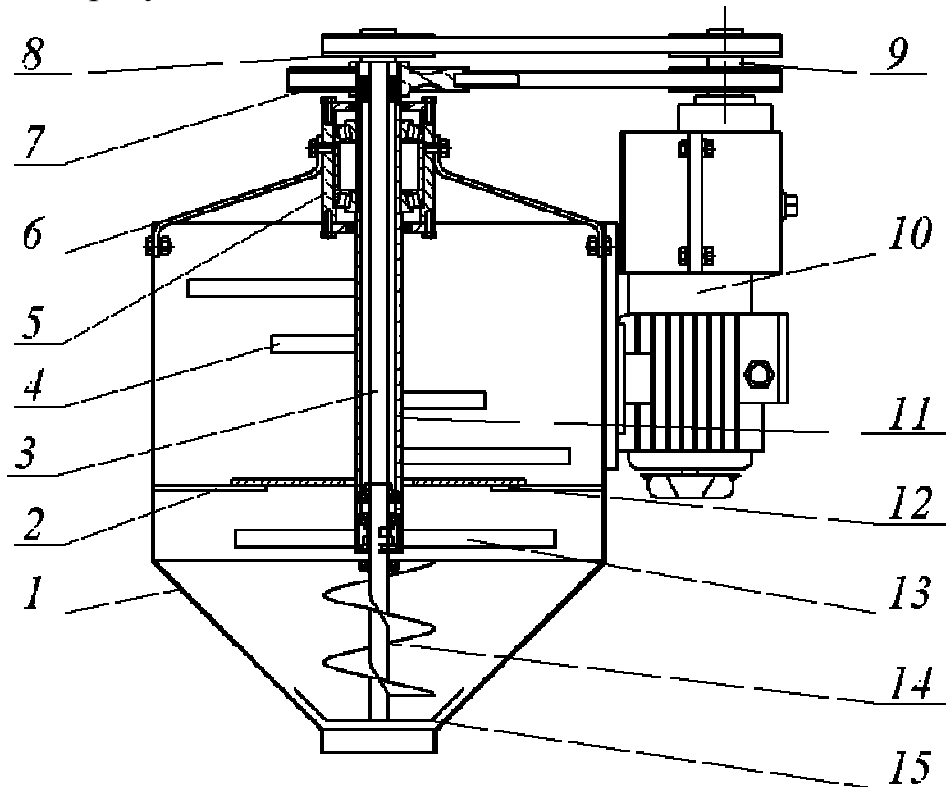


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема смесителя-дозатора концентрированных кормов для приготовления предварительной смеси, поступающей на экструзию: 1 – корпус; 2 – луч; 3 – вал; 4 – радиальные лопасти лопастной мешалки; 5 – подшипниковый узел; 6 – распорки; 7 – шкив привода лопастного вала; 8 – шкив привода шнекового вала; 9 – блок шкивов; 10 – мотор-редуктор; 11 – вал привода лопастей; 12 – диск; 13 – спиральные лопасти; 14 – шнек шнековой мешалки; 15 – лопатки якорного ворошителя

Смеситель-дозатор работает следующим образом. После загрузки компонентов включается мотор-редуктор 10, начинают вращаться вал 3 со шнеком 14 и вал 11 привода лопастей 4 и 13, при этом, корм находящийся выше диска 12 перемешивается радиальными лопастями 4, а корм, просыпавшийся в зазор между торцом диска 12 и бункером 1, но ещё недостаточно перемешанный, ссыпается вниз вдоль стенок бункера к лопаткам 15, устраняющим сводообразование в нижней части шнека. Далее корм увлекается верхней навивкой шнека 14 вверх и подаётся к лопастям 13, которые в свою очередь, сдвигают корм к периферии бункера 1, где происходит взаимодействие с новой порцией корма, поступающей из наддискового пространства. Часть перемешанного корма, не увлечённого в циркуляцию верхней навивкой шнека, ссыпается в нижнюю горловину бункера 1,

где захватывается нижней навивкой шнека 14 и подаётся с уплотнением в загрузочную зону пресс-экструдера. Лопатки 15 кроме дополнительного микроперемешивания смеси осуществляют разрушение сводов, образующихся в нижней части бункера возле шнека.

Так как предложенная схема имеет ряд особенностей, проводились теоретических исследования, уточнялся перечень, интервалы и уровни варьирования конструктивных и кинематических факторов, а также перечень показателей работы предлагаемого устройства. Выявлялось влияние конструктивных и кинематических параметров на работу смесителя-дозатора и на его показатели технологического процесса.

Для определения энергоёмкости смесеобразования экструдата Y (Дж/кг) необходимо знать затраченную энергию и массу приготовленного экструдата. Соответственно:

$$Y = \frac{\sum A'}{M} = \frac{\sum N_i \cdot T}{Q_{ЭК} \cdot T} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_{Дj}} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}} = \frac{\sum N_i}{Q_{ЭК}} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_j} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}}, \quad (1)$$

где A' – работа, затраченная на выполнение всех операций в процессе работы агрегата по приготовлению экструдата, Дж; M – масса приготавливаемой порции экструдата, кг; N_i – мощность, необходимая на привод i -го рабочего органа смесителя-дозатора, Вт; N_j – мощность, необходимая на привод дозатора j -го компонента смеси, Вт; $N_{ЭК}$ – мощность, необходимая на привод рабочего органа экструдера, Вт.

Средняя производительность смесителя-дозатора, (кг/с), составит ту же величину, что и экструдера

$$Q_{СМ} = Q_{ЭК} \leq \sum Q_{Дj}. \quad (2)$$

Расчёт мощности на работу перемешивающих устройств (комбинированного рабочего органа) определяем как совокупность затрат мощности на привод отдельных их элементов.

Компьютерная программа по определению мощности привода смесителя осуществляет расчет в соответствии с формулами РД 26-01-90-85 для аппаратов с вертикальными перемешивающими устройствами. Учитывая различия свойств жидкости и сыпучих материалов в формулу мощности введены поправочные коэффициенты $K_{жл}, K_{кз}$, для которых уточнены значения используемых рабочих органов.

Известный метод расчёта смесителя основан на составлении и решении уравнения равенства моментов сил, приложенных к перемешиваемой среде мешалкой и уравновешиваемых стенками и перегородками корпуса смесительного аппарата

$$M_{кр} = M_{кор} + M_{вн}, \quad (3)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент – момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки, Н·м; $M_{кор}, M_{вн}$ – моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках корпуса аппарата и внутренних устройствах соответственно, Н·м.

Момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки

$$M_{кр} = z_m \cdot \zeta \cdot K_1, \quad (4)$$

где z_m – число мешалок на валу перемешивающего устройства; ζ – коэффициент сопротивления перемещению мешалки; K_1 – коэффициент пропорциональности мощности перемешивания

$$K_1 = (\psi_1 + \psi_2)^2, \quad (5)$$

где ψ_1, ψ_2 – параметры профиля окружной скорости материала.

Значения ψ_1 и ψ_2 связаны соотношением

$$\psi_2 = -s_1 - s_2 \cdot \psi_1, \quad (6)$$

где $s_1 = 0,5$, $s_2 = 1,25$, если $\Gamma_D > 1,5$, $s_1 = \frac{7 \cdot \Gamma_D - 6}{21 \cdot \Gamma_D - 20}$, $s_2 = \frac{28 \cdot \Gamma_D - 27}{21 \cdot \Gamma_D - 20}$, если

$\Gamma_D \leq 1,5$;

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$$

– симплекс геометрического подобия, при этом D , d_M – диаметры ёмкости и мешалки, м.

Известны моменты сил сопротивления вращению, возникающие от трения материала о стенки корпуса:

$$M_{кор} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma}{2,2 \cdot Re_{ц}^{0,25}} \cdot \Gamma_D^{2,75} \cdot v_{cp}^{1,75}, \quad (7)$$

где $\lambda = \Gamma_D / (20,35 \cdot \Gamma_D - 19,1)$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата;

$\gamma = l \cdot H / D + p$ – параметр высоты заполнения аппарата ($l = 4$ для аппарата с отражательными перегородками и $l = 8$ – без перегородок, $p = 2$ для полностью заполненного и $p = 1$ для аппарата со свободной поверхностью материала); $Re_{ц}$ – циркуляционный критерий Рейнольдса; v_{cp} – относительная осредненная окружная скорость течения жидкости в аппарате, м/с.

При $R_{вн} \leq 0,1 \cdot D \cdot H$ и $\Gamma_D > 1,5$ для мешалок с горизонтальными лопастями:

$$v_{cp} = \frac{1 + 0,4 \cdot \psi_1 + 0,5 \cdot \psi_2 + 2 \cdot (1 + \psi_1 + \psi_2) \cdot \ln(\Gamma_D)}{2 \cdot \Gamma_D}, \quad (8)$$

Моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках внутренних устройств ёмкости смесительного аппарата равны нулю ввиду их отсутствия.

Ввиду малой мощности затрачиваемой спиральным ворошителем (материал смеси практически не взаимодействует со спиральными лопастями) указанное слагаемое в балансе мощности не указано.

Учитывая, что в процессе работы рассматриваемого смесителя-дозатора перемешиваемые компоненты являются сыпучими и обладают определённой текучестью, при проведении теоретических исследований его рабочего процесса допускаем справедливость указанных выражений. Для устранения неизбежно возникающих погрешностей результатов вводим поправочные коэффициенты и уточняем числовые значения мощности с учётом коэффициентов.

Слагаемые мощности привода комбинированного рабочего органа приведены с учётом используемых кинематических параметров.

Мощность (Вт), потребляемая приводом якорного ворошителя (лопаток):

$$Nn_{я} = K_{Nя} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_m^5, \quad (9)$$

где $K_{Nя} = \frac{\pi^2}{2} \cdot \lambda_{я} \cdot \frac{h_{я}}{D_m} \cdot Z_m \cdot \frac{1}{Re_{я}} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_0}{D_m}\right)^2\right)$, – коэффициент мощности; ρ_c –

плотность вороха смеси, кг/м³; n_d – частота вращения вала шнековой и якорной мешалки, с⁻¹; D_m – диаметр якорной мешалки, м; $\lambda_{я}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для якорной мешалки; $h_{я}$ – высота якорной мешалки, м; Z_m – количество лопаток якорной мешалки, шт.; d_0 – ширина лопатки якорной мешалки, м.

Известна мощность (Вт), потребляемая приводом шнековой мешалки:

$$Nn_{ш} = K_{Nш} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_{ш}^5 \quad (10)$$

$$\text{где } K_{Nш} = \frac{\pi^2}{\epsilon} \cdot \lambda_{ш} \cdot \frac{H}{D_{ш}} \cdot \frac{\left(\frac{S_{ш}}{D_{ш}}\right)^{1.7}}{Re_{ш}} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_{в}}{D_{ш}}\right)^3\right)$$

– коэффициент мощности; $D_{ш}$ – диаметр шнековой мешалки, м; $\lambda_{ш}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для шнековой мешалки; H – высота шнековой мешалки, м; $S_{ш}$ – шаг шнека, м.

Мощность (Вт), потребляемая приводом дозирующего устройства смесителя-дозатора:

$$Nn_{д} = (N_{дхх} + Nn_{я} + Nn_{ш}) \cdot k_{п1}, \quad (11)$$

где $k_{п1}$ – поправочный коэффициент; $N_{дхх}$ – мощность холостого хода привода дозатора, Вт.

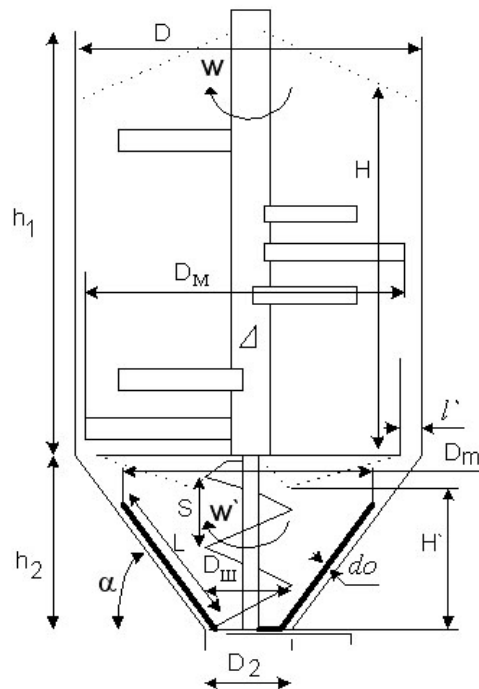


Рисунок 2 – Конструктивная схема смесителя-дозатора

Известна мощность (Вт), потребляемая приводом лопастной мешалки:

$$Nn_{л} = K_{Nл} \cdot \rho_c \cdot n_c^3 \cdot D_{л}^5 \quad (12)$$

где $K_{Nл} = 3,87 \cdot \lambda_{л} \cdot Z_{л} \cdot K_1$ – коэффициент мощности; n_c – частота вращения вала лопастной мешалки, s^{-1} ; $D_{л}$ – диаметр лопастной мешалки, м; $\lambda_{л}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для лопастной мешалки; $Z_{л}$ – количество лопастей лопастной мешалки, шт.; K_1 – коэффициент пропорциональности мощности перемешивания лопастной мешалки.

Мощность, потребляемая приводом смесителя-дозатора, Вт

$$Nn_{д} = (N_{схх} + Nn_{д} + Nn_{л}) \cdot k_{п2}, \quad (13)$$

где $k_{п2}$ – поправочный коэффициент; $N_{схх}$ – мощность холостого хода привода лопастной мешалки, Вт.

Длительность перемешивания смеси определяется на основе объема смеси, режима смешивания и необходимого количества воздействий лопастей для достижения потребной равномерности смеси.

Объём зоны смешивания смесителя:

$$V = Q / (T \cdot \rho_c), \quad (14)$$

где Q – производительность смесителя, кг/с; T – длительность смешивания, с.

С учётом конструктивных особенностей ступеней перемешивания предложенного смесителя объём (m^3), активно перемешиваемый лопастями лопастной мешалки (первой ступени смешивания), определится:

$$V_k = 1,5 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot D_m)^2 \cdot h, \quad (15)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий вовлечение соседних слоев материала в активное движение лопастей; h – ширина лопасти, м.

С учётом зависимости, определяющей объём конуса, активно перемешиваемый объём смеси (m^3) на второй ступени смешивания (в коническом смесителе лопастями якорного ворошителя и шнеком) определится (рисунок 2):

$$V_k = \frac{0,5 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot [(0,5D_m)^2 - (0,5D_{ш})^2]}{3}, \quad (16)$$

где D_m – диаметр мешалки второй ступени (ворошителя – якорной мешалки), м; $D_{ш}$ – диаметр шнека смесителя второй ступени, м; α – угол расположения стенок конической ёмкости от горизонтали, град.;

Угол (град) расположения стенок конической ёмкости от горизонтали:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{D - D_2}{2 \cdot h_2} \right), \quad (17)$$

где D – внутренний диаметр ёмкости смесителя-дозатора, м; D_2 – диаметр выгрузного отверстия смесителя-дозатора, м; h_2 – высота ёмкости смесителя второй ступени (конусной ёмкости), м.

Высота (м) заполнения вторичной ёмкости:

$$H' = h_2 - \frac{(D - 2l') - D_2}{2} \sin(\psi), \quad (18)$$

где ψ – угол трения материала смеси в динамике, град.; l' – ширина загрузочной щели конической ёмкости, м; D_2 – диаметр выгрузного отверстия вторичной ёмкости, м.

Время (с) активного смешивания смеси на второй ступени:

$$T = \frac{3600 \cdot V_k \cdot \rho_c}{Q}, \quad (19)$$

где Q – производительность смесителя, т/ч.

Известно качество смеси через промежуток времени смешивания T_c (на данной ступени смешивания):

$$\Theta_k = 1 - e^{-k \cdot (T_H + T_c)}. \quad (20)$$

Зная время активного смешивания на данной ступени смешивания T_c , обеспечивающее конкретное качество смеси, можно определить коэффициент k , характерный для данного смешивания. С учетом начального качества смеси Θ_H и времени его обеспечения на предыдущей ступени смешивания T_H , можно определить качество смеси на выходе смеси с данной ступени смешивания Θ_k .

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа и методика исследований.

Программа исследований включала:

1. Разработку смесителя-дозатора пресс-экструдера, позволяющего смешивать и дозировать зерновую смесь, поступающую в пресс-экструдер.

2. Выявление качественных показателей смешивания и дозирования в зависимости от количества лопаток и частоты вращения мешалки; длины ворошителя, шага и частоты вращения шнека, определение параметров, определяющих минимальную энергоёмкость процесса.

3. Проверку и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований с целью выработки рекомендаций для практических расчётов, проектирования и эксплуатации смесителя-дозатора пресс-экструдера.

4. Получение экспериментальных данных для экономической оценки разработанного смесителя-дозатора в ходе исследований в производственных условиях.

Обработка полученных результатов проводилась на ЭВМ программами Statistica 6.0, Mathcad 11.0, Microsoft Office Excel 2003.

Экспериментальные исследования проводились для отыскания оптимальных и рациональных значений конструктивных и кинематических параметров смесителя-дозатора пресс-экструдера на основе проведения серий многофакторных экспериментов.

Методика проведения экспериментальных исследования предусматривала, кроме проверки теоретических положений, также сочетание факторного анализа и теории многофакторного планирования с учётом предложенной схемы подготовки смесей кормов для экструдирования. Осуществлялся поиск рациональных параметров смесителя-дозатора.

Критериями оценки работы смесителя-дозатора являлись неравномерность смешивания и неравномерность дозирования, затрачиваемая мощность и энергоёмкость, производительность устройства.

Методика проведения замеров соответствовала РД 10.19.2.-90. Производительность определялась взвешиванием порций корма с помощью весов, замер времени осуществлялся секундомером, потребляемая мощность – с помощью измерительного комплекта К-50. Повторность опытов трёхкратная.

В четвертом разделе «Результаты и анализ экспериментальных исследований» представлены экспериментальные зависимости производительности, неравномерности смешивания и энергоёмкости в зависимости от кинематических параметров смесителя-дозатора, определены его оптимальные конструктивные параметры.

Неравномерность дозирования является качественным показателем работы дозаторов и характеризует неравномерность выдаваемого потока материала. Большой разброс величины мгновенной подачи корма дозирующим устройством экструдера приведёт к его нестабильной работе, поэтому исследованиями необходимо выявить режимы, на которых неравномерность дозирования наименьшая.

Полученные экспериментальные данные были проверены на однородность и оказались значимыми. Далее были получены уравнения регрессии, адекватно описывающие неравномерность дозирования смеси смесителем-дозатором. В нераскодированном виде уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta Q = & 1,5199 + 0,6531x_1 - 0,6813x_2 - 0,5659x_3 + 0,1852x_1^2 + 0,1512x_2^2 - \\ & - 0,2035x_3^2 + 0,5208x_1x_2 + 0,1049x_1x_3 + 0,2922x_2x_3 + 1,1379x_1x_2x_3, \end{aligned} \quad (21)$$

где x_1 – фактор «шаг шнека» в кодированном виде; x_2 – фактор «длина ворошителя» в кодированном виде; x_3 – фактор «частота вращения шнека» в кодированном виде.

После раскодирования факторов уравнение регрессии примет вид:

$$\begin{aligned} \Delta Q = & -5,5567 + 0,1179S_{ш} + 0,0568L_6 + 0,3955n_{ш} + 0,00012S_{ш}^2 + \\ & + 0,00004L_6^2 - 0,00204n_{ш}^2 - 0,0011S_{ш}L_6 - 0,0048S_{ш}n_{ш} - \\ & - 0,0031L_6n_{ш} + 0,00004S_{ш}L_6n_{ш}, \end{aligned} \quad (22)$$

где $S_{ш}$ – шаг шнека, мм; L_6 – длина ворошителя, мм; $n_{ш}$ – частота вращения шнека, мин⁻¹.

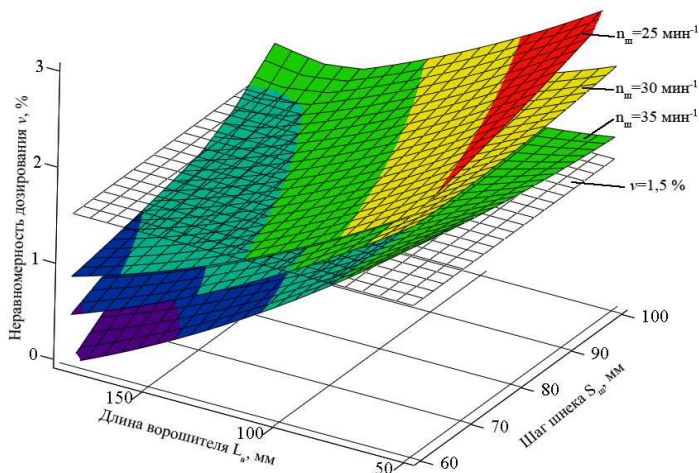


Рисунок 3 – Неравномерность дозирования в зависимости от шага шнека ($S_{ш}$) и длины ворошителя (L_6) при трёх фиксированных значениях частоты вращения ($n_{ш}$)

Полученные данные первого этапа экспериментов позволяют выявить характер влияния каждого параметра на изменение неравномерности дозирования. Так при увеличении шага шнека при неизменной длине ворошителя происходит увеличение неравномерности дозирования смеси, так как выдаваемая за один оборот порция увеличивается, что в совокупности с неравномерным её высыпанием из горловины смесителя-дозатора и приводит к увеличению неравномерности дозирования. Напротив, увеличение частоты вращения шнека при неизменном его шаге, способствует уменьшению неравномерности смешивания, так как повышается равномерность истечения отдельных порций, выдаваемых шнеком. Увеличение длины ворошителя способствует выравниванию плотности смеси, поступающей к шнеку, поэтому увеличение его длины и, соответственно, объёма смеси, которую он рыхлит, положительно сказывается на неравномерности дозирования – приводит к её уменьшению.

Для выявления зависимости неравномерности смешивания от конструктивных и кинематических параметров дозирующего устройства (якорной и шнековой мешалки) получено уравнение регрессии. В кодированном виде оно выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} v = & 51,4889 - 1,415x_1 - 35,696x_2 - 51,05x_3 + 27,7239x_1^2 + 20,2709x_2^2 + \\ & + 16,7949x_3^2 + 15,818x_1x_2 + 3,784x_1x_3 + 38,932x_2x_3 - 3,622x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (23)$$

После раскодирования факторов уравнение регрессии примет вид:

$$\begin{aligned} v = & 919,89 - 4,2718S_{ш} - 4,2706L_6 - 24,108n_{ш} + 0,0173S_{ш}^2 + \\ & + 0,0048L_6^2 + 0,168n_{ш}^2 + 0,0103S_{ш}L_6 + 0,0255S_{ш}n_{ш} - \\ & + 0,0710L_6n_{ш} - 0,00013S_{ш}L_6n_{ш}. \end{aligned} \quad (24)$$

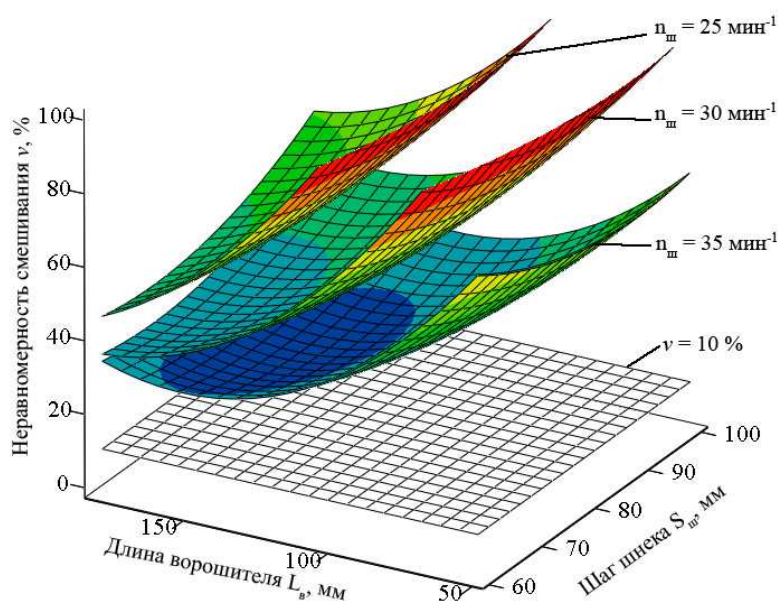


Рисунок 4 – Зависимость неравномерности смешивания от шага шнека ($S_{ш}$) и длины ворошителя ($L_{в}$) при трёх фиксированных значениях частоты вращения ($n_{ш}$)

Графический анализ зависимости (24) позволяет сделать вывод о том, что минимальная неравномерность смешивания наблюдается при шаге шнека дозатора – 76 мм, длине ворошителя – 137 мм и частоте вращения 35 мин^{-1} . Но даже при данной частоте вращения неравномерность смешивания не достигает порогового значения в 10 %, что говорит о необходимости дополнительного перемешивания.

На втором этапе экспериментов устанавливаем в бункер смесителя-дозатора лопастную мешалку и определяем её рациональные параметры исходя из наименьшей неравномерности смешивания.

Для выявления зависимости неравномерности смешивания от конструктивных и кинематических параметров первой ступени смешивания (лопастной мешалки смесителя) был реализован факторный эксперимент. Полученные данные были проверены на однородность и оказались значимыми. Далее были получены уравнения регрессии, адекватно описывающие неравномерность смешивания компонентов смесителем-дозатором при работе всего комбинированного рабочего органа. В кодированном виде уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$v = 11,813 - 0,461x_4 - 2,740x_5 - 0,644x_4^2 - 1,827x_5^2 - 0,563x_4x_5, \quad (25)$$

где x_4 – фактор «количество лопастей мешалки» в кодированном виде; x_5 – фактор «частота вращения мешалки» в кодированном виде.

После раскодирования факторов уравнение регрессии неравномерности смеси (%) примет вид:

$$v = 9,788 + 0,5789z + 0,0359n_m - 0,0403z^2 - 0,00018n_m^2, \quad (26)$$

где z – количество лопастей лопастной мешалки, шт.; n_m – частота вращения лопастной мешалки, мин^{-1} .

По уравнению (26) строим поверхность отклика (рисунок 5).

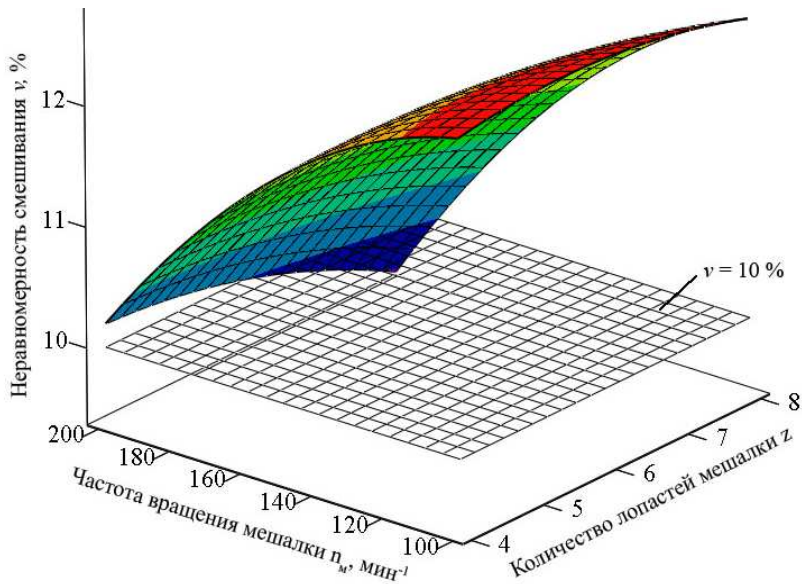


Рисунок 5 – Зависимость неравномерности смешивания от частоты вращения мешалки (n_m) и количества лопастей (z)

Графический анализ полученных зависимостей позволил определить рациональные интервалы изменения значений конструктивных и кинематических параметров (таблица 1), при которых неравномерность смешивания остаётся в пределах зоотребований.

Таблица 1 – Рациональные конструктивные и кинематические параметры смесителя-дозатора при соблюдении требований на неравномерность смешивания

Частота вращения мешалки, мин^{-1}	Число лопастей мешалки, шт.	Неравномерность смешивания v , %
190...200	6...8	$v \leq 10$

Таким образом, определены основные конструктивные и кинематические параметры смесителя-дозатора, которые позволяют изготовить производственный образец.

После проверки на однородность по полученным экспериментальным данным рассчитаны уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс. В кодированном виде уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$E = 0,667 + 1,199x_1 + 0,094x_2 + 0,758x_3 + 0,11x_1^2 + 0,04x_2^2 + 0,057x_3^2 - 0,001x_1x_2 + 0,503x_1x_3 + 0,012x_2x_3 + 0,001x_1x_2x_3. \quad (27)$$

После раскодирования факторов и учёта значимости, уравнение регрессии примет вид (рис.6):

$$E = -0,0241 - 0,0185S_{uu} - 0,0012L_g - 0,061n_{uu} + 0,00007S_{uu}^2 + 0,00001L_g^2 + 0,00057n_{uu}^2 + 0,0013S_{uu}n_{uu}. \quad (28)$$

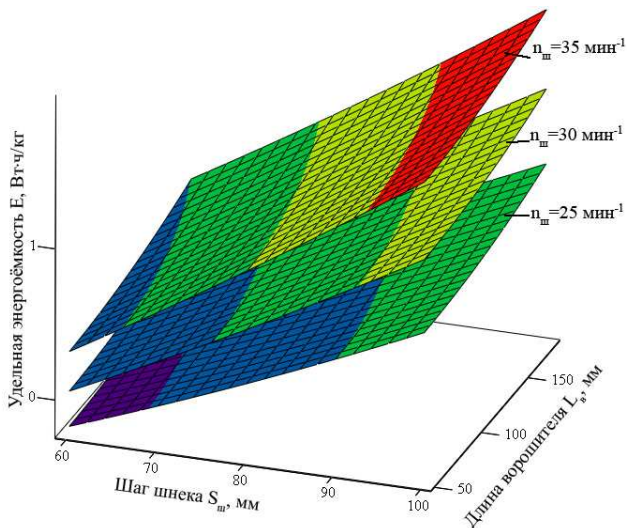


Рисунок 6 – Энергоёмкость дозирования при различной частоте вращения шнека

Как видно из рисунка 6, энергоёмкость дозирования возрастает при увеличении каждого из факторов. При этом её наименьшее значение будет при минимальных значениях конструктивных параметров. Для значений показателей, обеспечивающих соблюдение зоотребований, значение энергоёмкости составит 0,895 Вт·ч/кг (таблица 2).

Таблица 2

Шаг шнека $S_{ш}$, мм	Длина ворошителя $L_{в}$, мм	Частота вращения n , мин ⁻¹	Энергоёмкость E , Вт·ч/кг
76	137	35	0,895

Данные указанные в таблице 2, принимали как исходные при проведении третьего этапа эксперимента, направленной на исследование энергоёмкости смешивания. В данном случае энергоёмкость дозирования (второй ступени) принималась как постоянная, а всё потреблялось выше неё – относим к смесителю.

После проверки на однородность по полученным экспериментальным данным рассчитаны уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс. В кодированном виде уравнение регрессии энергоёмкости выглядит следующим образом:

$$E = 1,473 + 0,128x_4 + 0,192x_5 + 0,064x_4x_5. \quad (29)$$

После раскодирования факторов уравнение регрессии примет вид:

$$E = 1,137 + 0,008z + 0,001n_{ш} + 0,00016zn_{ш}. \quad (30)$$

Графически уравнение (30) показано на рисунке 7. Из графика видно, что энергоёмкость возрастает при увеличении частоты вращения и количества лопастей мешалки.

Меньшее значение энергоёмкости наблюдается при количестве лопастей мешалки 4 шт., частоте вращения 100 мин⁻¹ и составляет 1,3 Вт·ч/кг. Однако не соблюдаются зоотребования на качество смеси.

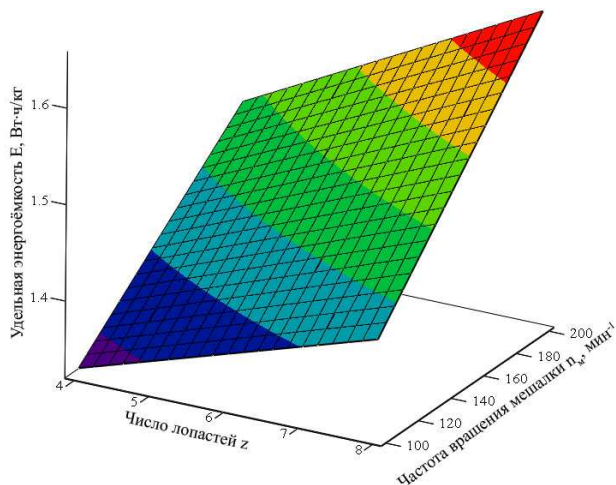


Рисунок 7 – Энергоёмкость смешивания и дозирования

Исследуя зависимость энергоёмкости от подачи (Q , т/ч) смесителя-дозатора, получили следующую зависимость:

$$E = 2,617 + 0,0065 \cdot Q + 0,000008 \cdot Q^2. \quad (31)$$

В пятом разделе «Исследования смесителя-дозатора пресс-экструдера в производственных условиях. Экономическая оценка результатов исследований». Исследования смесителя-дозатора пресс-экструдера в производственных условиях проводились на базе кормоцеха СПК имени Ленина Самарской области.

Производственная проверка модернизированного экструдера показала высокую работоспособность, хорошее качество получаемых кормов (неравномерность смешивания соответствовала зоотехническим требованиям). Процесс экструзии протекал устойчиво, без значительных колебаний температуры и загрузки электропривода. Испытываемый смеситель-дозатор является перспективной конструкцией, которая может быть использована в качестве основы для промышленного образца. Расчёт показателей экономической эффективности предложенного решения показал экономическую целесообразность применения разработанного смесителя-дозатора в серийных моделях экструдеров. Годовой экономический эффект от внедрения смесителя-дозатора составил 72360 руб., срок окупаемости инвестиций – 1,5 года.

Общие выводы

1. Разработанная конструктивно-технологическая схема смесителя-дозатора пресс-экструдера (новизна технического решения подтверждена патентом РФ №2435461) и изготовленный на её основе экспериментальный образец смесителя-дозатора позволили повысить производительность пресс-экструдера за счёт подачи уплотнённой зерновой смеси, снизить энергоёмкость дозирования корма до 0,6...0,8 кВт·ч/т.

2. Проведенные аналитические исследования позволили выявить влияние конструктивных и кинематических параметров смесителя-дозатора на потребляемую мощность, уточнить зависимости режимных параметров от конструктивно-кинематических факторов, а также установить рациональные значения ряда конструктивных параметров (длина лопастей ворошителя, количества лопастей мешалки и частоты её вращения) с учётом уточнённых значений поправочных коэффициентов.

3. Проведённые экспериментальные исследования смесителя-дозатора пресс

экструдера позволили выявить зависимости неравномерности дозирования, неравномерности смешивания и энергоёмкости смесеобразования от параметров смесителя-дозатора, а также определить рациональные конструктивные и кинематические параметры данного устройства.

Неравномерность смешивания достигает нормируемых 10 % при рациональных (оптимальных) значениях параметров: шаг шнека дозатора – 76 мм, длина ворошителя – 137 мм, частота вращения шнека с ворошителем – 35 мин⁻¹; количество лопастей мешалки – 6...8, частота вращения мешалки – 190...200 мин⁻¹. При этом равномерность смешивания составляет 92 %. Энергоёмкость приготовления смеси и дозированной подачи в пресс-экструдер составляет 1,57...1,63 Вт·ч/кг, при этом энергоёмкость перемешивания компонентов составляет 0,9 Вт·ч/кг. Мощность, затрачиваемая на дозированную подачу смеси в пресс-экструдер составляет 55...57% от всей потребляемой мощности смесителем-дозатором.

4. Исследования модернизированного пресс-экструдера КМЗ-2У с предложенным смесителем-дозатором, проведённые в производственных условиях, показали повышение производительности на 20% в сравнении со штатным вариантом. Годовой экономический эффект от внедрения смесителя-дозатора составит 72360 руб., срок окупаемости инвестиций – 1,5 года.

Основные положения опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Новиков, В. В. Результаты исследования неравномерности дозирования смеси смесителем-дозатором / В.В. Новиков, Д.Н. Азиаткин, А.Л. Мишанин // Нива Поволжья. – № 3 (28). – 2013. – С. 95-101.
2. Коновалов, В. В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В.В. Коновалов, В.В.Новиков, Д.Н. Азиаткин, А. С. Грецов // Известия Самарской ГСХА. – 2013. – С. 72-78.
3. Мишанин, А. Л. Теоретическое обоснование затрачиваемой мощности на смешивание и дозирование материала / А. Л. Мишанин, Е. В. Янзина, Д. Н. Азиаткин // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – С. 93–99.
4. Азиаткин, Д. Н. Определение объёмного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера / Д. Н. Азиаткин, В. В. Новиков, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Н. А. Харыбина // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – № 1 (75). – Барнаул, 2011. – С. 91–94.
5. Азиаткин, Д. Н. Методика определения комплексного показателя качества экструдированного корма и анализ экспериментальных данных / Д. Н. Азиаткин, С. В. Денисов, И. В. Успенская, А. С. Грецов // Известия Самарской ГСХА. – 2012 – С. 84–88.

Патенты РФ на изобретения и полезные модели

6. Пат. №2435461 РФ. Смеситель-дозатор пресс-экструдера / Л.В. Иноземцева, В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Г.С. Мальцев, Д.Н. Азиаткин, С.П. Симченкова. – № 2010125628/13; заяв. 22.06.2010; опуб. 10.12.11, Бюл. №. 34.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций

7. Азиаткин, Д. Н. Обзор существующих типов смесителей для приготовления кормов / Д. Н. Азиаткин, Н. В.Димитриев, А. В.Чупшев // Вклад молодых

- учёных в инновационное развитие АПК России - Сборник материалов Всероссийской НПК молодых учёных. – Пенза, 2010. – С.174–175.
8. Азиаткин, Д. Н. К вопросу стабильности витаминов при экструдировании растительного сырья / Д. Н. Азиаткин, Н. А. Харыбина // Молодые учёные АПК Самарской области: сборник научных трудов. – Самара: РИО СГСХА, 2010. – С. 139–141.
 9. Азиаткин, Д. Н. К определению производительности смесителя-дозатора пресс-экструдера / Д.Н. Азиаткин // Образование, наука, практика: инновационный аспект - Сборник материалов международной НПК, посвящённой 60-ти летию ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА. – т.2 – Пенза: РИО ПГСХА, 2011. – С. 186–189.
 10. Азиаткин, Д. Н. Методика и результаты определения физико-механических свойств кормов / Д. Н. Азиаткин, В. В. Новиков, С. П. Симченкова // Образование, наука, практика: инновационный аспект - Сборник материалов международной НПК, посвящённой 60-ти летию ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА. – т.2 – Пенза: РИО ПГСХА, 2011. – С. 196–198.
 11. Азиаткин, Д. Н. Обоснование необходимости разработки смесителя для пресс-экструдера зерна / Д. Н. Азиаткин // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России - Сборник материалов Всероссийской НПК студентов, аспирантов и молодых ученых, проводимой по программе Всероссийского фестиваля науки и посвященной 60-летию ФГОУ ВПО Пензенская ГСХА. – 2011. – С. 311–312.
 12. Азиаткин, Д. Н. Смеситель ингредиентов для пресс-экструдера зерна/ Д.Н. Азиаткин // Инновационные технологии в пищевой промышленности и агропромышленном комплексе - Материалы всероссийской НПК с международным участием. – Пенза: РИО ПГСХА, 2011. – С. 9–13.
 13. Азиаткин, Д. Н. Классификация и анализ устройств для смешивания кормов / Д. Н. Азиаткин // Вклад молодых учёных в науку Самарской области. Сборник научных трудов. – Самара, 2012. – С. 215–222.
 14. Азиаткин, Д. Н. Моделирование приготовления смеси для экструдера / Д. Н. Азиаткин, А. Л. Мишанин, И. Л. Орси́к // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России. Сборник материалов Всероссийской конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – С. 74–76.

Подписано в печать 08.10.2013 г. Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз.

Заказ № .

Отпечатано с готового оригинал-макета в мини-типографии.

Свидетельство № 5551.

440600, г. Пенза, ул. Московская, 74.