

На правах рукописи



СИМАЧКОВА МАРИНА СТАНИСЛАВОВНА

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМБИКОРМОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Княгинино – 2026

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Булатов Сергей Юрьевич

Официальные оппоненты: Ведищев Сергей Михайлович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Агроинженерия»

Солонщиков Павел Николаевич
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», и. о. заведующего кафедрой эксплуатации машин и технологического оборудования

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Защита состоится 9 июня 2026 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 72.2.016.02 при ГБОУ ВО НГИЭУ по адресу: 606340, 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/state-scientific-attestation/dissosvet-72201602/simachkova-ms/>.

Автореферат разослан _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тареева Оксана Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современном мире развитие сельского хозяйства играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития экономики. Одним из ключевых аспектов успешности является сбалансированное кормление животных, которое во многом определяется качеством кормов, в том числе комбинированных. Развитие данного направления регламентировано положениями Федеральной научно-технической программы (ФНТП) развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы.

В октябре 2025 года общий объем производства комбикормов вырос на 4 % относительно октября 2024 года, составив 3,203 млн т. Общая мощность заводов составляет порядка 42 млн т в год, но существует потенциал увеличения до 45 млн т. При этом отрасль обеспечивается отечественным оборудованием на 75 %. На рынке комбикормового оборудования РФ представлено более 90 компаний-продавцов, предлагающих широкий спектр машин для приготовления различных видов комбикорма, что усложняет его выбор. На сегодняшний день разработано несколько программ и предложены критерии оценки комбикормового оборудования, облегчающие его выбор. Однако данные критерии применимы при оценке оборудования во время его эксплуатации. Проводя подбор, достаточно сложно оценить оборудование, а программ и критериев для его оценки на сегодняшний день не существует. В результате этого можно принять неверное решение, нецелесообразно потратив свои ресурсы. Правильный выбор оборудования усложняется не только широким спектром предложенных на рынке машин, но и индивидуальными условиями производства. Поэтому оценка комбикормового оборудования при ограниченной информации на этапе его подбора является актуальной задачей, направленной на повышение эффективности производства и качества конечной продукции для отдельно рассматриваемого предприятия.

Степень разработанности темы. Изучением процесса производства комбикормов, анализом потребности в них и определением характеристик комбикормового оборудования занимались следующие авторы: В.А. Афанасьев, В.И. Земсков, Л.И. Кропп, Г.М. Кукта, Л.И. Лыткина, Н.П. Мишуров, А.И. Орлов, В.И. Пахомов, П.А. Савиных, В.В. Садов, В.Д. Сергеев, В.И. Сыроватка, И.Я. Федоренко, Н.П. Черняев и др.

Вопросы эффективности работы комбикормовых линий рассматривались в ряде научных трудов В.Р. Алешкина, А.А. Артюшина, С.М. Доценко, А.И. Завражнова, В.И. Земскова, Л.П. Кормановского, Л.И. Кроппа, Г.М. Кукты, С.В. Мельникова, Р.М. Славина, В.А. Стремнина, В.И. Сыроватки и других.

А.В. Батищев, В.Е. Бердышев, Э.И. Ермолаев, Д.А. Жданко, Ю.П. Корнев, Я.С. Розенталь, Б.Д. Рубинштейн, Е.С. Свиридов, О.А. Щиголев занимались вопросами разработки и изучения комплексных показателей для оценки технических средств и заложили основу для широкого спектра методов оценки качества.

Работы В.Г. Воронина, О.П. Гончарова, В.В. Гусева, А.Н. Жигалова, Т.Ф. Рябова, П.А. Савиных, Е.В. Стрелкова, Н.В. Турубанова, Н.А. Чернятьева посвящены анализу экономической эффективности использования комбикормового оборудования.

Среди наиболее значимых работ зарубежных ученых выделяются труды немецких специалистов А. Тэера, Э. Вольфа, Г. Армсби, занимающихся разработкой стандартов качества кормов и методов определения их питательной ценности, а также американских исследователей, таких как У.О. Этуотер и В.А. Генри, чьи научные достижения заложили основы современных методик оценки питательности кормов.

Анализ научных работ по тематике исследования позволил установить, что далеко не все аспекты данного вопроса глубоко изучены. В частности, не рассмотрены вопросы комплексного подхода к оценке комбикормового оборудования на стадии его подбора, когда нет экспериментальных и теоретических данных о качестве готовой продукции, а имеются только технические характеристики машин.

Цель исследования – оценка эффективности технологических линий и технических средств приготовления комбикормов на этапе их подбора по показателям качества, ресурсоэффективности, энергоэффективности, экономической эффективности и комплексным показателям.

Задачи исследования:

1. Провести анализ и разработать классификацию оценочных показателей эффективности комбикормового оборудования.

2. Разработать интегральный показатель эффективности комбикормового оборудования.

3. Составить алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования.

4. Создать программу для оценки комбикормового оборудования, провести ее валидацию, верификацию и оценку надежности.

5. Выполнить оценку эффективности комбикормового оборудования в лабораторных условиях.

6. Осуществить подбор комбикормового оборудования для сельскохозяйственных организаций и оценить эффективность использования программы в производственных условиях.

7. Определить экономическую эффективность разработанной программы.

Объект исследования: технические средства и технологические линии для приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственного производства.

Предмет исследования: показатели подбора и оценки технических средств и технологических линий для приготовления комбикормов.

Научную новизну работы составляют:

1. Показатели качества комбикормового оборудования.

2. Интегральный показатель эффективности комбикормового оборудования, учитывающий важные для потребителя критерии, их значимость и взаимосвязь друг с другом.

3. Алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования, устанавливающий связь между факторами,

влияющими на эффективность оборудования, и критериями его оценки.

Научная новизна технического решения подтверждается свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661687 РФ.

Теоретическая и практическая значимость. Предложена методика оценки эффективности комбикормового оборудования на стадии его подбора с учетом индивидуальных особенностей и потребностей предприятий. Для комплексной оценки эффективности подбора комбикормового оборудования выведены интегральный показатель эффективности, а также показатели качества.

Ценность работы с практической точки зрения заключается в возможности применения предложенной программы сельскохозяйственными предприятиями с собственным производством комбикормов и организациями, занимающимися производством комбикормов при подборе нового, обновлении существующего оборудования, а также производителями комбикормового оборудования во время его продажи при подборе и сравнении различных вариантов линий как собственного производства, так и с аналогами, представленными на рынке. Производственная проверка разработанной программы проводилась в ООО «ННПП-2» Нижегородской области. Результаты производственной проверки и внедрения научных исследований программы подтверждены соответствующими актами.

Методология и методы исследования. Для проведения исследования использованы методы анализа, анкетирования, тестирования программного продукта, статистической обработки данных и планирования эксперимента. Оценка эффективности комбикормового оборудования проводилась в соответствии с установленными нормативными документами и стандартами отрасли.

Достоверность основных положений и выводов подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, результатами производственной проверки и внедрением программы для оценки комбикормовых линий в ООО «ННПП-2», а также апробацией результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Классификация оценочных показателей эффективности комбикормового оборудования.
2. Интегральный показатель эффективности комбикормового оборудования.
3. Алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования.
4. Программа для оценки комбикормового оборудования на стадии его покупки (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661687 РФ).
5. Результаты валидации, верификации и оценки надежности программы.
6. Результаты оценки эффективности комбикормового оборудования в лабораторных условиях.
7. Результаты подбора комбикормового оборудования для сельскохозяйственных организаций Нижегородской области и производственной проверки программы в производственных условиях.
8. Результаты оценки экономической эффективности использования разработанной программы.

Апробация результатов работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на XXV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии с интеллектуальными системами управления процессами производства продукции животноводства с учетом изменяющихся климатических условий» (Москва, 2022 г.), XXVIII Международной научно-практической конференции «Применение технологии искусственного интеллекта для управления «Умной животноводческой фермой» (Москва, 2023 г.), XXVIII Международной научно-практической конференции «Научно-техническое обеспечение роботизации и цифровизации процессов в животноводстве» (Москва, 2024 г.), Международной научно-практической конференции «Современная агроинженерная наука и практика» (Казань, 2024 г.), XVIII Международной научно-практической конференции «Наука–Технология–Ресурсосбережение» (Киров, 2025 г.), XIV Международном конкурсе научно-исследовательских работ (Москва, 2024 г.), XXIX Международном конкурсе научных работ (Саратов, 2025 г.), Международном конкурсе «Лучшая научная работа 2025» (Саратов, 2025 г.), V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники в современном мире» (Княгинино, 2025 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе 10 работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора в работу. В рамках диссертационного исследования автором самостоятельно и при ее активном участии реализованы все стадии работы, включающие: проведение обзора современного состояния комбикормовой отрасли в России; постановку проблемы; формулировку цели и задач исследований; разработку классификации оценочных показателей эффективности комбикормового оборудования, интегрального показателя эффективности комбикормового оборудования, алгоритма функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования, программы для оценки комбикормового оборудования; реализация оценки эффективности комбикормового оборудования в лабораторных условиях; проведение практической апробации разработанной программы в условиях ООО «ННПП-2» и определение ее экономической эффективности.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста, включая библиографию из 149 наименований, 44 рисунка, 21 таблицу и 14 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Первая глава «Современное состояние проблемы и задачи научных исследований» посвящена анализу показателей эффективности использования

оборудования, на основании которого выделены группы оценочных показателей эффективности, используемые при оценке комбикормового оборудования: показатели энергетической эффективности, ресурсоэффективности, экономической эффективности и комплексные показатели. Данные показатели ориентированы на оценку эффективности оборудования в процессе эксплуатации, а не на этапе его подбора. Также в существующих подходах к оценке оборудования, как правило, рассматриваются отдельные характеристики и не учитывается их взаимосвязь и влияние на общую эффективность в конкретных производственных условиях. В связи с этим встает вопрос о необходимости разработки комплексного подхода, который позволит учитывать все ключевые факторы, влияющие на эффективность оборудования в производственной среде. Для этого необходимо разработать комплексный показатель, учитывающий данные факторы и позволяющий проводить объективную оценку оборудования на этапе его подбора. Такой показатель должен быть адаптирован к конкретным производственным условиям и требованиям производства.

Анализ научных исследований и патентных решений специализированных программ показал, что на данный момент не существует программных продуктов, обеспечивающих автоматизированную оценку комбикормового оборудования на стадии его подбора.

Во второй главе «Обоснование критериев оценки эффективности комбикормового оборудования» разработана классификация оценочных показателей, включающая следующие группы показателей: качества, ресурсоэффективности, экономической эффективности, энергетической эффективности. В рамках разработанной классификации, дополнительно к существующим показателям, предложено использовать следующие коэффициенты:

– показатель качества технических средств, оцениваемый по результатам проверки машиноиспытательными станциями;

– показатель качества технологической линии, определяющийся через значения отдельных технических средств и общее количество машин в линии:

$$k_{\text{лин}} = \frac{\sum N_{i(1)}}{\sum N}, \quad (1)$$

где $\sum N$ – общее количество технических средств в линии, шт.; $\sum N_{i(1)}$ – количество технических средств в линии, имеющих заключение МИС о соответствии установленным критериям определения эффективности, их функциональные характеристики соответствуют характеристикам в соответствии с подпунктом А пункта 24 Положения № 740;

– показатель качества продукции:

$$k_{\text{кач.пр}} = \frac{\sum N_{i(1)} + \sum N_{j(0.5)}}{\sum N}, \quad (2)$$

где $\sum N_{i(0,5)}$ – количество технических средств в линии, имеющих заключение МИС о соответствии установленным критериям определения эффективности, но с расхождением функциональных и заявленных характеристик в соответствии с подпунктом Б пункта 24 Положения № 740;

– коэффициент комплектации, расчет которого осуществляется через количество оборудования и комплектующих, доступных к приобретению в РФ, двумя способами:

а) в ценовом выражении:

$$K_{\text{компл}} = \frac{C_{\text{д}}}{C} = 1 - \frac{C_{\text{нд}}}{C}, \quad (3)$$

где $C_{\text{д}}$ – цена оборудования / комплектующих, приобретаемых на территории РФ, тыс.руб; $C_{\text{нд}}$ – цена оборудования / комплектующих, приобретаемых за пределами территории РФ, тыс. руб; C – цена оборудования, тыс. руб;

б) в количественном выражении:

$$K_{\text{компл}} = \frac{O_{\text{РФ}}}{O_{\text{сум}}} = 1 - \frac{O_{\text{нд}}}{O_{\text{сум}}}, \quad (4)$$

где $O_{\text{РФ}}$ – количество оборудования / комплектующих в технологической линии, доступное для приобретения в РФ, шт; $O_{\text{нд}}$ – количество оборудования / комплектующих в технологической линии, приобретаемых за пределами территории РФ, шт; $O_{\text{сум}}$ – суммарное количество оборудования технологической линии, шт.;

– коэффициент рыночной надежности, который отражает уровень доверия покупателей к организации, а также выражает степень уверенности рынка в ее устойчивости и надежности. Предлагаемый коэффициент рыночной надежности рассчитывается через юридическую чистоту компании, количество видов ее деятельности, отзывы и рейтинги компании от клиентов и экспертов в отрасли:

$$k = \frac{x}{(1+y^2)\sqrt{z}} 2^{\text{sign}(t)}, \quad (5)$$

где x – количество положительных отзывов фирмы; y – количество негативных отзывов; z – общее количество видов деятельности; t – является ли этот вид деятельности основным (1 – если является, 0 – если не является).

Для комплексной оценки эффективности подбора комбикормового оборудования предложено использовать интегральный показатель эффективности, который вычисляется по выражению:

$$\varphi(m, k) = \frac{\sqrt[n_1+n_2+\dots+n_i]{m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2} \cdot \dots \cdot m_i^{n_i}}}{\sqrt[p_1+p_2+\dots+p_j]{k_1^{p_1} \cdot k_2^{p_2} \cdot \dots \cdot k_j^{p_j}}}, \quad (6)$$

где m_1, m_2, \dots, m_i – критерии оценки эффективности подбора оборудования, которые при расчете должны стремиться к максимуму; k_1, k_2, \dots, k_i – критерии оценки эффективности подбора оборудования, которые при расчете должны стремиться к минимуму; $(n_1 + n_2 + \dots + n_i)$ и $(p_1 + p_2 + \dots + p_j)$ – соответствующие суммы степеней значимости отдельных критериев оценки.

Проведено сравнительное исследование методов вычисления комплексного показателя: с применением уравнения (6) для расчета интегрального показателя, с использованием формулы В.Е. Бердышева путем умножения значимости критерия на его числовое значение и путем возведения критерия в степень, соответствующую его значению важности (степенной комплексный показатель).

На примере изменения величины значимости α коэффициента компактности $K_{\text{комп}}$ оборудования от 0,001 до 100 показано, что интегральный показатель изменяется в 8,385 раза, комплексный показатель по формуле В.Е. Бердышева – в 10^5 раз, степенной комплексный показатель – в $3,169 \cdot 10^{131}$ раз (рисунок 1). На примере изменения величины коэффициента компактности $K_{\text{комп}}$ (рисунок 2) оборудования от 0,001 до 1000 показано, что интегральный показатель изменяется в 25,8 раза, комплексный показатель по формуле В.Е. Бердышева – в 10^6 раз, степенной комплексный показатель – в 10^{48} раз. То есть интегральный показатель позволяет учесть вклад каждого коэффициента, сокращая доминирование тех из них, которые обладают экстремально высокими (низкими) значениями или значимостями, тем самым сохраняя значимость всех коэффициентов, входящих в формулу для расчета показателя.

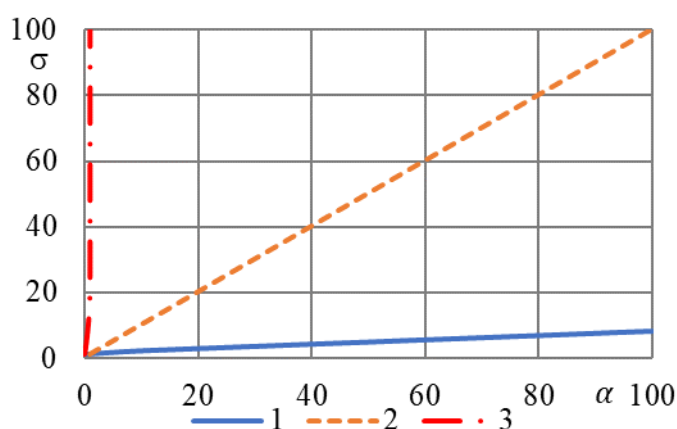


Рисунок 1 – Влияние значимости α коэффициента компактности $K_{\text{комп}}$ на относительное изменение σ комплексного показателя:
1 – интегральный показатель эффективности; 2 – комплексный показатель по формуле В.Е. Бердышева; 3 – степенной комплексный показатель

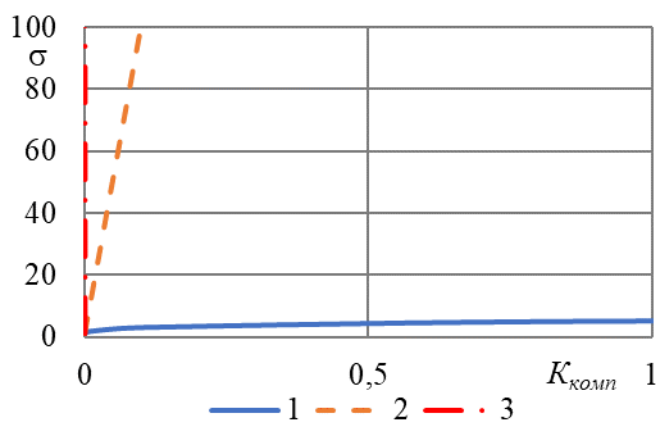


Рисунок 2 – Влияние величины коэффициента компактности $K_{\text{комп}}$ на относительное изменение σ комплексного показателя:
1 – интегральный показатель эффективности; 2 – комплексный показатель по формуле В.Е. Бердышева; 3 – степенной комплексный показатель

С целью обеспечения комплексного подхода к обоснованию выбора комбикормового оборудования разработан алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования, позволяющий оценить комбикормовое оборудование по показателям качества, ресурсоэффективности, экономической эффективности, энергетической эффективности, а также с применением комплексных показателей, в том числе интегрального показателя эффективности, исходя из паспортных характеристик оборудования, объема выпускаемой продукции, доступных производственных площадей, энергетических ресурсов предприятия (рисунок 3).

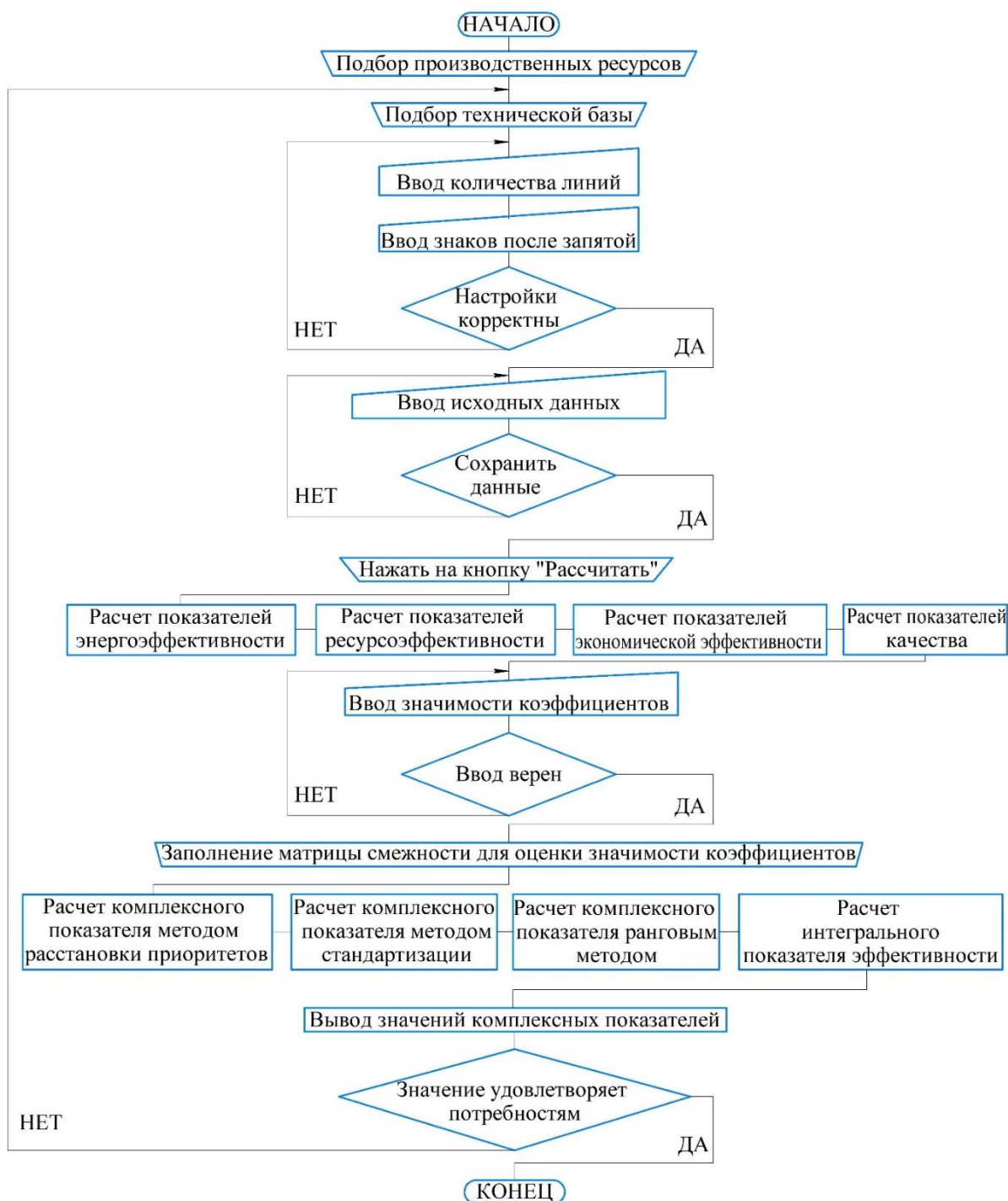


Рисунок 3 – Алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования

В третьей главе «Программа и методики исследования» представлены: общие сведения о программе, созданной на основании алгоритма функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования; методики оценки работоспособности и верификации программы, оценки эффективности комбикормового оборудования в лабораторных условиях, подбора комбикормового оборудования для конкретных хозяйств с применением программы.

Для оценки работоспособности и верификации программы было разработано 6 тест-кейсов, направленных на проверку корректности выполнения различных условий и сценариев. Лабораторные исследования по оценке эффективности комбикормового оборудования проводились на технологической линии ЛПКГ-0,9 с учетом требований нормативных документов: НТП-АПК 1.10.16.001-02, ОСТ 70.32.2.-83, РД. 10.19.2.-90, СТО АИСТ 19.2-2008. Оценка сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований проводилась методом планирования эксперимента и по функции F-тест.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты тестирования разработанной программы, которые продемонстрировали ее надежность, функциональность, корректность алгоритмической реализации. Получен положительный отклик от ООО «Графкорм»: программа предоставляет возможность проводить параллельное сравнение вариантов оборудования по множеству значимых параметров. Широкий диапазон параметров, представленный в программе, позволяет проводить детальный анализ оборудования на основе множества предлагаемых переменных, что подтверждено актом внедрения в ООО «Доза-Агро». ООО «ННПП-2» подтверждает, что данная программа оказалась удобной, простой в использовании и эффективным инструментом, способствующим правильному выбору оборудования.

В результате проведения верификации программы установлена высокая степень сходимости результатов автоматизированных расчетов, достигающая 98,9 % по сравнению с ручными вычислениями и 100 %, полученных с помощью разработанной программы и в среде Microsoft Excel, что демонстрирует стабильность и воспроизводимость результатов.

В ходе многократных прогонов программы с разными наборами данных проведена оценка ее надежности: программа проявляла стабильность и надежность, демонстрируя крайне низкий уровень ошибок и сбоев. Установлено, что частота отказов составляет 2 %, среднее время наработки на отказ – 5 ч, средняя продолжительность устранения ошибки – 0,015 ч, коэффициент готовности системы – 0,997.

В результате оценки эффективности технических средств, входящих в состав линии ЛПУГ-0,9, в лабораторных условиях установлено следующее. Пропускная способность (Q) дробилки роторной ДКР-1,5Ф при измельчении зерна на решетке с отверстиями диаметром (d_0) 3 мм составила 684 кг/ч, а при 8 мм – 1201 кг/ч (рисунок 4).

После посева проб измельченной пшеницы построены дифференциальные помольные характеристики, отражающие качество готового продукта (рисунок 5).

Сравнение теоретических (паспортных) и экспериментальных (фактических) показателей качества измельченного продукта показывает, что значение показателя качества дробилки равно 1.

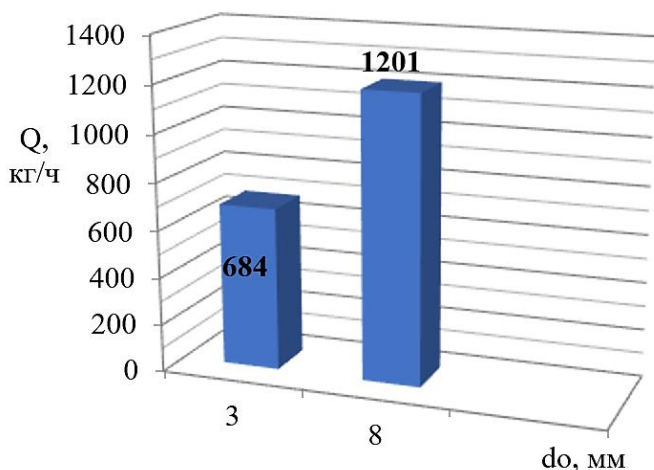


Рисунок 4 –
Зависимость
максимальной
пропускной способности
дробилки ДКР-1,5Ф
от диаметра отверстий
решета

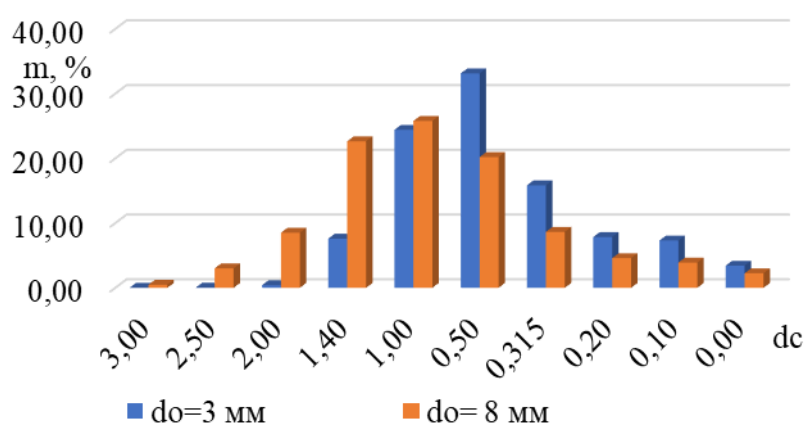


Рисунок 5 –
Дифференциальные
помольные
характеристики
измельченного
материала: m – остаток
на лабораторных ситах, %;
dc – диаметр отверстий
лабораторных сит, мм

В результате лабораторного исследования рабочего процесса смесителя шнекового ССК-2,3-Ф установлено, что при концентрации контрольного компонента 25 %, времени смешивания 15 мин, потребляемая мощность электродвигателя составила 1,63 кВт. При этом концентрация ключевого компонента в пробах варьировалась от 0,98 до 34,7 % (рисунок 6), среднеквадратическое отклонение составило 9,72 %, а коэффициент вариации 82,2 %.

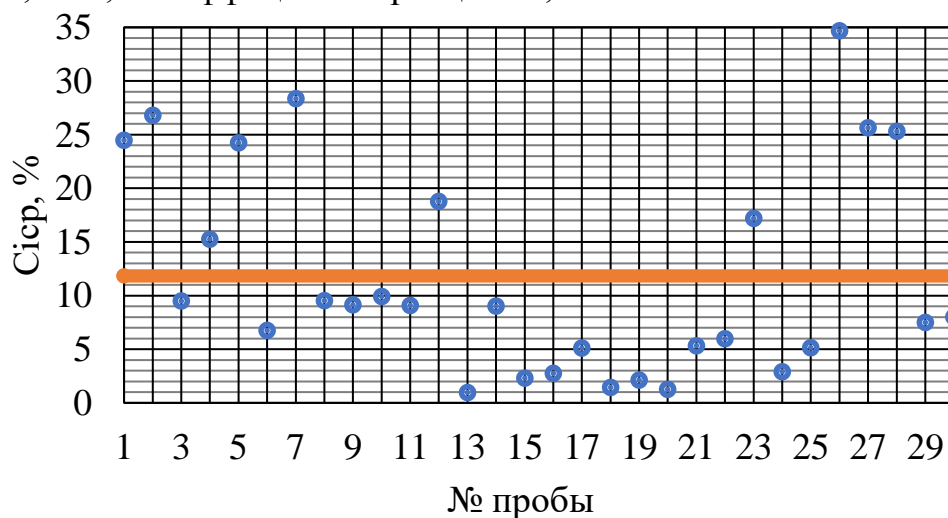


Рисунок 6 – Концентрация контрольного компонента в пробах комбикорма,
полученного на смесителе ССК-2,3-Ф

На основании полученных результатов можно сделать вывод о несоответствии однородности рассыпного комбикорма, полученного на смесителе ССК-2,3-Ф. Следовательно, коэффициент качества технического средства k в данном случае равно 0.

В результате испытаний пресс-гранулятора ДГ-0,9ВУ определена его максимальная производительность на матрице с диаметром отверстий 5 мм, которая составила 0,402 т/ч. При этом потребляемая мощность равна 10,5 кВт. Сравнение гранул по органолептическим и физическим показателям в соответствии с ГОСТ подтвердило соответствия фактических показателей нормативным. Коэффициент качества гранулятора ДГ-0,9ВУ равен 1.

В результате оценки эффективности комбикормового оборудования в лабораторных условиях установлено, что при его эксплуатации относительно теоретических (паспортных) могут изменяться значения таких его показателей как потребляемая мощность, производительность, качество (таблица 1).

Таблица 1 – Значения теоретических и фактических характеристик технических средств, входящих в линию ЛПКГ-0,9

Наименование технического средства	Производительность, т/ч		Потребляемая мощность, кВт		Занимаемая площадь, м ²		Соответствие готового продукта требованиям нормативных документов		Масса, кг	
	Теор.	Факт.	Теор.	Факт.	Теор.	Факт.	По МИС	По ГОСТ	Теор.	Факт.
Дробилка ДКР-1,5Ф: - диаметр отверстий решета 3 мм - диаметр отверстий решета 8 мм	0,300- 0,445 0,840-1,2	0,684 1,2	11	11	0,544	0,544	соотв.	+	250	250
Смеситель шнековый ССК-2,3-Ф	1,72	1,72	2,2	1,63	2,456	2,456	не соотв.	-	330	330
Пресс-гранулятор ДГ-0,9ВУ	0,45-0,65	0,402	15,55	10,5	0,853	0,853	нет данных	+	382	382
Итого по линии			28,75	23,13	3,853	3,853			962	962

Выявлено, что сходимость теоретических и экспериментальных величин показателя качества технологической линии ЛПКГ-0,9 равна 100 % ($k_{\text{лин}} = 0,33$), а показателя качества готовой продукции отличается в 2 раза (теоретический $k_{\text{кач.пр}} = 0,33$, экспериментальный $k_{\text{кач.пр}} = 0,67$), что объясняется отсутствием данных по испытаниям гранулятора ДГ-0,9ВУ и смесителя ССК-2,3-Ф в базах данных МИС.

Сходимость теоретических и экспериментальных величин интегрального показателя для линии ЛПКГ-0,9, рассчитанная при помощи критерия F-тест, составила 98,93 %. Так как величина близка к единице, это свидетельствует о низкой вероятности значительных различий между дисперсиями двух выборок, что подтверждает высокое соответствие между

результатами теории и практики. Предложенная методика оценки эффективности комбикормового оборудования легко адаптируется к различным видам технологического оборудования и применима как на этапе подбора оборудования, так и в процессе его эксплуатации.

На основании опросных листов сельскохозяйственных организаций Нижегородской области проведены подбор и анализ подходящих для каждого хозяйства вариантов комбикормового оборудования. Установлено, что для ООО СПК «Ждановский» и ООО ПЗ «Большемурашкинский», в приоритете руководства которых обозначены производительность, энергопотребление, стоимость оборудования, из пяти рассмотренных линий наибольшей эффективностью обладает комбикормовый мини-завод ПРОК-1,3 производства Агрост 50, значение интегрального показателя которого составляет 0,203. ООО «Шатовка», ориентированному на компактность, технологичность и экономические показатели, при выборе оборудования из шести рассмотренных вариантов рекомендуется к приобретению мини-комбикормовый завод АТМ-5 ($\varphi = 0,21$). Для ООО «КМ АГРО», высшим приоритетом которого является экономия денежных средств, из рассмотренных линий и заводов КПК-5 от Доза-Агро, ПРОК-5 продавца Агроставка, линия продавца Агрокормресурс, РК-5 от НМК-Агро, АК-4 от Агрогрант к приобретению рекомендуется комбикормовое оборудование производства Агрокормресурс ($\varphi = 1,667$).

Производственную проверку программы для оценки комбикормовых линий осуществляли в условиях ООО ННПП-2 Нижегородской области. Рассмотрено оборудование двух российских фирм (ООО «ГрафКорм» – Линия 1 и ООО «Доза-Агро» – Линия 3) с производительностью линий 20 т/ч, и китайской (Jiangsu BD Environmental Technology Co. – Линия 2) – 40 т/ч. В результате проведенного анализа оборудование китайского производителя было признано наилучшим выбором для рассматриваемого свиноводческого комплекса (рисунки 7, 8, 9). Решение подтверждено результатами расчетов в программе: интегральный показатель $\varphi = 0,596$, выше, чем у оборудования производства ООО «ГрафКорм» ($\varphi = 0,343$) и ООО «Доза-Агро» ($\varphi = 0,523$).

После введения оборудования в эксплуатацию, получены фактические данные его работы: осуществлялась фиксация показателей, послуживших основой при анализе оборудования на стадии его подбора. При этом степень сходимости между паспортным ($\varphi = 0,596$) и фактическим ($\varphi = 0,606$) (полученным по результатам работы оборудования) интегральными показателями составила 98,3 %, что свидетельствует о достаточной точности и корректности работы программы. Экономия трудозатрат при подборе оборудования с помощью программы в сравнении с ручным расчетом составила 30 чел.-ч.

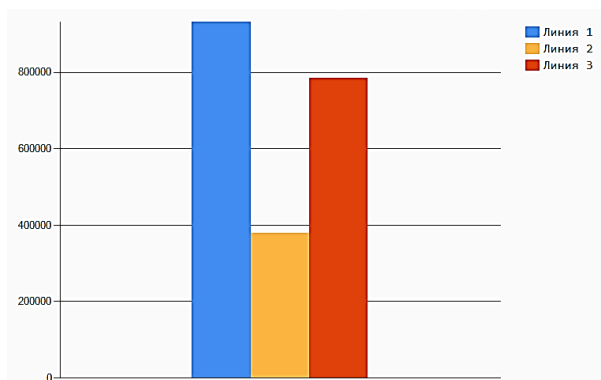


Рисунок 7 – Удельные капиталовложения на единицу произведенной продукции в варианты приобретаемого оборудования для ООО «ННПП-2», руб./т

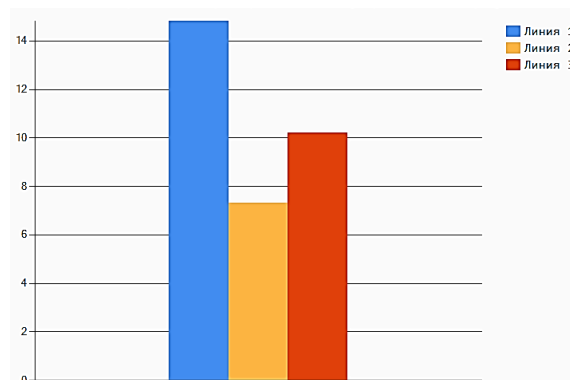


Рисунок 8 – Удельный расход электроэнергии на единицу произведенной продукции для ООО «ННПП-2», кВт·ч/т

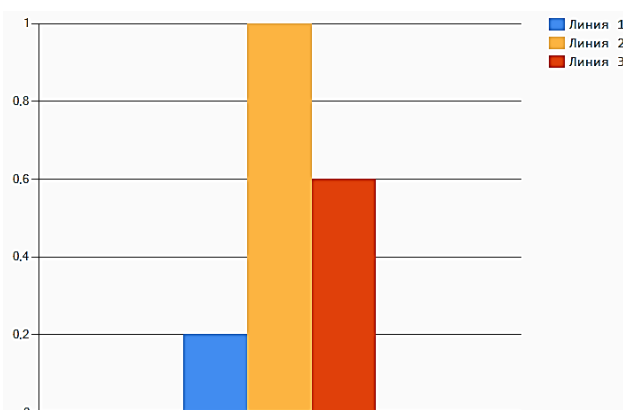


Рисунок 9 – Значения коэффициента уровня автоматизации для вариантов приобретаемого оборудования в ООО «ННПП-2»

В пятой главе «Экономическая эффективность от использования программы для оценки комбикормовых линий» приведены экономические расчеты. Результаты демонстрируют, что использование программы является экономически целесообразным решением, позволяющим рационализировать затраты и снизить риски по сравнению с применением ручного сбора информации. Расчетное значение экономии денежных средств в сравнении с ручным расчетом за счет сокращения трудозатрат при подборе одного комплекта комбикормового оборудования с использованием программы составляет 15 894,07 руб., срок окупаемости – 0,5 года, а в сравнении с программой «1С: Мукомольное, крупяное, комбикормовое и масложировое производство» – 2 495,14 руб. и 3,2 года соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа разработана классификация оценочных показателей комбикормового оборудования, оказывающих определяющее значение на эффективность подбора комбикормового оборудования. Классификация включает четыре группы показателей: качества, энергетической эффективности, ресурсоэффективности, экономической эффективности и рыночной надежности. В рамках разработанной классификации, дополнительно к существующим показателям оценки комбикормового оборудования на этапе его подбора, предложено использовать показатели качества (технического средства, технологической линии, продукции), коэффициент комплектации, коэффициент рыночной надежности, характеризующие степень соответствия заданным требованиям и критериям эффективности оборудования, доступность оборудования к приобретению на территории РФ, степень уверенности рынка в устойчивости и надежности продавца оборудования.

2. Разработан интегральный показатель эффективности комбикормового оборудования (6), учитывающий важные для потребителя критерии, их значимость и взаимосвязь друг с другом, определяемый как отношение произведения критериев оценки эффективности, при сравнении стремящихся к максимуму к произведению критериев оценки эффективности, при сравнении стремящихся к минимуму, каждый из которых возведен в степень, определяемую отношением значимости каждого критерия к сумме степеней значимости соответствующей группы критериев оценки.

3. Разработан алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования, устанавливающий связь между факторами, влияющими на эффективность оборудования, и критериями его оценки.

4. На основании алгоритма функционирования эргатической системы создана программа для оценки комбикормового оборудования (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661687 РФ), позволяющая проводить комплексный анализ сравниваемых аналогов по четырем группам показателей: энергетическим, технологическим, экономическим, показателям качества, а также комплексным показателям – исходя из потребностей хозяйств и характеристик оборудования.

5. Валидация программного продукта, проведенная представителями ООО «Графкорм», ООО «Доза-Агро» и ООО «ННПП-2» путем тестирования, показала, что программа обладает широкими возможностями и охватывает достаточное число показателей, существенно облегчающих выбор оптимального варианта оборудования. В результате проведения верификации программы установлена высокая степень сходимости результатов автоматизированных расчетов, достигающая 98,9 % по сравнению с ручными вычислениями и 100 % – с вычислениями в среде Microsoft Excel, что демонстрирует стабильность и воспроизводимость результатов. В результате оценки надежности программы методом статистического подхода установлено, что частота отказов программы составляет 2 %, среднее время наработки на отказ – 5 ч, средняя продолжительность устранения ошибки – 0,015 ч, коэффициент готовности

системы – 0,997. В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что сходимость теоретических и экспериментальных величин показателя качества технологической линии ЛПКГ-0,9 равна 100 % при $k_{\text{лин}} = 0,33$, а показателя качества готовой продукции отличается в 2 раза (теоретический $k_{\text{кач.пр}} = 0,33$, экспериментальный $k_{\text{кач.пр}} = 0,67$), что связано с отсутствием данных по испытаниям гранулятора ДГ-0,9ВУ и смесителя ССК-2,3-Ф в базах данных МИС. Сходимость теоретических и экспериментальных значений интегрального показателя, оцененная критерием F-тест, составила 98,93 %.

6. В результате проведенного подбора и анализа комбикормового оборудования для сельскохозяйственных организаций Нижегородской области установлено, что для ООО СПК «Ждановский» и ООО ПЗ «Большемурашкинский» наибольшей эффективностью, оцененной по интегральному показателю, обладает комбикормовый мини-завод ПРОК-1,3 производства Агрост 50, значение интегрального показателя которого составляет 0,203, для ООО «Шатовка» – мини-комбикормовый завод АТМ-5 с интегральным показателем 10,21, ООО «КМ АГРО» – комбикормовое оборудование от продавца Агрокормресурс с интегральным показателем 1,667.

7. В результате производственной проверки программы, которая осуществлялась в ООО «ННПП-2» Большемурашкинского района Нижегородской области при сравнении оборудования фирм ООО «Графкорм», ООО «Доза-Агро» и Jiangsu BD Environmental Technology Co., Ltd, установлено, что наибольшее значение интегрального показателя эффективности (0,596) имеет линия фирмы Jiangsu BD Environmental Technology Co. При этом степень сходимости между теоретическим и фактическим интегральными показателями составила 98,3 %, а экономия трудозатрат при подборе оборудования с помощью программы в сравнении с ручным расчетом – 30 чел.-ч.

8. Расчетное значение экономии денежных средств в сравнении с ручным расчетом за счет сокращения трудозатрат при подборе одного комплекта комбикормового оборудования с использованием программы составляет 15 894,07 руб., срок окупаемости – 0,5 года, а в сравнении с программой «1С: Мукомольное, крупяное, комбикормовое и масложировое производство» – 2 495,14 руб. и 3,2 года соответственно.

Рекомендации производству. Для подбора комбикормового оборудования на стадии его приобретения первоначально хозяйствам необходимо определить приоритетные критерии выбора, учитывая как текущие потребности, так и планы развития на ближайшие годы. На втором этапе осуществляется поиск поставщиков оборудования. Это потребует детального анализа рыночных предложений и их сопоставления с потребностями хозяйства. Заключительный этап – автоматизация выбора оборудования с помощью разработанной программы, что позволит оптимизировать работу и повысить точность в принятии решений.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Проведенные исследования могут быть применимы при решении комплексной задачи, охватывающей все этапы производства комбикормов от подбора оборудования

до реализации готовой продукции путем интеграции предлагаемых решений с другими системами управления сельскохозяйственным производством. Перспективы дальнейшей разработки темы: обновление базы данных программы; внедрение механизма подписки; изучение возможностей применения современных инструментов искусственного интеллекта.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Симачкова, М. С. Анализ показателей эффективности использования комбикормового оборудования / М. С. Симачкова, А. Е. Крупин // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 3(47). – С. 108–115.
2. Симачкова, М. С. Особенности производства комбикормов в условиях сельскохозяйственных организаций в современных реалиях / М. С. Симачкова, С. Ю. Булатов, А. Г. Сергеев [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 10(137). – С. 59–67.
3. Симачкова, М. С. Анализ технологических линий и оборудования для приготовления комбикормов / М. С. Симачкова // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 6 (145). – С. 18–36.
4. Симачкова, М. С. Анализ программ для оценки комбикормового оборудования / М. С. Симачкова // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – № 3(51). – С. 87–91.
5. Симачкова, М. С. Оценка рыночной надежности фирм-продавцов комбикормового оборудования / М. С. Симачкова // Техника и технологии в животноводстве. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 99–106.
6. Симачкова, М. С. Интегральный показатель эффективности подбора комбикормового оборудования на стадии его покупки / М. С. Симачкова // Техника и технологии в животноводстве. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 42–47.
7. Симачкова, М. С. Последовательность оценки эффективности комбикормового оборудования на стадии его покупки / М. С. Симачкова, С. Ю. Булатов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 7(249). – С. 71–78.
8. Симачкова, М. С. Результаты подбора комбикормового оборудования по интегральному показателю на примере сельскохозяйственных предприятий Нижегородской области / М. С. Симачкова, С. Ю. Булатов // Техника и технологии в животноводстве. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 74–83.
9. Симачкова, М. С. Интегральная оценка эффективности подбора комбикормового оборудования: методология и результаты лабораторных испытаний / М. С. Симачкова, С. Ю. Булатов, А. Г. Сергеев, А. Е. Шамин // Техника и технологии в животноводстве. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 76–86.
10. Симачкова, М. С. Результаты оценки работоспособности и верификации программы для оценки комбикормовых линий на стадии их приобретения / М. С. Симачкова, С. Ю. Булатов, А. Г. Сергеев, А. Е. Шамин // Вестник НГИЭИ. – 2026. – № 2(177). – С. 7–20.

Статьи в сборниках и других научных изданиях

11. Симачкова, М. С. Многокритериальный подход к подбору комбикормового оборудования на этапе его приобретения / М. С. Симачкова // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы XVIII Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», посвященной 95-летию со дня образования Вятского ГАТУ, Киров, 03 февраля 2025 года. – Киров, 2025. – С. 125–129.

12. Симачкова, М. С. Модель подбора комбикормового оборудования / М. С. Симачкова // EurasiaScience: Сборник статей LXX международной научно-практической конференции, Москва, 30 июня 2025 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2025. – С. 106–109.

13. Симачкова, М. С. Алгоритм функционирования эргатической системы подбора комбикормового оборудования / М. С. Симачкова // Вестник Вятского ГАТУ. – 2025. – № 4(26). – С. 128-135.

14. Симачкова, М. С. Оценка качества комбикормового оборудования на этапе его подбора / М. С. Симачкова // Вестник Вятского ГАТУ. – 2025. – № 4(26). – С. 136-141.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

15. Программа для оценки комбикормовых линий на стадии их покупки / М.С. Симачкова, С. Ю. Булатов, Д. С. Иванченко; правообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661687 Российская Федерация. Заявл. 27.04.2024; Опубл. 21.05.2024. Бюл. № 6.

Подписано в печать _____ г.

Формат 60x90, 1/16. Бумага писчая. Гарнитура Times New Roman.

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

Отпечатано в ИПЦ НГИЭУ с оригинал-макета
606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а.