

На правах рукописи

ПРОНИН АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА**

Специальность 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Княгинино – 2024

Работа выполнена в Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (ГБОУ ВО НГИЭУ) на кафедре «Технический сервис»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Булатов Сергей Юрьевич

Официальные оппоненты: **Коновалов Владимир Викторович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», профессор кафедры «Технология машиностроения»;

Никитин Евгений Александрович
кандидат технических наук, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, старший научный сотрудник лаборатории «Инновационные технологии и технические средства кормления в животноводстве»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Защита состоится 24 декабря 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 72.2.016.02 при ГБОУ ВО НГИЭУ по адресу: 606360, Россия, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22а, аудитория 121.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБОУ ВО НГИЭУ и на сайте <https://ngie.u.ru/>.

Автореферат разослан _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тареева Оксана Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Федеральным законом от 29.12.2006 г. №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» установлены первостепенные задачи и направления в сфере развития сельского хозяйства, заключающиеся в повышении конкурентоспособности как в производственной, так и в экономической деятельности, а также содействии устойчивому развитию межселенных территорий и территорий сельских поселений. Основной целью вышеуказанного закона является обеспечение населения продовольственной продукцией российского производства. В то же время Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, продовольствия и сырья с изменениями от 02 сентября 2021 года (Постановление Правительства Российской Федерации №1474) определяет приоритеты и цели государственной политики в развитии пищевой и перерабатывающей промышленности, животноводства и растениеводства с внедрением инновационных технологий, позволяющих достичь целевых показателей для решения одной из первостепенных проблем российского сельского хозяйства – внушительной себестоимости производимой сельхозпродукции (круп, яиц, молока, мяса, овощей, фруктов). Стоит отметить, что эффективное соперничество с иностранными производителями на продовольственном рынке неосуществимо без сокращения затрат и нуждается в постоянном повышении количества и качества производимой продукции. Реализация поставленных задач достигается путем увеличения доли современных сельскохозяйственных комплексов и перерабатывающих предприятий с внедрением передового, эффективного и надежного оборудования с параллельной автоматизацией технологических процессов.

Областью реализации инновационных технологий все чаще становится животноводство. Характерной особенностью данного направления является непрерывный, последовательный технологический процесс, обеспечивающий все потребности, включая сбалансированное кормление и содержание большой концентрации поголовья скота и птицы на животноводческом комплексе. Высокопроизводительное и точное дозирующее оборудование для приготовления комбикормов может повысить эффективность производства, упростить работу обслуживающего персонала, повысить качество и объемы выпускаемой продукции, а также достигнуть существенной экономии средств.

Всеобщее признано, что продуктивность и рост животных и птицы обусловлен качеством кормления, селекцией и условиями содержания. Передовое и эффективное животноводство предполагает необходимость введения макро и микрокомпонентов, различных специальных ингредиентов и периодическое добавление вакцин в сбалансированный рацион. Пищевые, витаминные и лечебные добавки способны существенно улучшить качество производимой продукции, а групповая вакцинация через рацион животных и птицы – защитить поголовье, что очень важно в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки.

Основным недостатком существующих дозирующих устройств и линий по приготовлению комбикормов является недостаточная точность дозировки, зависящая от множества факторов, приводящая к недостатку, либо чрезмерной

концентрации минеральных веществ и витаминов в приготовленном корме для животных. Несоблюдение технологического процесса крайне негативно сказывается на здоровье и репродуктивности животных, что влияет на объемы производства и грозит потерей его эффективности. Точное дозирование обеспечит соблюдение рецептуры приготовления комбикорма для птиц и животных, что положительно скажется на их содержании и здоровье, при этом существенно стимулируется увеличение прироста поголовья, а также значительно экономятся дорогостоящие компоненты, входящие в состав повседневного рациона.

Степень разработанности темы. Научными исследованиями по совершенствованию процесса дозирования сыпучих ингредиентов в процессе приготовления продукции, занимались В.Р. Алешкин, А.В. Алешкин, В.М. Барановский, С.Ю. Булатов, А.С. Буркина, П.В. Давыденко, Р.Л. Зенков, А.В. Каталымов, В.А. Керженцев, В.В. Коновалов, М.А. Лапиков, Е.А. Никитин, С.И. Поляков, Г.А. Родыгинский, А.Г. Сергеев, П.А. Савиных, В.А. Сысуев, В.И. Солодун, О.А. Тареева, И.В. Юдаев, Р. А. Chongchitpaisan, R. Nevko, D. Minglani, T.O. Olanrewaju, Z. Yang и другие ученые.

При анализе существующих научных исследований выявлено, что проблемной ситуацией в производстве комбикормов является наличие в нем большого количества компонентов с разными физико-механическими свойствами, что требует либо применения большого количества дозирующих устройств, либо перенастройки дозаторов под конкретный элемент комбикорма. Поэтому разработка современных универсальных дозирующих устройств с высокими показателями точности дозирования является актуальной задачей, позволяет оптимизировать технологические процессы дозирования, исключить использование неквалифицированной рабочей силы, улучшить качество и уменьшить себестоимость комбикорма.

Цель исследования – повышение эффективности дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма двухшнековым дозатором.

Задачи исследования:

1. Провести анализ конструкций дозирующих устройств сухих сыпучих компонентов, применяемых в агропромышленном комплексе и обосновать конструкцию дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма.

2. Получить теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

3. Провести экспериментальные исследования рабочего процесса двухшнекового дозирующего устройства сухих сыпучих компонентов комбикорма и оценить влияние конструкционных и режимных параметров дозатора на точность дозирования.

4. Испытать двухшнековый дозатор в производственных условиях и оценить технико-экономическую эффективность от применения двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Объект исследования: процесс дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Предмет исследования: конструкционные и технологические параметры, а также показатели точности дозирования двухшнекового дозатора для сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Научную новизну работы составляют:

1. Теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

2. Конструкция двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов (патент на изобретение № 2813794 Российской Федерации).

3. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 Российской Федерации).

4. Оптимальные параметры двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма, обеспечивающих допустимую точность дозирования.

Теоретическая и практическая значимость

Выведены аналитические зависимости, с помощью которых можно рассчитать массу дозируемого компонента, досыпаемую дозатором при торможении и массу компонента, находящегося в состоянии свободного падения, которые не оказывают влияние на датчики веса и являются погрешностью дозирования. Значение суммы этих масс вводится в программу управления дозатором, тем самым повышается точность дозирования.

Ценность работы с практической точки зрения заключается в возможности применения предложенного дозатора и программы управления им фирмами-производителями соответствующего оборудования и комбикормов с целью повышения точности ввода компонентов комбикорма.

Производственная проверка двухшнекового дозатора компонентов комбикорма проводилась в составе линии по производству корма для КРС в ООО ПЗ «Большемурашкинский». Полученные результаты исследований переданы ЗАО «Доза-Агро» Нижегородской области. Результаты производственных испытаний и внедрения научных исследований рабочего процесса двухшнекового дозатора компонентов комбикорма подтверждены соответствующими документами.

Теоретическая и методологическая основа исследования

С целью установления актуальности направления научных исследований изучались материалы международных научных и отраслевых конференций, выставок, сайтов ведущих производителей, новейшие технологические и технические решения в сфере дозирующих систем, современные устройства дозирования сухих сыпучих компонентов, выпускаемые зарубежными и отечественными компаниями: «АффиксПро», TrueWeighTM, DEGA, SHINI, «ПТФ «Техпром»», «Upack-tech» и др. Проанализированы источники научно-технической и патентной литературы, осуществлено сравнительное исследование существующих конструкций дозаторов.

Теоретические исследования основаны на законах теоретической механики. Исследования проводились с использованием программы для статистического анализа и обработки данных Statgraphics, а также программ

математического моделирования, анализа и обработки данных, многофункциональных интерактивных вычислительных систем, трехмерного проектирования (MathCad, MS Excel, Компас 3D и др.). При проведении научных исследований применялась современная измерительная аппаратура и вычислительная техника, задействовались экспериментальные лабораторные установки для определения точности дозирования.

Достоверность основных положений работы подтверждается высокой степенью сходимости результатов теоретических расчетов и эксперимента, применением известных способов оценки точности дозирования, большим объемом проведенных экспериментальных исследований, применением современного высокоточного измерительного и вычислительного оборудования, апробацией результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

2. Конструкция двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов (патент на изобретение № 2813794 Российской Федерации, приложение А).

3. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 Российской Федерации).

4. Оптимальные параметры двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма, обеспечивающих допустимую точность дозирования.

Апробация результатов работы. Основные положения научной работы и результаты исследований обсуждались на международных, всероссийских научных конференциях: I Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире» (г. Княгинино, НГИЭУ, 2021 г.); II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире» (г. Княгинино, НГИЭУ, 2023 г.); XXVII Международной научно-практической конференции «Инновационная техника и цифровые технологии в животноводстве» (г. Москва, ФНАЦ ВИМ, 2023 г.); III Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире» (г. Княгинино, НГИЭУ, 2024 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 8 публикаций в рецензируемых научных изданиях, получены 1 патент РФ на изобретение и 1 свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора в работу. По теме диссертации автором лично и при его непосредственном участии выполнены все этапы работы, включающие проведение критического обзора существующих дозирующих устройств сухих сыпучих компонентов, постановку проблемы, формулировку цели и задач исследований, разработку двухшнекового дозатора компонентов комбикорма, определение параметров и режимов работы двухшнекового дозатора сыпучих материалов, изготовление лабораторного образца установки, экспериментальное подтверждение

теоретических предпосылок и установление оптимальных факторов при дозировании сухих сыпучих компонентов, где погрешность не превышает допустимого значения, проведение производственных испытаний разработанного устройства и определение его экономической и энергетической эффективности.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы со 123 наименованиями, изложена на 134 листах машинописного текста, содержит 58 рисунков, 9 таблиц, 19 приложений.

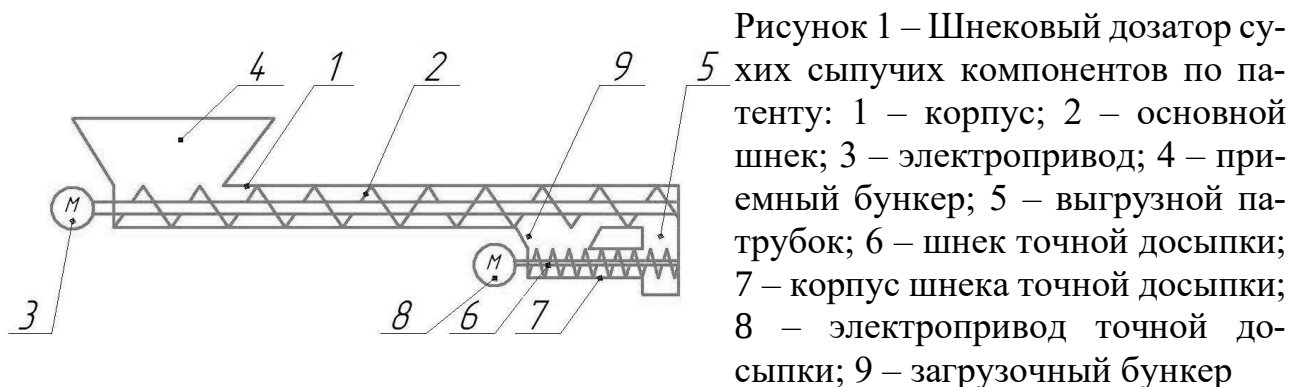
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, дана общая характеристика работы, изложены основные научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

Первый раздел «Состояние вопроса и задачи научных исследований» посвящен анализу дозирующих устройств, в результате которого выявлено, что на предприятиях агропромышленного комплекса при производстве комбикормов продукции эффективно и целесообразно применение шнековых дозирующих устройств в связи с их высокой точностью, надежностью и универсальностью, широким диапазоном пропускной способности. При анализе конструкций шнековых дозаторов установлен один из главных недостатков – узконаправленность, что вызывает необходимость в подборе настроечных параметров при дозировании материалов с разными физико-механическими свойствами. На основании проведенного анализа научной и патентной литературы с целью повышения точности дозирования компонентов комбикорма с разными физико-механическими свойствами, предложена конструкция дозатора с двумя шнеками, приводимыми в действие от двух электроприводов. Отметим, что с целью повышения производительности дозатора, основной шнек выполнен с большими габаритами, а шнек досыпки обладает меньшими размерами.

Во втором разделе «Определение параметров и режимов работы шнекового дозатора сыпучих материалов» представлена схема двухшнекового дозатора и описание последовательности его работы. Дозирующее устройство функционирует следующим образом. В бункер 4 загружается сыпучий компонент (рисунок 1). На электрическом коммутационном шкафе со встроенным сенсорным дисплеем и контроллером вводятся необходимые технологические параметры. При подаче напряжения на асинхронный электропривод 3 передается вращательное движение на шнек 2, происходит захват элементов компонента и осуществляется его транспортировка через корпус 1 к выгрузному патрубку 5. Далее компонент осыпается с высоты h_i под влиянием силы тяжести на горизонтальную плоскость приемной площадки. Приемная площадка установлена на весоизмерительных тензодатчиках. По окончании основной загрузки компонента система управления отключает асинхронный электропривод 3 шнека 2 основной насыпки, и включает электропривод 8 шнека 6 точной досыпки. Компонент под действием витков из бункера 9 попадает в тару, расположенную на приемной площадке. Системой управления проводится постоянный мониторинг поступающих данных от

тензодатчиков и при достижении заданной массы компонента осуществляется подача сигналов на отключение электродвигателей.



Каждый шнек дозатора работает по одному режиму, представленному на рисунке 2.

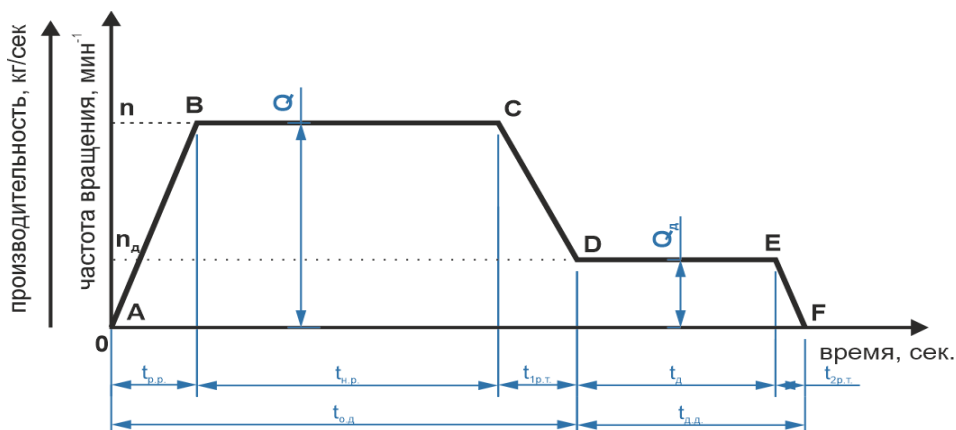


Рисунок 2 – График работы шнекового дозирующего устройства: $t_{p.p.}$ – период режима разгона, $t_{н.р.}$ – период работы в номинальном режиме работы, $t_{1р.т.}$, $t_{2р.т.}$ – период режима торможения, t_d – период досыпки, Q – производительность в номинальном режиме, Q_d – производительность при досыпке, n – частота вращения шнека при основной насыпке, n_d – частота вращения шнека при досыпке

Основная часть дозируемого материала подается при максимально возможной частоте вращения n , а к концу дозирования она снижается до частоты вращения досыпки n_d . Это сделано с целью снижения погрешности дозирования. Из графика видно, что остановка шнека осуществляется не мгновенно, а постепенно, что может привести к увеличению фактической массы навески относительно заданной. Таким образом, необходимо обоснование режимов работы дозирующего устройства и выявление влияния его параметров на точность дозирования.

При проведении теоретических расчетов по обоснованию влияния параметров шнекового дозатора на фактическую массу навески приняты допущения и ограничения:

1. Сыпучий компонент, перемещающийся по шнековому дозатору и находящийся в состоянии свободного падения, представляет собой сплошной поток.

2. Обвал слоя компонента в межвитковом пространстве при прекращении (замедлении) движения шнека не принимается к рассмотрению.

3. При падении компонента на горизонтальную плоскость приемной площадки формирует конус с углом естественного откоса φ (рисунок 3, а). В качестве начальной точки падения из дозатора принимаем точку центра масс слоя материала u_c в дозаторе (рисунок 3, б), а в качестве конечной точки падения – координату вершины конуса, образовавшегося из сыпучего материала.

4. Падающий слой сыпучего компонента представляет из себя симметричный, равномерный материал в течение всего падения. Его допустимо изобразить в виде определенного элементарного количества, обладающего минимальной высотой (толщиной), площадью основания пропорциональной площади выгрузки;

5. Момент срабатывания датчика минимален и допустимо его к учету не принимать.

6. Угловым смещением сегмента $S_{\text{сег}}$ при вращении шнека пренебрегаем.

В соответствии с графиком работы шнекового дозирующего устройства с учетом особенности работы взвешивающего устройства перемещаемую массу сыпучего компонента можно представить как сумму из следующих слагаемых:

$$M = M_{\text{о.д.}} + M_{\text{д.д.}} = M_o + [M_{\text{п}} + M_{1\text{р.т.}} + M_{\text{д}} + M_{2\text{р.т.}}], \quad (1)$$

где $M_{\text{о.д.}}$ – основная масса дозирования сыпучего компонента; $M_{\text{д.д.}}$ – масса дополнительного дозирования сыпучего компонента; M_o – масса сыпучего компонента, располагающаяся на площадке во время включения датчика; $M_{\text{п.}}$ – масса сыпучего компонента, пребывающего в воздухе после включения датчика; $M_{1\text{р.т.}}$, $M_{2\text{р.т.}}$ – масса сыпучего компонента, дозируемого во время торможения шнека дозирующего устройства с частотой вращения от n до n_d и от n_d до 0 мин^{-1} ; M_d – масса сыпучего компонента, выдаваемого в процессе досыпки.

Погрешность дозирования возникает от неучтенной массы $M_{2\text{р.т.}}$ компонента, который досыпается шнеком при его торможении, и материала, находящегося в падении (масса $M_{\text{п.}}$). Данные массы вносятся в программу управления шнеком, компенсируя погрешность, поэтому проведены расчеты по определению этих масс.

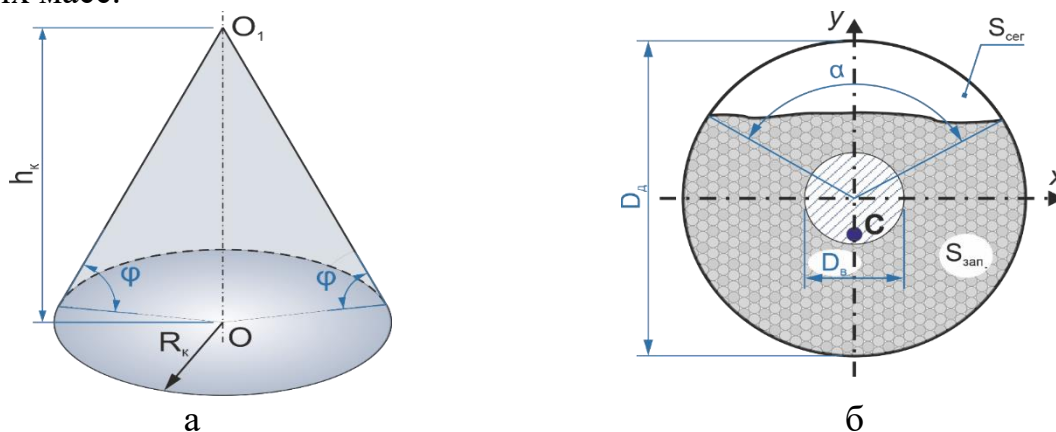


Рисунок 3 – Расчетные схемы: а – схема к определению объема конуса; б – центр тяжести компонента, расположенного в межвитковом пространстве шнека

Массу $M_{p.т.}$, выдаваемую шнеком в условиях торможения, можно представить в виде:

$$M_{p.т.} = TS\psi\rho k \int_0^{t_{p.т.}} n(t) dt, \quad (2)$$

где T – шаг витков шнека; S – площадь поперечного сечения дозирующего устройства; ψ – степень заполнения сыпучим компонентом поперечного сечения шнекового дозирующего устройства; ρ – насыпная плотность сыпучего компонента; n – частота вращения шнека; k – поправочный коэффициент на угол наклона шнека (для горизонтально расположенного шнека $k = 1$); $n(t)$ – закон изменения частоты вращения (торможения) шнека, который в первой интерполяции опишем в формате выражения $y=ax+b$:

$$n(t) = \frac{n_k - n_0}{\Delta t_{p.т.}} t + n_0, \quad (3)$$

где n_0 , n_k – начальная и конечная частоты вращения; t – текущее время; $\Delta t_{p.т.}$ – время торможения.

После интегрирования формулы (2) с учетом (3) получим уравнение для определения массы, которая будет перемещена шнеком в момент его торможения с начальной частотой вращения и до полной остановки:

$$M_{2p.т.} = TS\psi\rho k \left(\frac{-n_0}{2\Delta t_{2p.т.}} t^2 + n_0 t_k \right). \quad (4)$$

Согласно выражению (3) построена поверхность, отображающая результат воздействия частоты вращения шнека и подачи на массу, которая будет перемещена шнеком в момент его торможения с частоты вращения n_0 до 0 мин^{-1} (рисунок 4). Проанализирован максимально допустимый диапазон частоты вращения шнека. В исследуемом интервале частоты вращения при ее возрастании в 5 раз (с $18,7$ до $94,8 \text{ мин}^{-1}$) количество компонента, транспортируемого шнеком, увеличивается в 3,7 раза. Минимальная величина подачи для исследуемого шнека ДШ-60 составляет $0,8 \text{ кг/мин}$. Таким образом, наименьшая масса, транспортируемая шнеком ДШ-60 в процессе торможения, равна 10 г . При максимальной частоте вращения $n=94,8 \text{ мин}^{-1}$ и подаче $Q = 0,8 \text{ кг/мин}$ $m = 37 \text{ г}$.

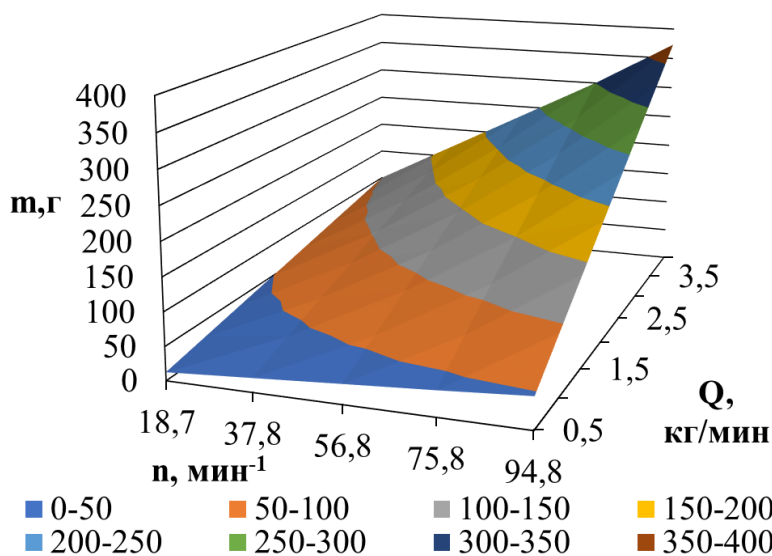


Рисунок 4 – Воздействие частоты вращения шнека и подачи компонента на массу, транспортируемую шнеком в режиме торможения

Для определения массы $M_{п}$ компонента, находящегося в падении, разработана расчетная схема (рисунок 5).

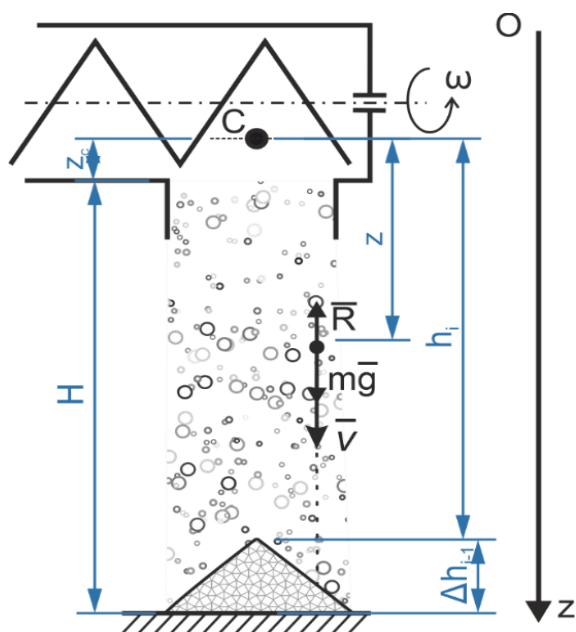


Рисунок 5 – Расчетная модель к определению момента полета элемента сыпучего компонента

нента, м/с.

Далее после преобразования и интегрирования получим выражение:

$$-\frac{m}{\gamma} \left(\ln \left(1 - \frac{\gamma}{gm} v \right) \right) = t. \quad (8)$$

Выразим из формулы (8) скорость и проинтегрируем. Тогда получаем выражение для расчета высоты падения компонента:

$$z = g \frac{m^2}{\gamma^2} \left(e^{-\frac{\gamma}{m} t} - 1 \right) + g \frac{m}{\gamma} t. \quad (9)$$

Время падения находили при численном решении уравнения (9) в программе MatCad Prime.

Подставим уравнение (7) в выражение (9). После преобразования получим уравнение взаимосвязи между высотой и временем падения компонента:

$$z = \frac{\vartheta_{\text{вит}}^2}{g} \left(e^{-\frac{g}{\vartheta_{\text{вит}}} t_{\text{п.расч.}}} - 1 \right) + \vartheta_{\text{вит}} t_{\text{п.расч.}}. \quad (10)$$

Рецептура комбикормов состоит из различных компонентов, скорость витания которых различается. Проанализируем воздействие скорости витания элементов, характеризующее вид материала и высоту падения на количество компонента, пребывающего в состоянии свободного падения, при постоянной величине подачи компонента $Q = 0,8$ кг/мин (рисунок 6). По построенному графику возможно установить разность в массе материалов при одинаковом значении высоты столба падения. К примеру, имея высоту столба падения 200 мм, масса материала со скоростью витания 1 м/с достигает 4,4 г, а материал с $\vartheta_{\text{вит}} = 9$ м/с составляет 2,7 г.

Чтобы определить общую массу дозируемого материала, определяющую погрешность дозирования, следует совместно использовать графики, изображенные на рисунках 4 и 6. К примеру, скорость витания мела и соли отличается в

Уравнение падения элемента для расчетной модели имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{R} + m\bar{g}, \quad (5)$$

где $\bar{R} = \gamma v$ – сила аэродинамического сопротивления; γ – коэффициент парусности.

При проецировании на ось ординат получим выражение:

$$-ma = R - mg \text{ или } \dot{v} + \frac{\gamma}{m} v = g. \quad (6)$$

Коэффициент парусности определяется по общеизвестной формуле:

$$\gamma = \frac{mg}{v_{\text{вит}}}, \quad (7)$$

где $v_{\text{вит}}$ – скорость витания элементов сыпучего компонента

восемь раз, а плотность имеет различия в два раза. При частоте вращения вала шнека $18,7 \text{ мин}^{-1}$ и высоте накопительного бункера 1 метр масса мела в падении составит 13,2, а соли – 6,6 г. При неизменных условиях шнеком в момент его торможении дополнительно переместится 3,2 г мела и 6,3 г соли. Таким образом, суммарно после активации датчика будет дополнительно добавлено 16,4 г мела и 12,9 г соли.

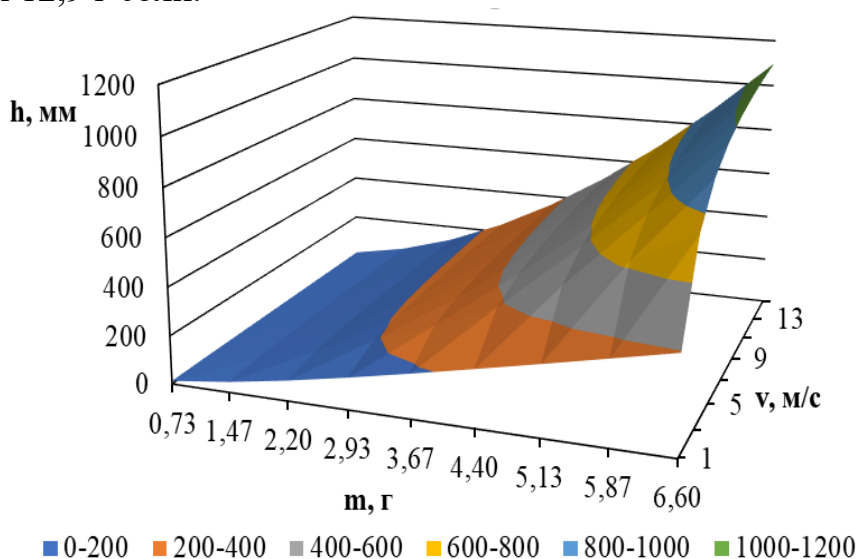


Рисунок 6 – Зависимость высоты столба падения от скорости вращения компонента и массы компонента, пребывающего в свободном падении при $Q = 0,8 \text{ кг/мин}$

В третьем разделе «Методика экспериментальных исследований» описаны программа и методика экспериментальных исследований, представлены лабораторные установки и необходимое приборное обеспечение.

Программа исследований включала оценку:

- 1) точности дозирования сухого компонента комбикорма при работе устройства с асинхронным и шаговым электроприводом;
- 2) влияния асинхронного и шагового электроприводов на точность дозирования сыпучих компонентов в режиме дозирования двумя шнеками.

Лабораторная установка была изготовлена в виде отдельно стоящих дозаторов, что упрощало наблюдение за изменениями исследуемых параметров. Установка (рисунок 7, а) включала раму со встроенными в нее тензодатчиками, на которые опирается приемная площадка, две отдельно стоящие металлические конструкции с загрузочными бункерами, в которых располагаются шнеки (основной ДШ-120 и шнек точной досыпки ДШ-60), имеющие различия по конструкционным параметрам, соединенные посредством редукторов с электроприводами. Система управления дозатором смонтирована в электрическом коммутационном шкафу со встроенным сенсорным монитором. На основании проведенного анализа программ и систем управления дозирующими устройствами было выявлено, что все программы узкоспециализированы, часть из них не учитывает существенные параметры, определяющие погрешность дозирования. Поэтому для оперативного управления дозированием и повышения показателей точности дозирования нами разработана специальная программа, при разработке которой учитывалась особенность конструкции дозатора: наличие двух рабочих органов (шнеков). Программа написана для ПЛК ТМ241С24R, языком

программирования является Structured Text (ST), а средой – EcoStruxure Machine Expert. На программу получено Свидетельство о государственной регистрации № 2023661766 Российской Федерации. Технологические показатели и состав компонентов вносились в программу с помощью сенсорного монитора компании Schneider.



Рисунок 7 – Общий вид лабораторных установок: а – двухшнековый дозатор с асинхронными электродвигателями; б – шнек точной досыпки с шаговым электродвигателем

При исследовании рабочего процесса дозатора с шаговым электродвигателем управление электроприводом осуществлялось с помощью контроллера КН-01 и источника питания 220/48 В (рисунок 7, б).

Оценка точности дозирования проводилась по методикам, представленным в ГОСТ 8.610 - 2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методы испытаний и ГОСТ 8.523-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Расчет средней массы навески проводился по формуле:

$$m_{\text{ср}} = \frac{\sum m_i}{N}, \quad (11)$$

где $m_{\text{ср}}$ – средняя масса полученной навески в каждом эксперименте, г; m_i – масса i -ой навески в опыте, г; N – количество повторностей.

Погрешность дозирования при недосыпке (+) и пересыпке (-) компонента с учетом средней массы рассчитывали по общеизвестным выражениям:

$$\delta_- = \frac{m_{\text{ср}} - m_{\text{min}}}{m_{\text{ср}}} \times 100\% \text{ и } \delta_+ = \frac{m_{\text{ср}} - m_{\text{max}}}{m_{\text{ср}}} \times 100\%, \quad (12)$$

где δ_- , δ_+ – погрешность дозирования при пересыпке и недосыпке компонента соответственно; m_{max} , m_{min} – максимальная и минимальная массы навесок компонента из одной повторности, г.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований двухшнекового дозатора компонентов комбикорма» представлены результаты

исследований по функционированию двухшнекового дозатора.

На первом этапе проведены однофакторные эксперименты, целью которых являлось определение минимальной частоты вращения шнека и массы навески, получаемой при дозировании с установленным в качестве привода шнека точной досыпки асинхронным электродвигателем. По итогам исследований определены минимальные частоты вращения шнека – 5 Гц и масса навески – 100 г.

Для определения влияния факторов при дозировании зерна реализован план Бокса-Бенкина для 5 факторов. Интервалы варьирования частоты n_1 вращения шнека изменялись от 30 до максимальных 50 Гц, уставка досыпки m составляла 30, 80 и 130 г, уставка включения скорости досыпки t – 10, 50 и 90 %, уставка частоты досыпки n_2 дозаторов устанавливалась 40, 70 и 100 Гц от n_1 , масса навески M_Z – 150, 350 и 550 г. Оценивали влияние перечисленных факторов на погрешность дозирования δ .

В результате реализации опытов получена модель регрессии при доверительной вероятности 95,0%:

$$\begin{aligned} \delta = & -29,35 + 2,72 \cdot n_1 - 0,79 \cdot m + 0,80 \cdot t - 0,60 \cdot n_2 - 0,07 \cdot M_Z - \\ & -0,004 \cdot n_1 \cdot M_Z + 0,001 \cdot m \cdot M_Z + 0,005 \cdot t^2 - 0,007 \cdot t \cdot n_2 - \\ & -0,002 \cdot t \cdot M_Z + 0,01 \cdot n_2^2 + 0,0002 \cdot M_Z^2. \end{aligned} \quad (13)$$

На основании модели (13) в программе Statgraphics определена оптимальная комбинация исследуемых факторов, при которой погрешность не превышает допустимое значение при дозировании зерна, соли и мела: $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9$ % от n_1 (12,42 Гц), $M_Z = 202,8$ г. На рисунке 8 представлено влияние уставки упреждения досыпки m при фиксированных величинах остальных факторов.

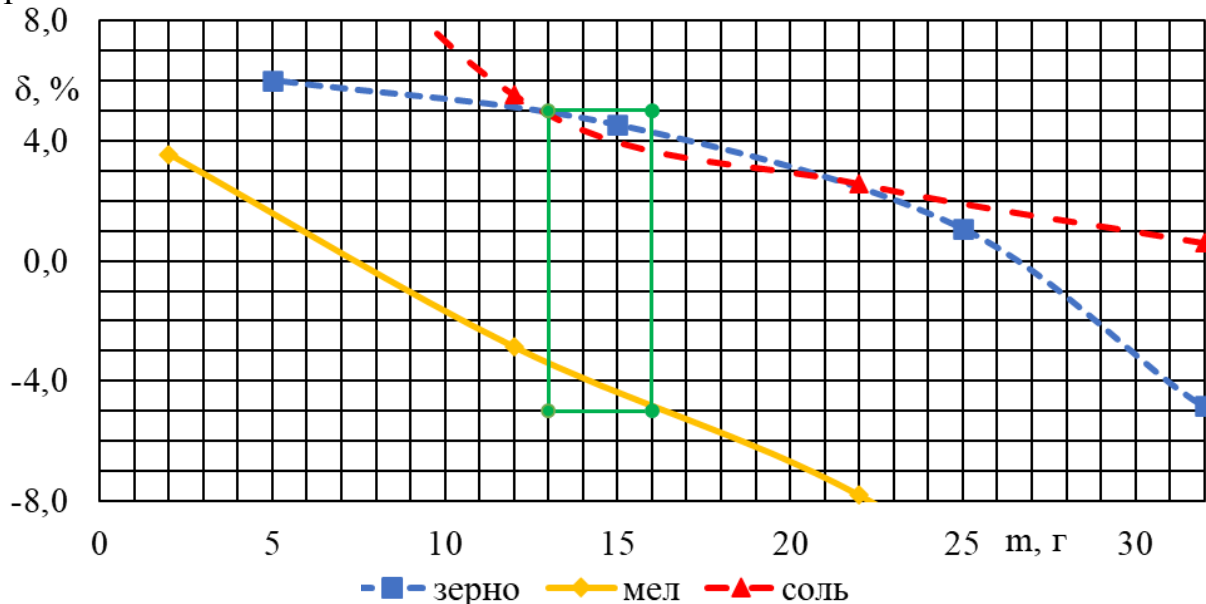


Рисунок 8 – Влияние уставки упреждения досыпки m на точность дозирования при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9$ % от n_1 (12,42 Гц), $M_Z = 202,8$ г

Установлено, что допустимая погрешность дозирования для всех исследуемых компонентов достигается при значениях уставки упреждения досыпки

m, равной 13...16 г. Сравнение полученных результатов с теоретическими (теоретическая масса досыпки для мела 16,4 г, для соли – 12,9 г) показывает высокую степень сходимости (до 99 %).

На следующем этапе исследований оценивали работу шнека точной досыпки с шаговым электродвигателем. В результате проведенных однофакторных экспериментов установлено, что для шнека ДШ-60 с шаговым электроприводом минимальная допустимая масса навески, при которой погрешность будет соответствовать нормам ГОСТа, составляет 89 г, что соответствует 40000 шагам.

На заключительном этапе исследований оценивалась работа двухшнекового дозатора в режиме дозирования двумя шнеками. Исследовали влияние уставки включения шнека точной досыпки на погрешность дозирования компонентов, масса навески составляла 1000 г, в качестве электропривода шнека ДШ 60 попеременно применялись шаговый и асинхронный электродвигатели. Установлена допустимая погрешность дозирования при использовании шагового электропривода при уставке включения второго шнека не выше, чем 90% при дозировании зерна, 99% – мела и 66 % – соли (рисунки 9-11). При переводе из процентного соотношения в весовое, переключение на второй шнек при досыпке будет происходить во время дозирования: зерна – 100 г, мела – 10 г, соли – 340 г. Из этого следует, что при навеске большей массы, корректировка может проводиться по граммам, а не по процентному соотношению, что приведет к ускорению процесса дозирования, а следовательно, повышению производительности. При этом использование шагового электродвигателя в качестве привода обеспечивает заметное снижение погрешности дозирования по сравнению с асинхронным.

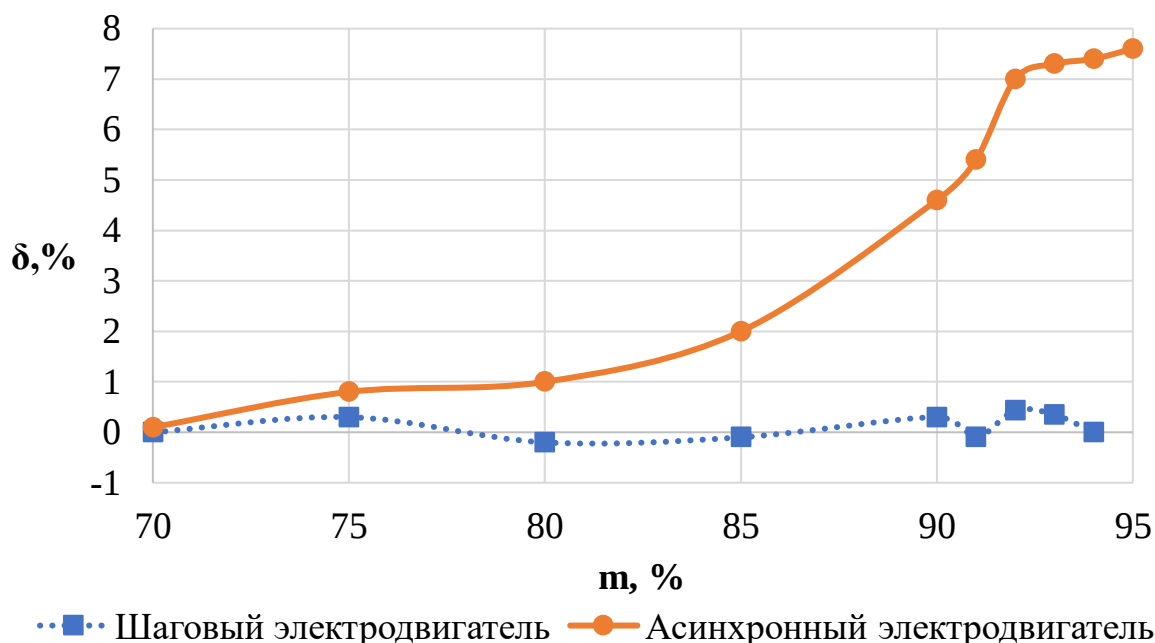


Рисунок 9 – Изменение погрешности дозирования зерна в корреляционной зависимости от уставки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

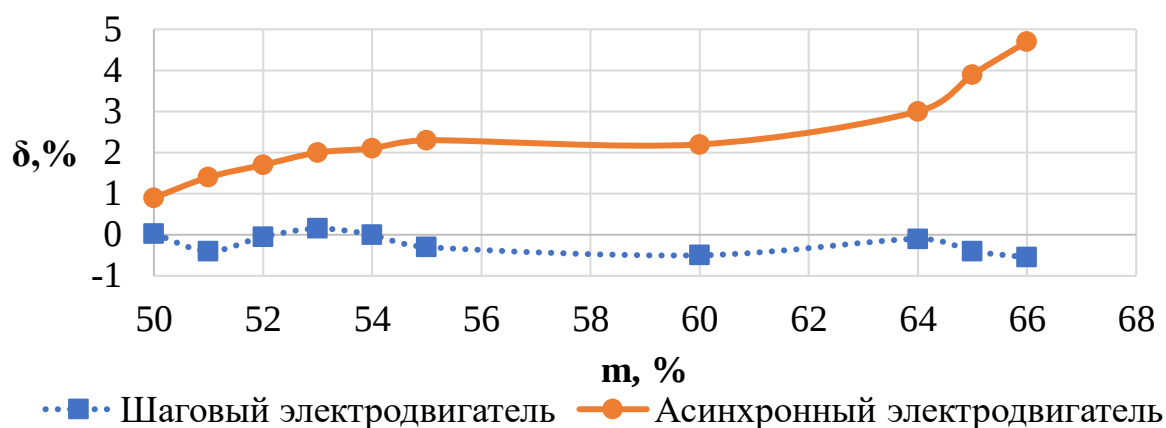


Рисунок 10 – Изменение погрешности дозирования соли в зависимости от установки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

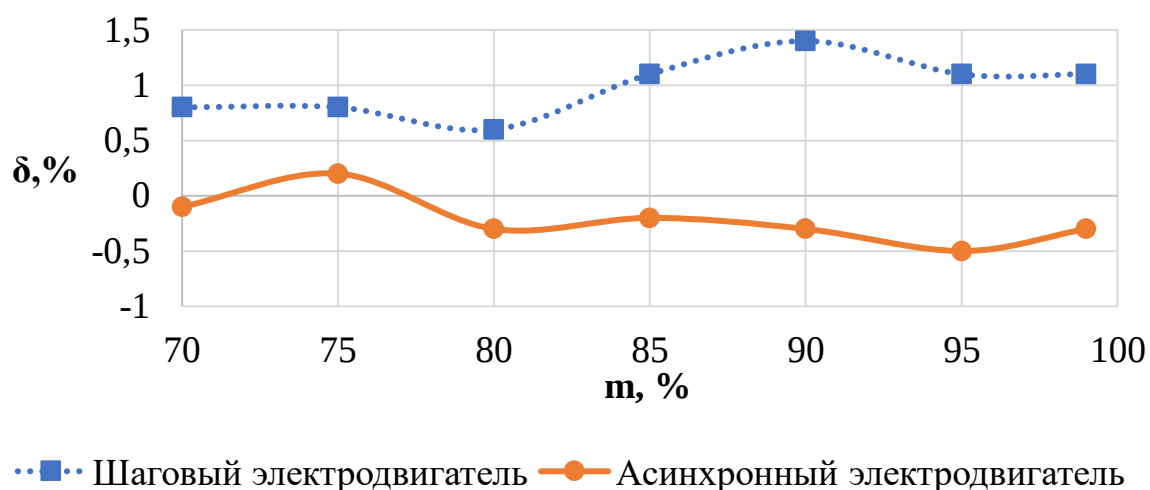


Рисунок 11 – Изменение погрешности дозирования мела в зависимости от установки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

Проведены исследования по оценке производительности шнекового дозатора при найденных рациональных значениях исследуемых параметров. Оценка производительности проведена при дозировании зерна для трех навесок массами 1, 5 и 10 кг. Во время исследований не удалось добиться работы шнека ДШ-120 в необходимом режиме при дозировании навесок массой 1 кг. Поэтому было принято решение сравнить исследуемый двухшнековый дозатор со шнеком ДШ-100, входящим в серийно выпускаемый модуль дозирования ММД 1,5×4. При определении производительности шнека ДШ-100 вводились значения параметров его работы, при которых погрешность дозирования не превышала нормативов ГОСТ. Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что с увеличением массы навески производительность повышается в прямо пропорциональной зависимости (рисунок 11). В результате эксперимента выявлено, что

производительность двухшнекового дозатора на 10-15% выше по сравнению со шнеком ДШ-100.

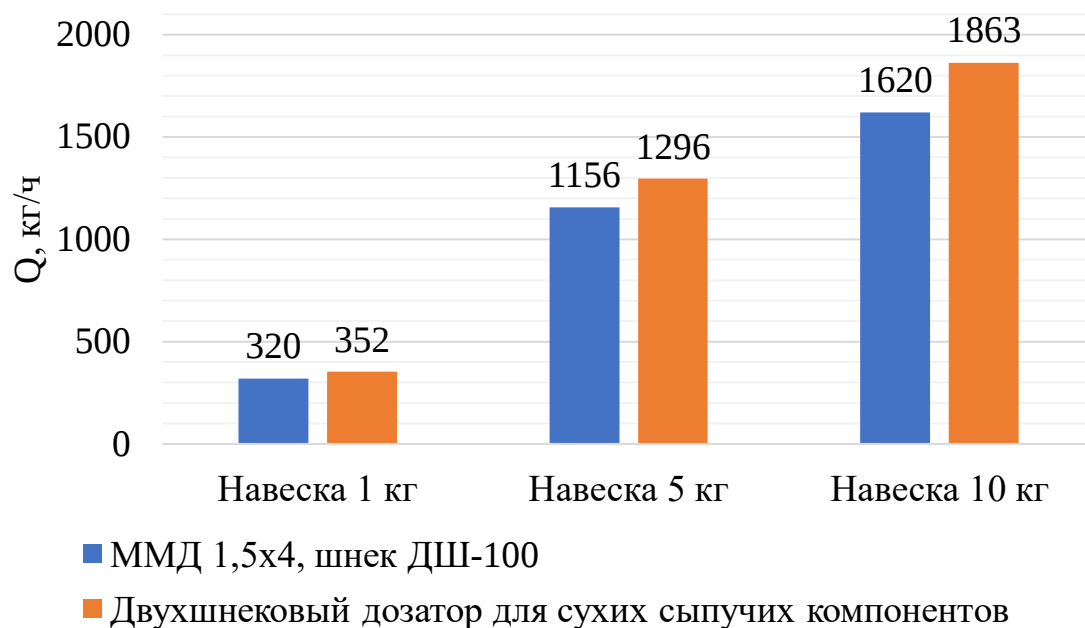


Рисунок 11 – Изменение производительности в зависимости от массы навески

По результатам производственной проверки в условиях ООО ПЗ «Большемурашкинский» Нижегородской области установлено, что при использовании разработанной установки и дозировании руменфита массой навески 5000 г погрешность составляет 0,15%, при дозировании магнифата массой навески 10000 г – 0,074 %, при дозировании мела массой навески 9000 г – 0,083 %, при дозировании иммуно-фертила массой навески 10000 г и 700 г – 0,067% и 0,93 % соответственно.

В пятом разделе «Технико-экономическая и энергетическая эффективность от применения двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма» приведены экономические расчеты. Годовая экономия денежных средств по сравнению с модулем макродозирования ММД 1,5х4 составляет 15743,16 руб. при сроке окупаемости затрат 2,26 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа научных исследований, патентов, конструкторско-технологических решений и схем дозирующих устройств для сыпучих компонентов разработана принципиально новая конструкция двухшнекового дозатора, приводимым в действие от двух электроприводов, основного – асинхронного, дополнительного – шагового, (патент на изобретение РФ № 2813794). Для осуществления управления разработанным дозатором разработана программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 РФ);

2. Получены теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента,

пребывающего в свободном падении. Вычислена минимальная теоретическая величина массы, определяющая погрешность дозирования при использовании шнека ДШ-60, которая составляет 16,4 г – для мела и 12,9 г – для соли.

3. В результате экспериментальных исследований рабочего процесса двухшнекового дозирующего устройства сухих сыпучих компонентов комбикорма определены оптимальные значения параметров работы дозатора, приводом основного шнека которого является асинхронный электродвигатель, а дополнительного – шаговый, для навески массой не менее 1000 г, при которых наблюдается допустимая погрешность дозирования: установка частоты дозаторов $n_1 = 30,3$ Гц, установка включения скорости досыпки $t = 11,9$ %, установка частоты дозаторов $n_2 = 40,9$ % от n_1 (12,42 Гц), установка для включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками с шаговым электродвигателем при дозировании мела – 99%, зерна – 94%, соли – 66 %. С целью повышения производительности дозатора переключение на дополнительный шнек необходимо осуществлять при досыпке остатка: зерна – 100 г, мела – 10 г, соли – 340 г.

4. Разработанный двухшнековый дозатор успешно прошел производственные испытания, а результаты исследований доведены до стадии практического применения и переданы ЗАО «Доза-Агро» Нижегородской области. Результаты исследований также внедрены в ООО ПЗ «Большемурашкинский». Годовая экономия денежных средств составляет 15743,16 руб. при сроке окупаемости 2,26 года.

Рекомендации производству. С целью снижения энергозатрат и повышения качества готового продукта, увеличения точности дозирования и пропускной способности дозирующих устройств для сухих сыпучих компонентов комбикорма рекомендуется применение двухшнековых дозаторов, приводимых в действие от двух электроприводов: основного асинхронного – для насыпки основной массы компонента, и дополнительного шагового – для досыпки оставшейся массы. Для управления двухшнековым дозатором рекомендуется применять специальную программу, которая в режиме работы двумя электроприводами позволяет задавать необходимую массу навески в процентном соотношении для очередной работы шнеков.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Проведенные исследования могут стать основой при разработке высокоточных дозирующих устройств, управление которых основано на базе нейронных сетей с учетом влияния физико-механических свойств компонента, параметров окружающей среды, в режиме их автоматического определения и подбора оптимальных значений параметров работы дозирующего устройства.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Пронин, А. Н. Влияние частоты вращения шнека на точность дозирования дозатора сыпучих компонентов с асинхронным электродвигателем / А. Н. Пронин, О. А. Тареева // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – Вып. 4. – С. 97–101.

2. Влияние параметров шнекового дозатора на его точность дозирования / А. Н. Пронин, С. Ю. Булатов, А. Ю. Исупов, В. Н. Нечаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Вып. 5. – С. 477–486.

3. Пронин, А. Н. Классификация дозирующих устройств и их ключевая роль в производстве / А. Н. Пронин // Вестник НГИЭИ. – 2023. – Вып. 9. – С. 43–50.

4. Определение количества перемещаемого материала шнековым дозатором в режиме торможения / А. Н. Пронин, С. Ю. Булатов, А. Ю. Исупов, В. Н. Нечаев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – Вып. 1. – С. 28–33.

5. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма / А. Н. Пронин, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, О. А. Тареева, А. Е. Шамин // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – Вып.1. – С. 82–88.

6. Результаты исследований рабочего процесса шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов с шаговым электродвигателем / А. Н. Пронин, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев // Техника и оборудование для села. – 2024. – Вып.1. – С.33–36.

7. Пронин, А. Н. Результаты исследований шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма / А. Н. Пронин, С. Ю. Булатов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Вып. 1. – С. 123–133.

8. Пронин, А. Н. Оценка точности дозирования сыпучих компонентов комбикорма двухшнековым дозатором в режиме двухстадийного дозирования / А. Н. Пронин // Вестник НГИЭИ. – 2024. – Вып. 5. – С. 19–29.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2023661766. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин, О. А. Тареева. – № 2023619279. Заявл. 15.05.2023; Оpubл. 01.06.2023. Бюл. № 6.

10. Пат. 2813794 РФ, МПК В 65 G 33/18. Шнековый дозатор сухих сыпучих компонентов / П. А. Савиных, В. А. Казаков, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин, О. А. Тареева. – № 2023115120. Заявл. 08.06.2023; Оpubл. 16.02.2024. Бюл. № 5. – 11 с.: ил.

Подписано в печать 23.10.2024 г.

Формат 60х90, 1/16. Бумага писчая. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,00. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ № 27.