

На правах рукописи



Маркин Дмитрий Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Благовещенск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Научный руководитель

Вараксин Сергей Викторович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Садов Виктор Викторович,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», кафедра «Механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции», доцент

Фролов Владимир Юрьевич,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», кафедра «Механизация животноводства и БЖД», заведующий кафедрой

Ведущая организация

ФГБОУ ВО Южно-Уральский
государственный аграрный университет

Защита состоится «12» сентября 2022 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.027.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», по адресу: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, корпус 12, ауд. 82, телефон/факс 8 (4162) 99-51-20, E-mail: www.d.220.027.01@gmail.com

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» <https://www.dalgau.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Якименко Андрей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Решение задачи оптимизации технологического процесса производства сбалансированной кормовой добавки путем применения ресурсосберегающей технологии производства, реализуемой при помощи специального измельчающе-экстракционного устройства.

Проблему насыщения кормов чистым белком можно решить путем введения в рацион сельскохозяйственных животных семян сои и продуктов их переработки. Семена сои являются источником белка растительного происхождения. Наиболее простым и эффективным способом их переработки является получение кормовой добавки, используемой взамен обезжиренного молока при вскармливании молодняка крупного рогатого скота и свиней. Данный продукт способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных животных. Известные в настоящее время технологии и технические средства для получения кормовых добавок из термообработанной полножирной соевой муки являются высокзатратными, а при небольшом поголовье животных экономически себя не оправдывают.

Важное значение для правильного развития сельскохозяйственных животных имеют витамины. В качестве витаминной добавки к рационам предлагается использование сочных кормов – корнеплодов (морковь, свекла) и бахчевых культур (тыква).

Анализ существующих технико-технологических способов получения кормовых добавок показывает, что они не обладают достаточной эффективностью вследствие недостатков технического характера и организации технологического процесса. Вследствие этого, предлагается наиболее целесообразный способ – получение кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций при помощи измельчающе-экстракционного устройства.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» (№ государственной регистрации 01200503562-5).

Степень разработанности темы. Научные исследования в области технических устройств для приготовления белковых кормов, проведенные учеными В.П. Горячкиным, С.М. Мельниковым, А.А. Артюшиным, И.З. Барфаковым, Б.И. Вагиным, В.Г. Гопкой, С.М. Доценко, Г.М. Куктой, А.Т. Лебедевым, Л.М. Куцыным, С.В. Брагинец, В.Ю. Фроловым, В.С. Гордезиани, С.А. Ивановым, Л.И. Подобед, А.С. Катаевым, Р.Ф. Филоновым и другими. Впрочем, до настоящего времени не было выявлено данных, позволяющих проектировать технологические линии по безотходному производству кормовых добавок на основе соево-корнеплодных композиций.

Цель исследований – повышение эффективности процесса получения кормовой добавки путем обоснования параметров измельчающе-экстракционного устройства.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических схем и машин для приготовления кормовой добавки из семян сои и разработать структурную схему измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);

- получить аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы предложенного измельчающе-экстракционного устройства с учетом разработанной его структурной схемы и разработать математические модели оценки рабочего процесса предложенного измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);

- экспериментально обосновать рациональные параметры рабочего процесса измельчающе-экстракционного устройства по операциям измельчения соево-корнеплодной композиции, экстракции питательных веществ в водную среду и отделения жомового остатка;

- провести производственную проверку предложенных технологических и технических решений, дать им технико-экономическую оценку, разработать методику расчета линии с использованием измельчающе-экстракционного устройства и соответствующие рекомендации.

Объект исследования – процесс приготовления кормовой добавки в виде белково-витаминного экстракта для молодняка сельскохозяйственных животных с помощью предложенного измельчающе-экстракционного устройства.

Предмет исследования – зависимости, характеризующие работу измельчающе-экстракционного устройства по процессам измельчения соево-корнеплодной композиции, экстракции питательных веществ из нее в водную среду и отделения жомового остатка от экстракта соевого белка.

Научную новизну исследования представляют:

- математическая модель функционирования ИЭУ;
- аналитические зависимости по обоснованию определения производительности, а также мощности, затрачиваемой на привод измельчающе-экстракционного устройства;

- математические модели процесса получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства, обеспечивающего выполнение операций по измельчению соево-корнеплодной композиции в водной среде, экстракции питательных веществ и отделение жомового остатка;

- рациональные технологические и структурно-эксплуатационные параметры предлагаемого измельчающе-экстракционного устройства на основе этих моделей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы технологический процесс и параметры измельчительно-экстракционного устройства для получения кормовой добавки молодняку сельскохозяйственных животных. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров в области сельского хозяйства, проектных организаций, конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов при проектировании сельскохозяйственных и межхозяйственных предприятий для производства этого вида продуктов.

Методология и методы исследования. Общим методологическим подходом к исследованию был системный подход, позволивший изучить технологический процесс, разрабатываемый во взаимосвязи технических, технологических, качественных и экономических показателей с конкретными параметрами сырья и готовой продукции, а также с параметрами технологической линии приготовления кормовой добавки. В аналитических исследованиях использовались методы и принципы теоретической и прикладной механики, а также методы теории вероятностей. Исследования проводились на экспериментальной установке с использованием метода многофакторного планирования эксперимента и математического моделирования. Обработка и анализ полученных данных проводилась с помощью математической статистики с использованием персонального компьютера и программ Microsoft Excel 2010, «КПС», «Статистика - 8.0» и других.

Рабочая гипотеза. Принцип рационального способа приготовления качественной кормовой добавки на основе соево-корнеплодной композиции с наименьшими затратами труда и средств за счет использования предлагаемого измельчающе-экстракционного устройства, которое обеспечит качественное выполнение процессов измельчения сырьевых компонентов с извлечением питательных веществ в водной среде и последующим отделением жомового остатка.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретических исследований для обоснования технологических и структурно-эксплуатационных параметров процессов получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);
- результаты экспериментальных исследований в виде полученных математических моделей и параметров процессов;
- методика расчета технологической линии приготовления кормовой добавки;

- технико-экономическая оценка результатов исследования.

Степень достоверности полученных результатов. Результаты испытаний были получены с использованием общепринятых методов исследования, современного измерительного и компьютерного оборудования. Достоверность проведенных исследований подтверждается сближением теоретических и экспериментальных данных, всесторонним тестированием результатов испытаний. Результаты исследования были внедрены в СПК «Искра» Тамбовского района, в сельскохозяйственной артели (колхозе) «Родина» в Константиновском районе Амурской области.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на межвузовских научных конференциях Дальневосточного ГАУ (г. Благовещенск, 2014-2022 г.г.); XVI-XX региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века: шаг в будущее» (г. Благовещенск, 2015 – 2019 гг.); II этапе Всероссийского конкурса на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (г. Благовещенск, 2017 г.); III этапе Всероссийского конкурса на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (г. Москва, 2017 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 20 работах, в том числе 3 – международных, 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science – 2, получено 6 патентов РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 127 страницах, содержит 28 таблиц, 39 рисунков, 11 приложений. Список литературы содержит 171 наименования, из них 22 – на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, показана её новизна, практическая значимость, выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса получения соевой кормовой добавки». На основании анализа ранее проведенных исследований обосновано перспективное направление в решении вопроса приготовления кормов с использованием соевого сырья и намечены пути его решения. Дана оценка состояния процесса получения кормовой добавки, отмечено отсутствие технических решений переработки, сформулированы цель и задачи исследований. Изучением процессов получения кормовой добавки с использованием семян сои, занимались исследователи: Гордезиани В.С., Мельников С.М., Артюшин А.А., Иванов С.А., Подобед Л.И., Гопка В.Г., Катаев А.С., Вагин Б.И., Кукта Г.М., Куцын Л.М., Филонов Р.Ф., Доценко С.М. и другие. Их исследования стали определяющими при разработке и совершенствовании существующей кормоприготовительной техники.

Таким образом, основываясь на проведенном анализе существующих конструкций аппаратов по получению кормовой добавки, было отмечено отсутствие универсального оборудования для приготовления кормов с применением соево-корнеплодных композиций (СКК) в условиях средних и малых животноводческих хозяйств.

Во второй главе «Теоретические аспекты по обоснованию получения кормовой добавки на основе соево-корнеплодных сырьевых композиций с помощью ИЭУ» раскрыты основные зависимости по обоснованию поставленных на исследование процессов. Технологический процесс получения кормовой добавки, на основе или с использованием такой высокобелковой культуры как соя, представляет сложную систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных операций. В ходе исследований, была разработана конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки, изготовленной по патенту № 2624947.

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt_3} = \gamma \text{ или } \frac{dK}{dt_3} = K \cdot \gamma, \quad (1)$$

где γ – эмпирический коэффициент, характеризующий состав сырья по питательности в исходных композициях ($\gamma > 0$);

t_3 – время извлечения СВ, с.

Решение данного уравнения имеет вид экспоненты:

$$K = C \cdot e^{\gamma t_3}, \quad (2)$$

где C – постоянная, характеризующая некоторый начальный уровень извлечения питательных веществ.

В тех случаях, когда условия измельчающе-экстракционно-разделяющей обработки изменяются (момент выхода пульпы из междискового пространства), экспоненциальный закон роста концентрации сохраняется не всегда. Таким образом, процесс при котором происходит извлечение сухих веществ представляется следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dK}{dt_3} = \gamma \cdot K(A - K) (\gamma > 0; 0 < K < A), \quad (3)$$

где A – постоянная, характеризующая максимальное значение концентрации питательных веществ в экстрагенте (воде), %.

Относительная скорость роста концентрации ПВ приобретает характер линейной зависимости:

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt_3} = \gamma(A - K). \quad (4)$$

Для показателя концентрации ПВ окончательно имеем, что:

$$K = \frac{A}{1 + C \cdot e^{-A\gamma t_3}}. \quad (5)$$

Рассматривая полученное выражение как математическую модель функционирования устройства, приходим к тому, что на эффективность процесса извлечения СВ оказывает ряд факторов, такие как длительность разрушения частиц в водной среде, экстракция ПВ и отделение твердого нерастворимого остатка или жома. Интенсивность извлечения СВ в начальный момент прохождения экстракционного процесса характеризуется параметром A .

Как видим, небольшой промежуток времени обеспечивает повышение эффективности работы измельчающе-экстракционного устройства, заключающемся в извлечении наибольшего количества СВ. Именно поэтому, необходима разработка измельчающе-экстракционно-разделяющего рабочего органа, который обеспечивая интенсивное воздействие на измельчаемое сырье путем стремительного разрушения его на более мелкие фракции с интенсивным промыванием водой и фильтрацией жома.

Данным требованиям в полной мере отвечает дисковый рабочий орган с активной режущо-сдвигающей поверхностью в виде металлического ворса, размещенного на дисках (верхнем и нижнем) кольцеобразно (Патент на изобретение №2624947 измельчитель влажных продуктов).

Решая техническую задачу, необходимо определить по какой траектории будет двигаться частица относительно истирающей поверхности нижнего диска, радиус которого – R_d и вращается с угловой скоростью – ω , при условии того, что верхний диск неподвижен.

В соответствии с решаемой технической задачей определена траектория движения частицы по ворсистой поверхности нижнего диска согласно уравнению:

$$R_{gi} = C \cdot e^{\frac{\varphi}{\gamma}}, \quad (6)$$

где e – коэффициент пропорциональности;

φ – угол радиального вектора.

Руководствуясь схемой к расчету параметров, приведенной выше на рисунке 1, на пропускную способность измельчающе-экстракционного узла влияют – плотность размещения металлического ворса – F (шт/см²), угловая скорость активного (нижнего) диска – ω (с⁻¹) и зазор между истирающими дисками – s .

Для того чтобы получить аналитическую зависимость, необходимо составить уравнение баланса, дабы проследить измельчение частиц в пульпе до и после их подачи к истирающим дискам измельчающе-экстракционного узла:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot a_{zi} \cdot b_{zi}^2 = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot d_3^3}{6}, \quad (7)$$

где a_{zi} , b_{zi} – размер полуосей замоченного семени сои, принятого за эллипсоид, м;

λ – степень измельчения семени сои;

d_3 – эквивалентный диаметр частицы, полученный в результате измельчения, м.

Решение равенства (7) относительно степени измельчения λ дает следующее уравнение:

$$\lambda = \frac{8 \cdot a_{zi} \cdot b_{zi}^2}{d_3^3}. \quad (8)$$

Решая уравнение (8), относительно конечного размера измельченных частиц имеем, что:

$$d_3^3 = \frac{8a_{zi} \cdot b_{zi}^2}{\lambda}. \quad (9)$$

или

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{8a_{3i} \cdot b_{3i}^2}{\lambda}} \leq s. \quad (10)$$

Уравнение производительности измельчающе-экстракционного устройства имеет вид:

$$Q_{изэу} = \frac{45,43 \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_{д} \left(\frac{8d_{3i} \cdot b_{3i}^2}{\lambda}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot (v_1 - v_2)}{(\ln v_1 - \ln v_2)}. \quad (11)$$

Производительность ФРУ по твердой фракции, определяется как:

$$Q_{тф} = V_{сл} \cdot \rho_{ср} \cdot \omega_{кр}, \quad (12)$$

где $V_{сл}$ – объем массы нерастворимого соево-корнеплодного жомового остатка (НСКЖО) по внутренней поверхности конического ротора, м³;

$\rho_{ср}$ – усредненная плотность перемещаемой массы, кг/м³;

$\omega_{кр}$ – угловая скорость конического ротора, с⁻¹.

Производительность ФРУ по жидкой фракции – $Q_{жф}$, определим как:

$$Q_{жф} = Q_{изэу} - Q_{тф}. \quad (13)$$

Энергоемкость фильтрующе-разделяющего процесса измельчающе-экстракционного устройства зависит от затрат мощности на его выполнение:

$$N_{фру} = \frac{0,5L^2 \cdot (R_{\lambda} + 0,25L)g \cdot f \cdot R_{\lambda}}{\operatorname{tg}\Psi}, \quad (14)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

f – коэффициент трения массы НСКЖО о фильтрующую сетку;

R_{λ} – коэффициент учитывающий сопротивление движению массы в зависимости от угла наклона образующей стенки конического ротора.

Энергоемкость процесса получения кормовой добавки в виде белково-витаминного экстракта (БВЭ) и нерастворимого соево-корнеплодного жомового остатка (НСКЖО), с учетом достигаемой степени измельчения, определим как:

$$N_{уд} = \frac{0,125 \cdot N_{изв} \cdot d_3^3}{Q_{изэу} \cdot a_{3i} \cdot b_{3i}^2}. \quad (15)$$

Мощность, затрачиваемая на процесс работы ИЭУ равна:

$$N_{изв} = \frac{45,43R_{д} \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot [b_1' \cdot c^{1/(1-c)}] \cdot (8d_{3i} \cdot b_{3i}^2)^{\frac{1}{3}} \cdot (v_1 - v_2)A_{изм}}{\ln v_1 - \ln v_2}, \quad (16)$$

где $\rho_{п}/\rho_{ср}$ – показатель, характеризующий степень центробежного разделения пульпы на твердую и жидкую фракции, кг/м³.

В конечном итоге, мощность привода измельчающе-экстракционного устройства составит:

$$N_{\text{изу}} = \frac{(1,15 \dots 1,2)(N_{\text{изв}} + N_{\text{фру}})}{\eta}, \quad (17)$$

где η – КПД привода устройства.

Таким образом, на основании теоретического анализа установлены взаимосвязи между факторами, оказывающими влияние на качественные и энергетические показатели рассматриваемых процессов. Это позволило получить новые научно-обоснованные данные для проектирования технологической линии получения кормовой добавки.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведена общая программа и объекты исследований, общие и частные методики, общая схема установки для проведения экспериментов, ее описание и методы обработки эксперимента.

Была изготовлена экспериментальная установка (рисунок 2), посредством, которой проведен ряд многофакторных экспериментов.

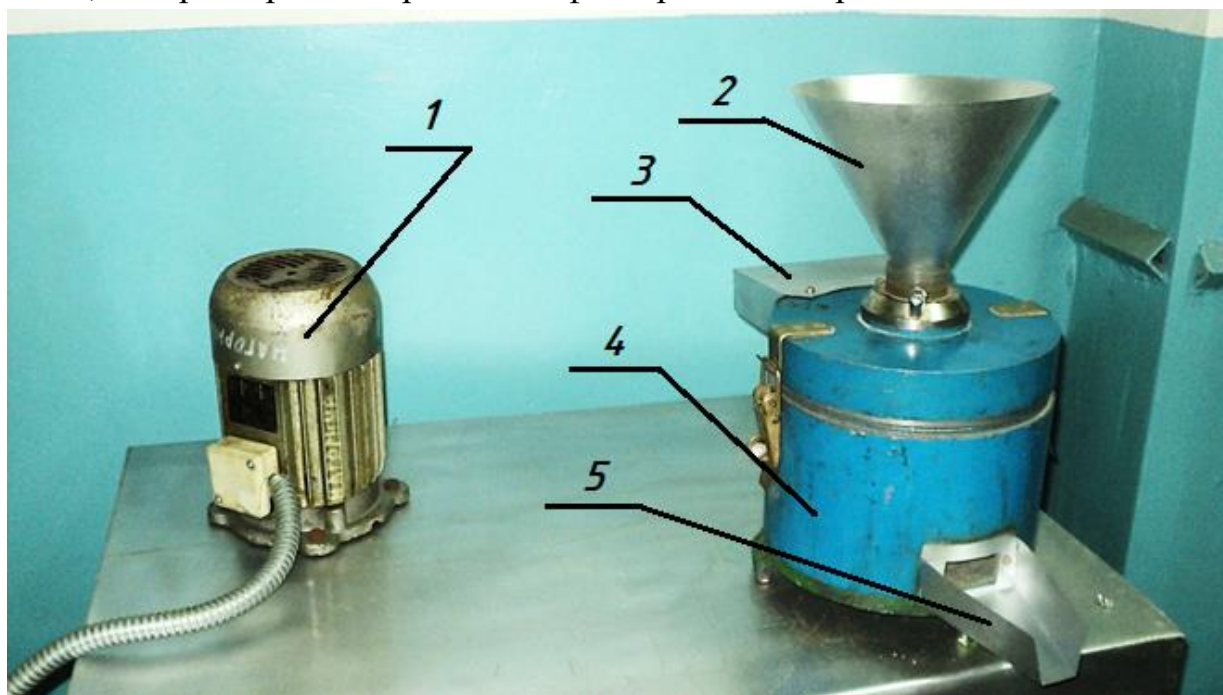


Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки: 1 – электродвигатель; 2 – загрузочная воронка; 3 – выгрузное окно; 4 – корпус; 5 – сливной желоб.

Комбинированный прибор К-505, использовался для определения энергетических характеристик, таких как, мощность, затрачиваемая на процесс измельчения, экстракции и отделения жома.

Взвешивание, нерастворимого жомового остатка, производилось при помощи весов ВЛТК-500М с использованием лабораторных бюкс.

Для измерения частоты вращения рабочих органов (подвижного диска), был применен тахометр часового типа Т4-10-Р. Измерение и изменение необходимых зазоров между рабочими дисками осуществлялось с применением щупов различной толщины пластин.

Принцип работы измельчающе-экстракционного устройства: семена сои предварительно замачивались в воде в течении 8 часов. Морковь подвергалась измельчению до размера семян сои. После чего оба компонента смешивались с водой, объемная доля которой оставалась неизменной. Исследованиями установлено, что оптимальным значением соотношения семян сои, корнеплодов и воды являлось соотношение 1:8. Данное соотношение также применимо для создания соево-свекольной и соево-тыквенной композиции. При помощи подающе-распределяющего узла (ПРУ) композиция подавалась на рабочую поверхность между дисками. При взаимодействии соево-морковной композиции с упругими металлическими элементами верхнего и нижнего диска, происходило растирание. Сменные диски устанавливались на патрубке верхнего рабочего органа и роторе нижнего рабочего органа установки. Полученный белково-витаминный экстракт проходил через фильтрующий элемент, установленную на коническом диске. Впоследствии происходило отделение нерастворимого остатка (жома) от жидкой фракции. Проба полученного нерастворимого остатка и жидкой фракции приведены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Проба приготовленного экстракта

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» были определены основные физико-механические показатели соево-корнеплодной композиции, приведены результаты по обоснованию оптимальных параметров процессов получения соево-корнеплодной композиции, а также получения кормовой добавки.

Таблица 1 – Основные физико-механические показатели соево-корнеплодной сырьевой композиции

№	Наименование продукта	Влажность, %	Эквивалентный диаметр, $D_{э}$, мм	Плотность ρ , кг/м ³
1.	Соево-морковная композиция (СМК)	80-82	7,2	683,2-691,5
2.	Соево-тыквенная композиция (СТК)	82-84	7,5	686,5-694,1
3.	Соево-свекольная композиция (ССК)	85-86	6,8	681,3-692,4

На основании проведенных поисковых опытов и априорного ранжирования, устанавливались наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на критерии оптимизации: концентрация питательных веществ - $K_{пв}$, %; влажность композиции - W , %; затраты мощности - $N_{уд}$, Вт·ч/литр.

Обоснование оптимальных параметров процесса получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства по принятым его узловым блокам

В качестве критерия оптимизации был принят такой показатель, как концентрация сухих веществ в экстракте $K_{св}$ позволяющий оценить степень их содержания в экстракте. Как установлено поисковыми опытами, а также теоретическим анализом (глава 2), в первую очередь выход белка зависит от угловой скорости вращения нижнего диска - ω , с⁻¹, плотности размещения ворса - F , шт/см², а также зазора между дисками - s , мм.

Таким образом, экспериментально, путем физического моделирования необходимо было установить зависимость в её общем виде:

$$K_{св} = f(\omega; F; s) \rightarrow \max$$

Эксперимент проводился по стандартной матрице для трехфакторного эксперимента по пятнадцати опытам.

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены следующие математические модели, характеризующие процесс выделения питательных веществ, которые после отсеивания незначимых коэффициентов получили следующий вид:

$$K_{пв1} = -38,61 + 0,29 \cdot \omega + 0,52 \cdot F + 5,26 \cdot \Delta + 0,007 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,001 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,35 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (18)$$

$$K_{пв2} = -42,46 + 0,31 \cdot \omega + 0,57 \cdot F + 5,61 \cdot \Delta + 0,008 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,001 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,33 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (19)$$

$$K_{\text{ПВЗ}} = -35,33 + 0,24 \cdot \omega + 0,51 \cdot F + 5,4 \cdot \Delta + 0,008 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,0009 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,25 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (20)$$

Проведенный анализ показывает, что оптимальными значениями параметров исследуемого процесса $K_{\text{св}}$, %, являются: скорость вращения нижнего диска $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$, плотность размещения ворса $F = 85-95 \text{ шт/см}^2$, зазор между дисками $s = 2,3-2,6 \text{ мм}$.

Обоснование оптимальных параметров рабочего процесса по разделению жидкой и твердой фракции

На данном этапе в качестве критерия оптимизации был принят такой показатель, как влажность композиции W , %. При обосновании конструктивно-режимных параметров пресса предложенного типа, в качестве критериев оптимизации были приняты: угловая скорость вращения нижнего диска - ω , с^{-1} , угол наклона образующей стенки конуса к вертикали - α , град., а также зазор между дисками - s , мм.

Таким образом, экспериментально, путем физического моделирования необходимо было установить зависимость в её общем виде:

$$W = f(\omega; \alpha; s) \rightarrow \min$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_4= 0,978$, $R_5=0,981$ и $R_6=0,976$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$. Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, $0,05$, то есть $p_4= 0,006$, $p_5 = 0,004$ и $p_6 = 0,008$ означают, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R^2_{4-6} находится в пределах больших чем $0,8-0,95$, то можно говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

Исследования по обоснованию затрат энергии на получение кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства

В ходе исследований в качестве критерия оптимизации был принят показатель затраты мощности $N_{\text{уд}}$, Вт·ч/литр. При обосновании конструктивно-режимных параметров пресса предложенного типа, в качестве критериев оптимизации были приняты: угловая скорость вращения нижнего диска - ω , с^{-1} , ширина кольца ворса - b , мм, а также высота ворса - h , мм.

Таким образом, экспериментально, путем физического моделирования необходимо было установить зависимость в её общем виде:

$$N_{\text{уд}} = f(\omega; b; h) \rightarrow \min$$

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены следующие математические модели, характеризующие процесс определения затрат энергии, которые после отсеивания незначимых коэффициентов получили следующий вид:

$$N_{\text{уд}7} = 162,11 - 0,7 \cdot \omega - 4,11 \cdot b - 19,93 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,25 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,09 \cdot b^2 + 1,48 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (21)$$

$$N_{\text{уд}8} = 165,27 - 0,79 \cdot \omega - 4,32 \cdot b - 16,58 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,26 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,09 \cdot b^2 + 0,74 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (22)$$

$$N_{\text{уд}9} = 173,59 - 0,85 \cdot \omega - 4,84 \cdot b - 17,35 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,22 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,12 \cdot b^2 + 1,11 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (23)$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_7=0,969$, $R_8=0,967$ и $R_9=0,969$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$. Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, $0,05$, то есть $p_7 = 0,01$, $p_8 = 0,01$ и $p_9 = 0,015$ означают, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R^2_{7-9} находится в пределах больших чем $0,8-0,95$, то можно говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

В пятой главе «Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета линии с использованием ИЭУ» приведены данные по производственной проверке результатов исследований и их экономической оценке, а также разработанной методике расчета линии приготовления высокобелковых кормов. Производственной проверкой основных результатов исследований, проведенной в Тамбовском районе Амурской области, на базе СПК «Искра» установлено, что линия для безотходного производства кормовых продуктов с использованием инновационного ИЭУ (рисунок 4) по технико-экономическим показателям отвечает предъявляемым требованиям.

В результате реализации разработанной технологии получены два вида кормовых продуктов: кормовая добавка на основе соево-корнеплодной композиции и гранулированный комбикорм.

На основании проведенных исследований подтверждены рациональные значения показателей технологического процесса приготовления кормов с использованием соево-корнеплодных композиций, а также разработана методика расчёта технологической линии. Экономическая оценка результатов исследований приведена в выводах.

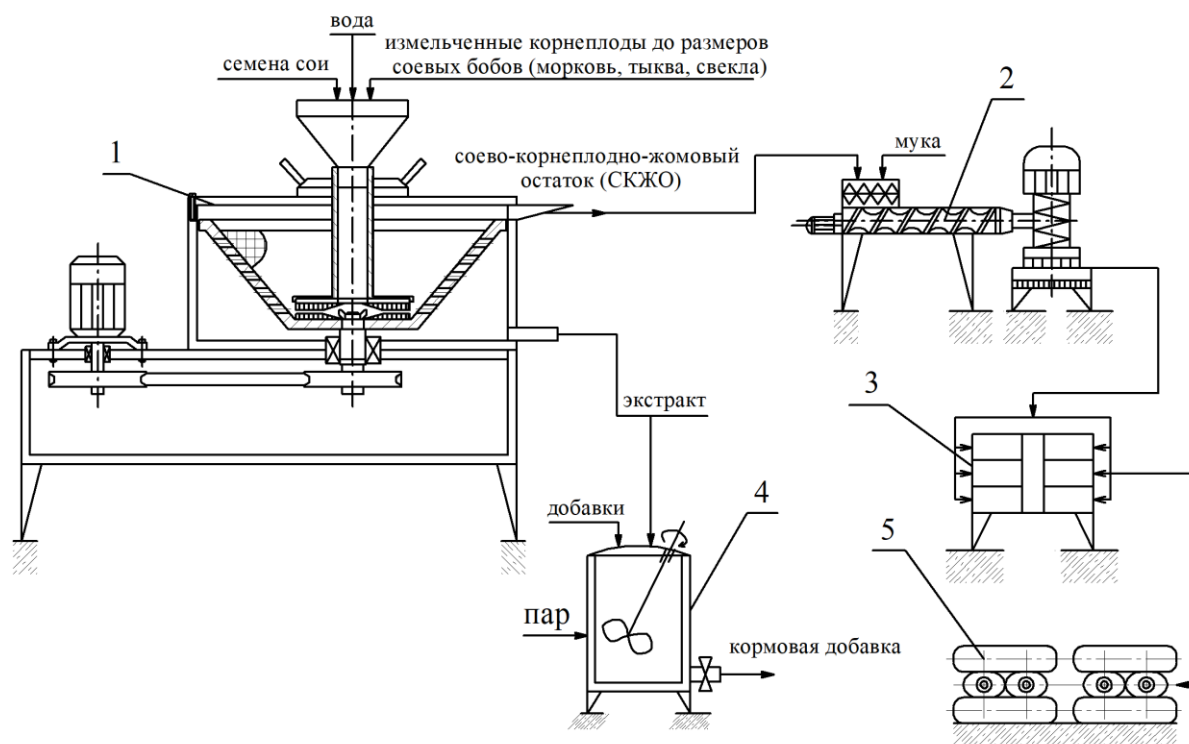


Рисунок 4 – Конструктивно-технологическая схема линии для безотходного производства кормовой добавки с использованием инновационного ИЭУ; 1 – измельчающе-экстракционное устройство; 2 – пресс-гранулятор; 3 – сушильный шкаф ЭСПИС-4-Универсал; 4 – агрегат АЗМ-0,7А; 5 – гранулы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-производственная задача по обоснованию нового способа получения кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций с использованием измельчающе-экстракционного устройства.

2. Проведенный анализ существующих конструкций сельскохозяйственных аппаратов по приготовлению кормовой добавки показал, они являются менее эффективными при измельчении волокнистых продуктов, таких как свекла, морковь, тыква и др., в связи с чем была разработана конструктивно-технологическая схема измельчающе-экстракционного устройства (патент № 2624947).

Повысить эффективность процесса измельчения семян сои и корнеплодов можно путем применения рабочих органов в виде дисков, с размещенным на них металлическим ворсом, обеспечивающих извлечение питательных веществ.

3. На основании анализа итогов выполненного исследования по технологическому и техническому обеспечению системы механизированного корм-

ления молодняка сельскохозяйственных животных, обоснован способ получения кормовой добавки, включающий операции по извлечению белково-витаминных и других питательных веществ в водную среду из предварительно подготовленных соево-корнеплодных композиций.

На основании разработанной структурно-функциональной схемы измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ) для получения кормовой добавки обоснованы решения по конструктивному оформлению подающе-распределяющего узла (ПРУ), измельчающе-экстракционного узла (ИЭУ) и фильтрующе-разделяющего узла (ФРУ).

В результате теоретического анализа рабочего процесса предложенного устройства получена кинетическая модель, в виде зависимости характеризующей интенсивность процесса извлечения питательных веществ из соево-корнеплодных композиций, а также зависимости по обоснованию пропускной способности предложенного устройства, с учетом конструктивных особенностей ПРУ, ИЭУ и ФРУ, в том числе совокупные затраты энергии на выполнение процессов измельчения, экстракции и разделения.

4. Экспериментальным путем получены математические модели процессов, в виде адекватных уравнений регрессии, на основании которых обоснованы конструктивно-режимные параметры ИЭУ. Установлено, что оптимальными значениями параметров ИЭУ являются:

- угловая скорость нижнего диска – $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$;
- плотность размещения ворса – $F = 85-95 \text{ шт/см}^2$;
- зазор между дисками – $s = 2,3-2,6 \text{ мм}$;
- угол наклона образующей стенки конического ротора к его вертикальной оси - $45,8-46,2$ градусов;
- ширина кольца ворса – $b = 17,7-24,0 \text{ мм}$;
- высота ворса – $h = 2,2-2,9 \text{ мм}$.

Расхождение результатов теоретических исследований и полученных экспериментальных данных не превышает допустимые 5%.

5. В ходе производственной проверки подтверждены результаты теоретических и экспериментальных исследований. На основе полученных данных обоснован состав технологической линии по производству кормовой добавки молодняку сельскохозяйственных животных с использованием соево-корнеплодных композиций, а также предложена методика ее расчета.

Установлено, что данная технологическая линия обеспечивает безотходное получение кормовой добавки с содержанием сухих веществ в пределах 10,8-17,5% в зависимости от вида соево-корнеплодной композиции, а также нерастворимого соево-корнеплодного жомового остатка с влажностью в пределах 37,5-49,9%. При совокупной энергоемкости ИЭУ 35,4-49,9 кВт·с/литр

6. В результате сравнительной технико-экономической оценки разработанной технологической линии, содержащей предложенное ИЭУ по безотходному производству кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций, установлено, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разрабатываемой технологии составит 3343387,05 рублей.

На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по производству и использованию инновационных продуктов, полученных на основе соево-корнеплодных сырьевых композиций с помощью предложенного ИЭУ.

Рекомендации и предложения производству

1. При разработке и проектировании системы механизированного кормления молодняка сельскохозяйственных животных на малых фермах (КРС и свинофермах) рациональным является использование ИЭУ со щеточно-истирающим рабочим органом дискового типа.

2. Данное ИЭУ целесообразно использовать в совокупности со смесителем-гранулятором сушильным шкафом «ЭСПИС-4-универсал», позволяющим обеспечить безотходное производство соевой белковой суспензии и получать белково-углеводно-витаминный гранулят.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя теоретический и экспериментальный материал проведенных исследований возможно разработать способы по использованию других композиций на основе бобовых и овощных кормовых культур, а также отходов перерабатывающих производств и теоретических средств для их реализации.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Список работ, опубликованных в ведущих рецензируемых журналах и изданиях ВАК Минобрнауки РФ:

1. Маркин Д.А. Обоснование способа приготовления кормов с использованием сои / С.В. Варакин, Е.А. Неретина, С.М. Доценко, Р.В. Соболев, Д.А. Маркин // Вестник КрасГАУ. Выпуск 12. Красноярск 2015. – С. 87-91.

2. Маркин Д.А. Обоснование параметров процесса получения соево-курузного белково-углеводного гранулята / С.В. Варакин, Е.А. Неретина, С.М. Доценко, Р.В. Соболев, Д.А. Маркин // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2016. № 3 (44). С. 107-117.

3. Маркин Д.А. Экспериментально-теоретические аспекты разработки измельчающе-экстракционного устройства / С.М. Доценко, Д.А. Маркин, С.В. Варакин, О.В. Гончарук // Дальневосточный аграрный вестник. Выпуск №4 (40). Благовещенск октябрь – декабрь 2016. – С. 150 – 156.

4. Маркин Д.А. Обоснование пропускной способности измельчающе-экстракционного аппарата многофункциональной машины / Д.А. Маркин, С.М. Доценко, С.В. Вараксин, О.В. Гончарук // Дальневосточный аграрный вестник. Выпуск №1 (41). Благовещенск январь – март 2017. – С. 74 – 81.

5. Маркин Д.А. Обоснование методики и параметров оптимизации процесса приготовления заменителя цельного молока / Д.А. Маркин // "Вестник АПК Ставрополя" №1 (24), 2017. – С. 32 – 38.

6. Маркин Д.А. Теоретические аспекты по обоснованию параметров многофункционального устройства для производства продуктов на основе соево-морковно-грибных композиций / А.Г. Иванов, О.В. Гончарук, С.М. Доценко, С.В. Вараксин, Д.А. Маркин // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2017, №3. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/3/st_313.doc.

7. Маркин Д.А. Обоснование технологии и параметров приготовления продуктов на основе соево-корнеплодных композиций / С.М. Доценко, С.В. Вараксин, Д.А. Маркин // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2021, №2. – www.agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_219.doc.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus:

8. Markin D.A. Theoretical substantiation parameters of the process for obtaining a soybean-grain substitute for dairy feed // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - Varaksin S.V., Dotsenko S.M., Kryuchkova L.G., Burmaga A.V., Markin D.A. March–April 2018 RJPBCS 9(2) Page No. 809 – 816.

9. Markin D.A. Kinematic Aspects For Justifying The Parameters Of The Chamber-Type Tray Dryer // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - Varaksin S.V., Dotsenko S.M., Kryuchkova L.G., Burmaga A.V., Markin D.A. May–June 2018 RJPBCS 9(3) Page No. 814 – 818

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

10. Маркин Д.А. Концептуальные аспекты повышения эффективности приготовления кормовых продуктов с использованием соево-зерновых композиций / С.М. Доценко, С.В. Вараксин, Д.А. Маркин // Сб. материалов 4 международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня» 2014. - С. 94 – 97.

11. Маркин Д.А. Совершенствование технологии производства соевых высокобелковых продуктов в виде ЗЦМ / Д.А. Маркин // Сб. материалов 16 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2015. – С. 95 – 96.

12. Маркин Д.А. Классификация способов и средств для получения соевой белковой основы / Д.А. Маркин // Сборник научных трудов выпуск №22 Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Благовещенск 2015. – С. 108 – 111.

13. Маркин Д.А. Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления соевой белковой основы / Д.А. Маркин // Сб. материалов 17 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2016. - С. 24 – 25.

14. Маркин Д.А. Теоретические и практические аспекты получения белково-углеводных гранул заданной влажности и однородности для кроликов / С.В. Вараксин, Д.А. Маркин // Сб. материалов 4 международной научно-практической конференции «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков». Новосибирск 2016. – С. 75 – 80.

15. Маркин Д.А. Обоснование параметров устройства для получения заменителя молочных кормов / Д.А. Маркин, С.В. Вараксин // Сборник научных трудов выпуск №23 Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Благовещенск 2016. – С. 5 – 9.

16. Маркин Д.А. Приготовление кормов на основе сои с использованием многофункциональной машины / Д.А. Маркин // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Курск, 7-9 декабря 2016 г., ч. 1. – С. 282–284.

17. Маркин Д.А. Расчет пропускной способности измельчающе-экстракционного устройства для приготовления заменителей молочных кормов / Д.А. Маркин // Сб. материалов 18 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2017. - С. 1189-1190.

18. Маркин Д.А. Расчет извлечения питательных веществ из соево-корнеплодной композиции / Д.А. Маркин // Материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 19 апреля 2017 г.) Том 4 Основные направления развития механизации АПК. – С. 49-52.

19. Патент на изобретение №2565277 Способ приготовления белково-витаминного продукта / Доценко С.М., Вараксин С. В., Маркин Д.А. // Оpubл. 20.10.2015, Бюл. № 29

20. Патент на изобретение №2624947 Измельчитель влажных продуктов / Доценко С.М., Иванов А.Г., Соболев И.В., Вараксин С.В., Гончарук А.И., Гончарук О.В., Школьников П.Н., Маркин Д.А. // Оpubл. 11.07.2017, Бюл. №20

21. Патент на изобретение №2634047 Измельчитель влажных растительных продуктов / Доценко С.М., Гончарук О.В., Вараксин С.В., Маркин Д.А., Иванов А.Г. // Оpubл. 23.10.2017, Бюл. №30