

На правах рукописи



Вишневский Александр Николаевич

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ СОЕВО-МЯСОКОСТНОГО ГРАНУЛЯТА
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ**

Специальность

4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного
комплекса»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Благовещенск - 2025

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

Научный руководитель доктор технических наук
Школьников Павел Николаевич

Официальные оппоненты: **Фролов Владимир Юрьевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,
кафедра «Механизация животноводства и БЖД»,
профессор
Садов Виктор Викторович,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Алтайский государственный аграрный
университет», кафедра «Механизации
производства и переработки
сельскохозяйственной продукции», заведующий

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Донской государственный аграрный университет"

Защита состоится «26» ноября 2025 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.013.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет», (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) по адресу: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, телефон: +7 (4162) 99-51-79; E-mail: dis35201303@dalgau.ru

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

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Панова Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема эффективного использования кормовых ресурсов в птицеводстве всегда была актуальной. Связано это с тем, что в структуре себестоимости продукции этой отрасли затраты на корма составляют от 50 до 75 %. При этом, наиболее дорогими являются белковые составляющие рациона в виде мясной и мясокостной муки. В это же время, именно эти виды белковых кормов считаются наиболее ценными, так как они содержат в своем составе 40 – 50 % белков и способны удовлетворить совокупную потребность птицы в незаменимых аминокислотах.

Однако качество и рыбной и мясокостной муки напрямую зависит от качества исходного сырья. При этом доступность аминокислот из мясокостной муки значительно ниже, чем из растительного шрота, что снижает экономическую эффективность ее применения.

Заменой животных источников протеина может служить шрот из семян подсолнечника. Однако, по составу незаменимых аминокислот этот белок уступает и мясной и мясокостной муке, а также соевому шроту. При этом, использование данного вида шрота возможно лишь при дополнительном балансировании его белка синтетическими аминокислотами.

Известно, что в кормовом балансе зарубежных стран соевое зерно и продукты ее переработки занимают основную роль, так как эти продукты богаты полноценными белками, жирами, а также биологически активными веществами в виде токоферолов.

В нашей стране, несмотря на то, что на Дальнем Востоке и Краснодарском крае производится такая высокобелковая культура как соя, данные продукты не нашли широкого применения в кормлении животных и птицы. Наличие данной проблемы обусловлено отсутствием специальной техники и технологий, а также научно обоснованных данных для их проектирования и конструирования.

В тоже время, не в полной мере используется и такое мясокостное минеральное сырье, как отходы от убоя и переработки птицы.

Однако, как показывают многолетние исследования, использование данного сырья, в различных его сочетаниях, дает существенный зоотехнический и экономический эффекты.

В этой связи, исследования, направленные на создание технологии и технических средств приготовления кормовой добавки в составе технологической линии на основе местного Дальневосточного сырья, а также отходов убоя и переработки птицы, являются актуальными.

Степень разработанности темы. Вопросами приготовления кормов на основе мясного и мясокостного сырья посвящены работы Анисимова В.А., Барсова Н.А., Вагина Б.И., Безматерных А.А., Волик В.Г., Тихонова Ю.Т., Тихонова Е.А. и других ученых.

В результате проведенных исследований получены данные по приготовлению паст и фаршей для нужд звероводства, а также переработки отходов птицеводства на кормовые цели, в рамках разработки и создания технических

средств повышенной производительности.

Однако, в настоящее время нет достаточных данных для проектирования и конструирования технических средств, обеспечивающих в совокупности приготовление гранулированных кормовых добавок на основе соево-мясокостных композиций с относительно низкими затратами труда, средств и качеством, отвечающим зоотребованиям.

Рабочей гипотезой для решения данной научно-технической задачи является предположение о том, что повышение эффективности процессов приготовления высокобелковой кормовой добавки возможно и целесообразно, путем ее получения в виде соево-мясокостного гранулята, на специальных технических средствах, обеспечивающих усреднение влаги в мясокостном сырье и композициях, с последующим формованием качественных гранул и выявлением закономерностей и зависимостей, характеризующих данные процессы, а также установлением оптимальных значений параметров технических средств для ее получения.

Целью исследований является повышение эффективности процесса приготовления высокобелковой кормовой добавки на основе сырья животного и растительного происхождения, путем обоснования способа и параметров ее получения.

Объект исследований – технологический процесс получения белково-минеральной кормовой добавки на основе соевого и субпродуктово-мясокостного сырья.

Предмет исследований – закономерности процессов усреднения влаги в субпродуктово-мясокостном сырье и кормовой смеси на его основе, а также формования и сушки гранул данного состава.

Задачи исследований:

- на основании анализа литературных источников обосновать рациональный способ приготовления высокобелковой кормовой добавки с использованием отходов убоя птицы и соевого компонента, соответствующей трансформации;
- разработать функционально-структурную схему и экономико-математическую модель оценки функционирования технической системы по приготовлению кормовой добавки птице;
- установить аналитические зависимости, характеризующие процесс получения высокобелковой кормовой добавки с помощью функционально-сопряженных технических средств, скомпонованных в технологическую линию;
- получить экспериментальные математические модели оценки соево-мясокостных фаршевых композиций по реологическим и технологическим показателям, обосновать параметры и степень сходимости результатов теоретического и экспериментального характера;
- провести производственную проверку основных результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку, разработать методику расчета параметров технологической линии и рекомендации по ее использованию в системе кормления с/х птицы.

Общая методика исследований. Теоретические исследования проводились на основе методов математики, технической механики и сопротивления материалов.

Экспериментальные исследования проводились с использованием классического однофакторного метода, а также метода планирования многофакторного эксперимента, общих и частных методик, а также соответствующих ГОСТов. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики с использованием ПЭВМ и программы «Statistika-7.0».

Научную новизну представляют:

- обоснование возможности и целесообразности получения белково-минеральной добавки на основе соевого и субпродуктово-мясокостного сырья;
- аналитические зависимости по обоснованию параметров процессов усреднения влаги в мясокостном сырье и соево-мясокостных композициях, плотности влажных гранул и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора, его пропускной способности и мощности, а также параметров сушки гранул с показателями качества не ниже определенных зоотребованиями;
- экспериментально полученные математические модели процесса приготовления соево-мясокостного гранулята, на основе которых обоснованы области оптимальных значений факторов, влияющих на однородность бинарной композиции – необезжиренная термообработанная соевая мука + мясокостная паста, её структурно-механические показатели, а так же на мощность, крошимость и влажность гранул.

Практическая значимость работы. Обоснованы технология, а также совокупность технических средств, с их параметрами, позволяющими проектировать технические системы для приготовления высокобелковых продуктов заданного состава и свойств.

Разработана методика расчета технологической линии приготовления соево-мясокостного гранулята для с/х птицы, как функционально-связанной совокупности технических средств, а также рекомендации по их использованию.

Реализация результатов работы. Результаты исследований в виде методических материалов по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого и субпродуктово-мясокостного компонентов внедрены в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности» г. Воронеж, в ООО «Амурский бройлер», а также используются в ряде учебных вузов страны.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на международных научно-практических конференциях ДальГАУ и ВНИИ сои г. Благовещенск 2012 – 2025 гг., Ульяновской ГСХА, г. Ульяновск (2013 г.), Волгоградской ГСХА, г. Волгоград (2014 г.). Работа отмечена дипломом Волгоградского ГАУ (28-30 января 2014 г.)

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 21 работах, в том числе 8 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 6 патентах РФ на изобретения. Общий объем публикаций 29,3 п.л., из них личный вклад автора – 14,7 п.л.

Основные положения, вынесенные на защиту:

- результаты теоретических исследований, включающие: аналитические выражения для определения конструктивно-режимных параметров измельчителя МКС, смесителя-гранулятора в виде агрегата и сушилки, а также технологических параметров процесса приготовления белково-минерального гранулята с использованием соевой муки;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию оптимальных значений параметров процесса приготовления кормового гранулята;
- результаты технико-экономической оценки предложенных технологических и технических решений.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 181 наименование и 26 приложений.

Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 35 таблиц и 69 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение отражает актуальность выполненного исследования, его научную новизну и основные научные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе «Научные и практические предпосылки к обоснованию повышения эффективности приготовления кормовой добавки птице с использованием мясокостного и соевого сырья» приведены особенности кормления птицы с общей характеристикой высокобелковых кормов. При этом, установлено, что основой рациона цыплят-бройлеров является соевый шрот, в котором отсутствуют токоферолы и мясокостная мука, которая по ценовому фактору является недоступной мелкому товаропроизводителю.

Выходом из создавшегося положения является использование субпродуктового сырья от переработки птицы в композициях с необезжиренной термообработанной соевой мукой, производимой на термоагрегатах серии КПСМ-850.

Однако, на сегодняшний день отсутствуют оборудование и машины, позволяющие реализовать процесс получения гранулированного продукта на основе соево-мясокостных композиций. Отсутствуют и научно обоснованные данные для их проектирования и конструирования.

Проведённым анализом установлено, что на качество готовых гранул наибольшее влияние оказывают равномерность распределения влаги в исходном субпродуктовом мясокостном сырье (МКС), а также однородность его гранулометрического состава в измельченной массе.

При этом, также установлено, что выравнивание колебаний влажности и гранулометрического состава возможно и целесообразно уже на стадии реализации процесса измельчения исходного сырья с помощью решётчатого ножевого аппарата (РНА), который обладает относительно высокой измельчающе-смешивающе-перетирающей способностью. При дальнейшем

смешивании измельчённой таким способом массы, имеющей улучшенные характеристики по выровненности влажности и гранулометрического состава с соевой мукой, позволяют получить соево-мясокостные композиции с усредненной влажностью и высокой однородностью.

Данный подход является необходимой и достаточной предпосылкой для получения гранул «влажным» способом, отвечающих по показателям качества зоотехническим требованиям.

Во второй главе «Теоретические исследования по обоснованию процесса и параметров технических средств получения гранулята на основе соево-мясокостных композиций» обоснованы способ и экономико-математическая модель оценки процесса получения гранулята на основе соево-мясокостных композиций, а также параметры функционально сопряженных технических средств и их узлов.

По данным многих ученых, количество удаляемой влаги из мясного сырья составляет от 55 до 60 %, т.е. больше половины перерабатываемого сырья.

При этом, затраты труда и средств, связанные с удалением воды из сырья, можно значительно снизить путем применения способа усреднения влаги при получении бинарных композиций, например, соево-мясокостных.

Процесс усреднения содержания влаги, согласно данному способу (патент РФ № 2607103), происходит в начале – в процессе получения мясокостного фарша (МКФ), а затем – в процессе его перемешивания с соевым компонентом, содержащим соевое масло с витамином Е.

В качестве соевого компонента используется необезжиренная термообработанная соевая мука (НТСМ), производимая на агрегатах серии КПСМ-850.

В то же время, анализ процесса приготовления высокобелкового гранулята, на основе данного способа, показывает, что он включает три технических элемента, чтобы получить гранулят, отвечающий предъявляемым требованиям, при минимально возможных затратах на его производство.

При этом, производство такого гранулята, характеризуется удельными эксплуатационными издержками – $ЭИ_i$ по каждому из принятых элементов системы:

$$ЭИ = \sum_{i=1}^n (ИЭ_i) \cdot Q_l \cdot t \rightarrow \min, \quad (1)$$

где n – количество элементов, обеспечивающих реализацию технологического процесса приготовления гранулята на основе соево-мясокостной композиции; Q_l – производительность линии приготовления гранулята, кг/ч; t – продолжительность работы линии, ч.

Анализ данной модели показывает, что принятое условие выполнимо при снижении составляющей $ИЭ_i$ при соответствующих значениях параметра Q_l , кг/ч.

Анализ также показывает, что уменьшение размера удельных эксплуатационных затрат возможно при совмещении определенного числа операций, путем выполнения их в одной машине, представляющей собой многофункциональный агрегат.

В качестве такой машины принят смеситель-гранулятор, включающий три функциональных узла. Структурная схема данной машины, функционально связанной на подаче измельченного сырья с измельчителем и, с другой стороны, с сушильным устройством, представлена на рисунке 1. Она разработана на основании анализа, в соответствии с приведенной в диссертации классификацией операций по производству мясокостного гранулята с использованием необезжиренной соевой муки.

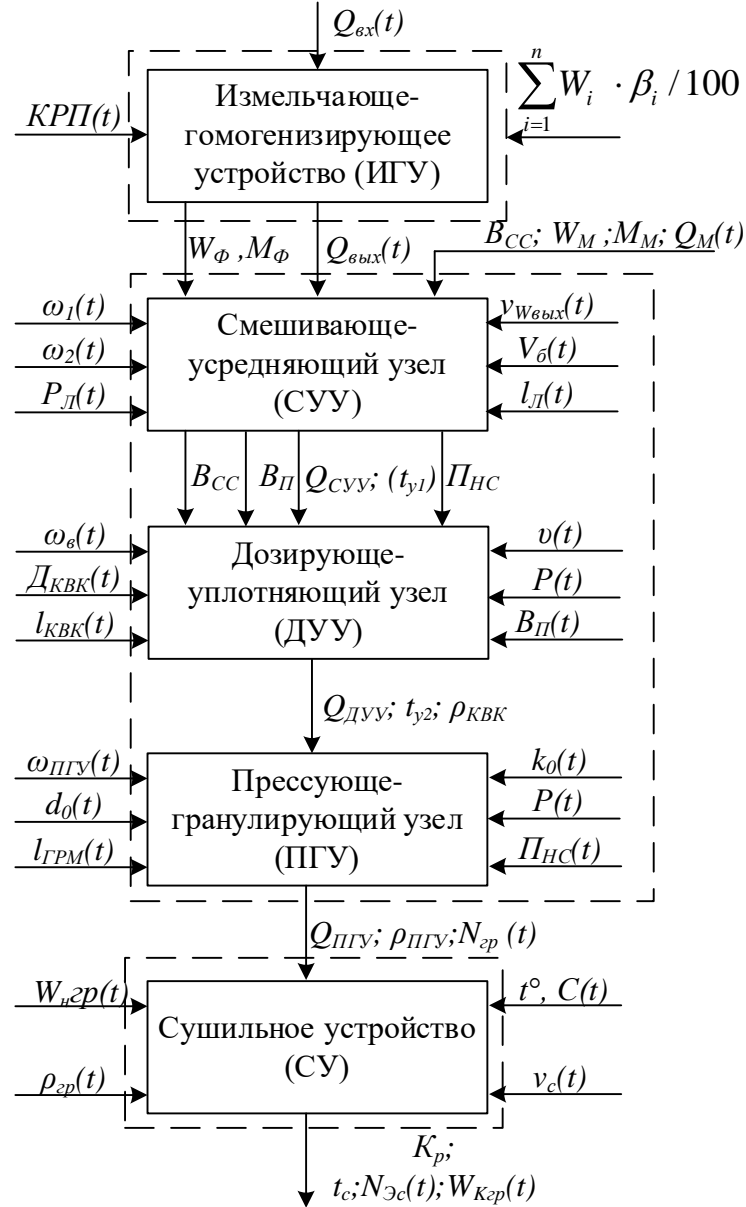


Рисунок 1 – Функционально-структурная схема технической системы для получения соево-мясокостного гранулята

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: Q_y – подача мясокостного сырья в ИГУ, к/ч; $KPI(t)$ – совокупность конструктивно-режимных параметров ИГУ; $\sum_{i=1}^n W_i \cdot \beta_i / 100$ – усредненное значение влажности – W по составляющим мясокостного сырья – β_i , %; B_{CC} – влагосвязывающая способность фарша, %; W_ϕ , W_M – влажность мясокостного фарша и соевой термообработанной

необезжиренной муки, %; $\nu_{W_{\text{вблх}}}(t)$ – показатель неравномерности распределения влаги в фарше, %; M_{Φ} , M_M – масса подаваемой в бункер СУУ МКФ и НТСМ, кг; $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$ – угловая скорость валов СУУ, с^{-1} ; $P_{\text{л}}(t)$ – усилие на лопасти вала СУУ; $V_{\delta}(t)$ – объем бункера СУУ, м^3 ; $l_{\text{л}}(t)$ – длина лопасти СУУ, м; $Q_{\text{СУУ}}$ – производительность СУУ, кг/ч ($\text{м}^3/\text{с}$); $\rho_{\text{к}}$ – плотность продукта в компрессионно-выравнивающей камере (КВК), кг/м^3 ; t_y – время усреднения влаги в соево-мясокостной композиции (СМКК), с; $Q_{\text{ПГУ}}$ – производительность ПГУ, $\text{м}^3/\text{с}$; $\omega_6(t)$, $\omega_{\text{ПГУ}}(t)$ – угловые скорости валов, с^{-1} ; $D_{\text{КВК}}$, $l_{\text{КВК}}$ – диаметр и длина КВК, м; $\Pi_{\text{НС}}$, $B_{\text{П}}$ – предельное напряжение сдвига, Па и вязкость, Па·с; $B_{\text{СС}}$ – водосвязывающая способность, %; $\rho_{\text{ПГУ}}$ – плотность гранул на выходе из ПГУ, кг/м^3 ; k_o – количество отверстий в матрице ПГУ, шт.; $N_{\text{зп}}(t)$ – удельная мощность на гранулировании, $\text{кВт} \cdot \text{ч/кг}$; P – давление в КВК, МПа; $W_{\text{нзп}}(t)$ – исходная влажность гранул, %; $\rho_{\text{зп}}(t)$ – плотность сушеных гранул, кг/м^3 ; t_c° – температура сушки, $^\circ\text{C}$; $\nu_c(t)$ – интенсивность сушки, $\%/с$; Kp – крошимость сушеных гранул, %; t_c – время сушки, с; $N_{\text{Эс}}$ – энергоемкость процесса сушки, $\text{кВт} \cdot \text{ч/кг}$; $W_{\text{Кзп}}$ – конечная влажность гранул, %.

На элементы технической системы, представленной на рисунке 1, наложены следующие ограничения:

- по производительности линии:

$$Q_{\text{Л}} \leq Q_{\text{СУУ}} \leq Q_{\text{ДУУ}} \leq Q_{\text{ПГУ}} = f(W_{\Phi}; W_M; t_y; \rho_{\text{к}}) \rightarrow \text{opt};$$

- по плотности СМКК: $\rho_{\text{к}} = f(B_{\text{СС}}; \Pi_{\text{НС}}; \omega_{\text{ПГУ}} / \omega_6; P) \rightarrow \text{max};$

- по энергоемкости: $N_{\text{Э}} = f(Q_{\text{Л}}) \rightarrow \text{min};$

- по крошимости гранул: $Kp = f(\nu_{W_{\text{вблх}}}; W_{\text{н}}; W_{\text{Кзп}}; t_c) \rightarrow \text{min}.$

Совокупность данных уравнений, в виде системы, можно принять в качестве экономико-математической модели оценки функционирования предложенной технической системы (2)

$$\left. \begin{aligned} \text{ЭИ} &= \sum_{i=1}^n (ИЭ_i) \cdot Q_{\text{Л}} \cdot t_{\text{Л}} \rightarrow \text{min}; \\ \text{при } Q_{\text{Л}} &= f(W_{\Phi}; W_M; t_y; \rho) \rightarrow \text{opt}; \\ \rho &= f(B_{\text{СС}}; \Pi_{\text{НС}}; \omega_6 / \omega_{\text{ПГУ}}; P) \rightarrow \text{max}; \\ N_{\text{Э}} &= f(Q_{\text{Л}}) \rightarrow \text{min}; \\ Kp &= f(\nu_{W_{\text{вблх}}}; W_{\text{н}}; W_{\text{Кзп}}; t_c) \rightarrow \text{min} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таким образом, в процессе дальнейших исследований надлежит установить зависимости, характеризующие значения критериев, приведенных в предложенной системе уравнений (2), с выявлением факторов, обеспечивающих выполнение процессов в соответствии с исходными требованиями.

Теоретическое обоснование рабочего процесса и параметров ИГУ

Согласно технологическому процессу (рис. 1) первой операцией является приготовление мясокостного фарша с помощью ИГУ на основе мышечной ткани с влажностью W_1 , %; жировой составляющей – W_2 , %; костной ткани – W_3 , %; мозговой составляющей – W_4 , %; шкурки – W_5 , %; кишечника – W_6 , % с

определенной массовой долей – β_i в общем количестве сырья и усредненной влажностью:

$$W_y = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot \beta_i / 100. \quad (3)$$

В качестве ИГУ для данного вида МКС, выбран измельчитель с многоступенчатым решетчато-ножевым аппаратом, обладающим высокой измельчающе-перетирающе-смешивающей способностью.

Используя положения теории случайных функций, с учетом объемной подачи ИГУ, получили значение дисперсии $\sigma_{W_{блх}}^2$ по влажности, с оценкой равномерности распределения влаги в измельченной мясокостной композиции

$$v_{W_{блх}} = \left[\frac{0,0981 \cdot d_o^3 \cdot P_{HC}}{Q_v \cdot B_{II}} \right]^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{k_o} \sigma_{W_{блх}}^2 \quad (4)$$

Обоснование параметров смешивающе-усредняющего узла в составе агрегата.

Для смесителя-гранулятора, содержащего три узла – СУУ, ДУУ и ПГУ, с пропускной способностью Q_i , согласно рис. 1, должно выполняться условие:

$$Q_{II} \leq Q_{СУУ} \leq Q_{ДУУ} \leq Q_{ПГУ} \quad (5)$$

При обосновании параметров смешивающе-усредняющего узла устройства $Q_{СУУ}$ использован подход, позволяющий определить вероятность взаимодействия частиц влажного и сухого компонентов, путем их контактирования, для обеспечения «передачи» влаги с однородностью ее перераспределения не ниже 80 %. С учетом данного подхода для пропускной способности СУУ имеем:

$$Q_{СУУ} = \sum_{i=1}^n M_i (\sigma_1 \cdot \sigma_2)^{\frac{1}{2}} / \rho_y \cdot \ln \varepsilon_1, \quad (6)$$

где M_i – масса n -го количества компонентов ($n=2$), кг; σ_2 и σ_1 – интенсивность возможных контактов частиц за принятое время с какой-то степенью вероятности; ρ_y – плотность усредненной по влажности СМКК, кг/м³; ε_1 – соотношение между числом частиц сухого компонента, вступивших в контакт с частицами влажного компонента – ΔK_1 к их общему числу K_1 , а ε_2 – то же, для влажного компонента.

Мощность, потребная на привод СУУ равна:

$$N_{СУУ} = n_e \cdot P_{II} \cdot l_{II} \cdot \omega_e, \quad (7)$$

где n_e – число валов СУУ; ω_e – угловая скорость валов СУУ; P_{II} – сопротивление вращению лопасти; l_{II} – длина лопасти.

Обоснование параметров дозирующе-уплотняющего узла в составе агрегата

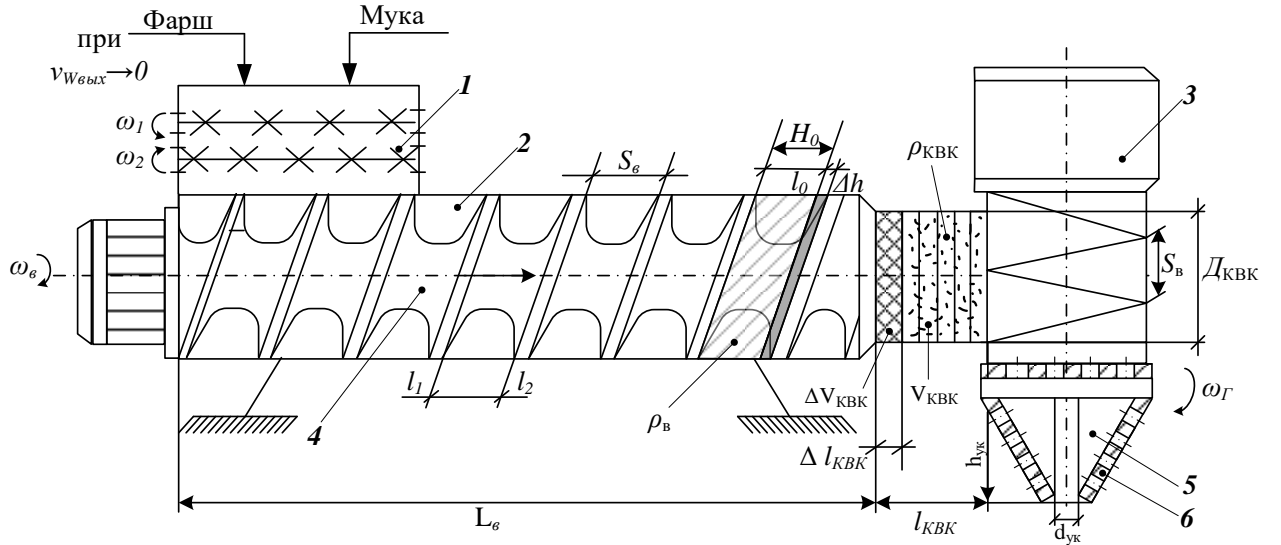
Рабочий процесс ДУУ (рис. 2) представляет собой два последовательно выполняемых процесса – первый, связан с транспортировкой соевомясокостной композиции и ее забором от СУУ винтом, а второй – с трансформацией потока СМКК в компрессионно-выравнивающей камере:

$$\frac{0,16 \cdot F_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \cdot S_{\epsilon} \cdot \omega_{\epsilon} \cdot \varphi_{\epsilon}}{0,16 F_{KBK} \cdot \rho_{KBK} \cdot \omega_{\epsilon}} = \frac{F_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \cdot S_{\epsilon} \cdot \varphi_{\epsilon}}{F_{KBK} \cdot \rho_{KBK}} = \Delta l_{KBK} = \frac{S_{\epsilon} \cdot Z}{k_y} \quad (8)$$

где k_y – степень уплотнения продукта в КВК, ед.; Z – коэффициент пропорциональности.

Значение параметра Δl_{KBK} характеризует степень сжатия кормового потока от величины $S_{\epsilon} = l_2 - l_1$ до величины Δl_{KBK} (рисунок 2).

При этом, кормовой поток, перемещаемый винтом, по своим характеристикам F_{ϵ} , ρ_{ϵ} и ω_{ϵ} не является постоянным, в виду колебаний их значений при перемещении винтом соево-мясокостной композиции. Данный кормовой поток имеет колебания в своем составе такого параметра, как влажность – W , %.



1 – СУУ; 2 – ДУУ; 3 – ПГУ; 4 – винт; 5 – четырехлопастной ротор; 6 – коническая матрица
Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема устройства для получения влажного соево-мясокостного гранулята

Согласно рисунку 2, соево-мясокостная композиция, трансформированная по структуре и форме, занимает объем в КВК – 2, равный $V_{KBK} = 0,785 \cdot D_{KBK}^2 \cdot l_{KBK}$. При этом, СМКК уплотняется, путем постоянного

приращения элементарных объемов, равных $\Delta V_{KBK} = \frac{0,785 \cdot D_{KBK}^2 \cdot \Delta l_{KBK}}{4}$, за чис-

ло циклов – $n = V_{KBK} / \Delta V_{KBK}$. При этом возникает объемно-напряженное состояние и боковое давление.

Давление, с учетом действия двух сил – осевой – Fa и окружной – Ft , равно:

$$P_R = 0,318 \left[Fa^2 + \left(2T / D_{KBK} \right)^2 \right]^{0,5} \cdot (f \cdot \pi \cdot D_{KBK} \cdot n \cdot l_{KBK})^{-1}, \quad (9)$$

где T – вращающий момент.

Под действием данного давления, в условно замкнутом объеме КВК, происходит структурная трансформация состава СМКК, путем дальнейшего перераспределения влаги от мясокостного фарша к соевой муке, с одновременным вытеснением воздуха из СМКК и уменьшением количества пор в ее объеме.

Процесс дальнейшего перехода молекул воды от фарша к соевой муке яв-

ляется диффузионным.

Данный процесс характеризуется размером молекул – k , газовой постоянной ξ и температурой – T , что позволяет определить продолжительность – t_y усреднения влаги в КВК:

$$t_y = \frac{3,0 \cdot \Pi_{HC}}{8\xi \cdot T \cdot \dot{\gamma} \cdot W_n \cdot k} = 0,375 \Pi_{HC} (\xi \cdot T \cdot W_n \cdot \dot{\gamma} \cdot k)^{-1} \leq [t_y], \quad (10)$$

где $[t_y]$ – допустимое по требованиям время усреднения влаги; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, c^{-1} .

В то же время, фактическая продолжительность усреднения влаги по ее содержанию в СМКК, зависит от параметров ДУУ и определяется, как

$$t_y = \frac{L_v}{v_0} + l_{KBK} / v_{KBK}, \quad (11)$$

где L_v , l_{KBK} – продольный размер винта и КВК (рис. 2); v_0 , v_{KBK} – скорость перемещения СМКК в устройстве ДУУ и КВК.

При условии, что $\mathcal{Q}_0 = v_{KBK}$, получим расчетную зависимость, позволяющую определить длину рабочей камеры, в которой размещен винт:

$$L_k = 0,375 \cdot \Pi_{HC} \cdot r_{cp} \cdot \omega_v \cdot \sin \alpha_c (\cos \alpha_c - f \sin \alpha_c) \cdot (\xi \cdot T \cdot W_n \cdot \dot{\gamma} \cdot k)^{-1}, \quad (12)$$

где f – коэффициент трения.

С учетом принятых выше параметров, расчетное значение пропускной способности ДУУ составит

$$\mathcal{Q}_{ДУУ} = 2,67(V_k - V_v) \cdot \rho_{KBK} \cdot \xi \cdot T \cdot W_n \cdot \dot{\gamma} \cdot k \cdot \Pi_{HC}^{-1}, \quad (13)$$

где V_k и V_v – объемы, соответственно, камеры корпуса винта и собственно винта.

Рассмотрение объемно-напряженного состояния СМКК в КВК с позиций теоремы о равенстве работ, а также с учетом начального и конечного коэффициентов пористости β_n и β_k позволяет определить значение давления в КВК:

$$P_{KBK} = E \cdot \left(\frac{\beta_n - \beta_k}{1 + \beta_n} \right) (1 - 2\mu), \quad (14)$$

где E – модуль упругости СМКК, μ и μ – коэффициент Пуассона.

Для параметра D_{KBK} имеем следующую зависимость:

$$D_{KBK} = \left\{ 1,27 \cdot \Delta V \cdot \left[l_{KBK} \cdot \left(\frac{\beta_n - \beta_k}{1 + \beta_n} \right) \cdot (1 - 2\mu)^2 \cdot (0,5 + \zeta_0) \right]^{-1} \right\}^{0,5}, \quad (15)$$

где ζ_0 – коэффициент бокового распора.

Для плотности продукта в КВК имеем:

$$\rho_{KBK} = \rho_0 + \Delta V \cdot E \cdot k [V \cdot (0,5 - \mu + \zeta_0 - 2\mu\zeta_0)]^{-1}, \quad (16)$$

где k – коэффициент с размерностью c^2/m^2 .

Мощность, потребная на функционирование ДУУ определится как:

$$N_{ДУУ} = 0,0981 D_{KBK}^3 \cdot E (\beta_n - \beta_k) (1 + \beta_n)^{-1} \cdot (1 - 2\mu) \cdot \Pi_{HC} \cdot B_{II}^{-1} \quad (17)$$

Обоснование параметров рабочего процесса прессующе-гранулирующего

узла в составе агрегата

Согласно рабочему процессу агрегата, композиция из КВК с плотностью – $\rho_{КВК}$ и усредненным значением влаги – $W_{КВК}$, поступает в горловину ПГУ (рис. 2).

Для массовой подачи ПГУ имеем, что

$$Q_{МПГУ} = 0,125(D_{гПГУ}^2 - d_{гПГУ}^2) \cdot S_{гПГУ} \cdot \rho_{КВК} \cdot \omega_{гПГУ} \quad (18)$$

Для объемной производительности ПГУ:

$$Q_{ВПГУ} = 0,0981d_0^3 \cdot k_0 \cdot \Pi_{НС} \cdot B_{П}^{-1} = [Q_V], \quad (19)$$

где d_0 – диаметр отверстия гранулирующей матрицы; k_0 – количество отверстий в матрице; $[Q_V]$ – требуемая производительность ПГУ.

Количество отверстий в матрице:

$$k_0 = [Q_V] \cdot B_{П} / 0,0981d_0^3 \cdot \Pi_{НС}, \quad (20)$$

а мощность, потребная для привода ПГУ:

$$N_{ПГУ} = 0,0981d_0^3 \cdot k_0 \cdot \Pi_{НС} \cdot B_{П}^{-1} \cdot E \cdot (\beta_n - \beta_k) \cdot (1 + \beta_n) \cdot (1 - 2\mu) \quad (21)$$

Общая мощность, потребная на привод устройства, составит

$$N_{ОМ} = (N_{СУУ} / \eta) + (N_{ДВУ} / \eta) + (N_{ПГУ} / \eta), \quad (22)$$

где составляющие определяются по формулам (7), (17) и (21).

Обоснование параметров обезвоживания гранул с помощью сушильного устройства камерного типа

Заключительным этапом процесса является сушка влажных гранул в сушильном устройстве камерного типа, согласно патенту РФ № 2607103 [107].

Производительность сушки по сухому продукту, определяется как

$$Q_c = \left(\frac{G}{t_c} \right) \cdot \left[\frac{100 - W_n}{100} \right], \quad (23)$$

где t_c – продолжительность сушки гранул; W_n – исходная влажность гранул, а количество высушиваемого продукта равно:

$$G = d_{гп} \cdot a \cdot b \cdot k \cdot n_l \cdot \rho_k, \quad (24)$$

здесь $d_{гп}$ – диаметр гранул на основе СМКК; a , b – соответственно ширина и длина лотка сушильной установки; k – коэффициент, учитывающий плотность укладки гранул в лотке; n_l – число лотков в сушильной установке; ρ_k – плотность гранул.

С учетом конечных допускаемых значений крошимости – $[Kp_k]$ и влажности $[W_k]$ гранул имеем:

$$\left. \begin{aligned} t_c &= \frac{2,3}{\xi_1} \ln \left\{ \frac{Kp_n}{Kp_k} \right\} \\ t_{c_1} &= \frac{2,3}{\xi_2} \ln \left\{ \frac{W_n}{W_k} \right\} \end{aligned} \right\}, \quad (25)$$

где ξ – эмпирический коэффициент.

$$Q_c = \frac{0,43 \cdot d_{гп} \cdot a \cdot b \cdot k \cdot n \cdot [\rho_k] \cdot [(100 - W_n)/100] \cdot \xi_1}{\ln(Kp_n/[Kp_k])} \quad (26)$$

В уравнениях параметр ξ_I определяется как:

$$\xi_1 = \xi_2 \cdot \frac{\ln(Kp_n/[Kp_k])}{\ln(W_n/[W_k])} \quad (27)$$

Для интенсивности процесса сушки имеем, что:

$$\mathcal{Q} = Kp_n \cdot \xi_1 \cdot e^{-\xi_1 \cdot t_c} \quad (28)$$

Мощность на получение гранул – N_{OM} и их сушку – N_C :

$$N_{OKD} = N_{OM} + N_C, \quad (29)$$

где N_C – мощность калорифера и нагревательных элементов, кВт.

В третьей главе «Программа, методика и результаты экспериментальных исследований» приведены программа, методы и результаты исследований.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось определение объема работ и выбор методов исследования; выделение основных факторов, влияющих на критерии оценки исследуемых процессов; разработка и изготовление пилотной установки, а также сменных узлов для проведения эксперимента методами физического и математического моделирования; разработка необходимых частных методик по проведению эксперимента; подбор приборов и оборудования; определение физико-механических и реологических характеристики СМКК; изучение влияния факторов на критерии оптимизации процессов получения фарша, смешивания, гранулирования и сушки гранул; проведение обработки экспериментальных данных и обоснование оптимальных значений параметров.

На первом этапе – устанавливались данные по массовой доле фракционных составляющих МКС в виде голов, шей и кишечника цыплят-бройлеров и содержанию в них влаги.

Для отходовой композиции «головы + шеи + кишечник» определялась дисперсия по влажности входного потока.

На выходе из измельчителя МКС, определялась степень трансформации исходного сырья в готовый гомогенизированный фарш в зависимости от числа отверстий решетки.

На втором этапе – устанавливалось влияние таких факторов как:

- размер измельченного мясокостного сырья – l_{mk} , мм, неоднородность его гранулометрического состава – v , % и массовой доли необезжиренной соевой муки – M_d на технологическую и реологическую характеристики получаемой СМКК в виде водосвязывающей способности – V_{CC} , %, а также предельного напряжения сдвига – Π_{HC} , Па.

В ходе эксперимента также изучались следующие процессы:

- смешивания с усреднением влаги и гранулирования предварительно измельченного мясокостного сырья в виде голов, шей и кишечника с.х. птицы с НТСМ, путем установления зависимостей плотности влажных гранул ρ_k , кг/м³ и мощности устройства – N_{Σ} , $\left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}\right)$ от q_1/ρ_v – плотности влажных гранул, кг/м³; q_2/ω_c – угловой скорости винта СУУ, с⁻¹; q_3/l_k – длины канала форму-

щей решетки ПГУ, м;

- крошимости высушенных гранул K_p , (%) с одновременной оценкой энергоемкости – $N_{ЭС}$ процесса сушки высокобелкового гранулята

$$\left. \begin{aligned} K_p &= f(W_n; t_c^0; M_\delta) \rightarrow \min; \\ N_{ЭС} &= f(W_n; t_c^0; M_\delta) \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (30)$$

где W_n – исходная влажность высокобелковых гранул, %; t_c^0 – температура сушки гранул, °С; M_δ – массовая доля соевого компонента в смеси (% , вес).

Данные по физико-механическим и реологическим показателям субпродуктово-мясокостного фарша приведены в диссертации.

На рисунке 3 приведены зависимости, характеризующие дисперсию по равномерности распределения влаги в фарше из МКС, на выходе из измельчителя от числа отверстий k_o , шт. в его последней решетке.

При этом четырехступенчатый решетчато-ножевой аппарат мясорубки имеет высокую измельчающе-перетирающе-смешивающую способность – K , так как $K = D_{W_{вх}} / D_{W_{вых}} = 10,0 \cdot 10^3 / 1,6 = 6250$

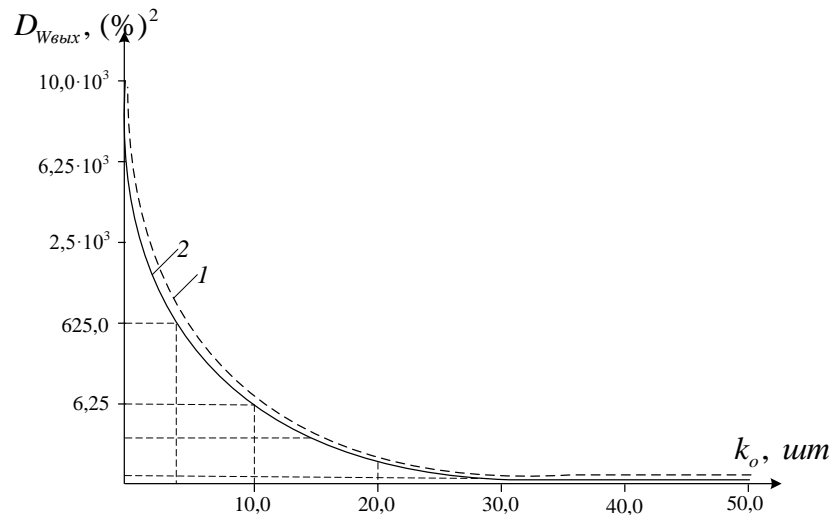


Рисунок 3 – Зависимости, характеризующие дисперсию $D_{W_{вых}}$

на выходе из измельчителя МКС от числа отверстий решетки – k_o

1 – теоретическая по формуле (4); 2 – экспериментальная

На основании проведенного анализа получены уравнения регрессии:

Данные уравнения в кодированной и раскодированной формах имеют следующий вид:

– для влагосвязывающей способности:

$$\begin{aligned} B_{CC} &= 32,580 + 56,047l_q + 4,367v + 1,107M_\delta - 60,505l_q^2 - \\ &- 0,204v^2 - 0,011M_\delta^2 \rightarrow 100\%; \end{aligned} \quad (31)$$

– для предельного напряжения сдвига:

$$\begin{aligned} \Pi_{HC} &= 707,302 - 409,690l_r - 27,099v - 5,872M_\delta - 2,291l_qM_\delta + \\ &+ 470,460l_q^2 + 1,354v^2 + 0,0635M_\delta^2 \rightarrow \text{opt} \end{aligned} \quad (32)$$

Установлено, что рациональные значения влагосвязывающей способности на уровне $B_{CC} = 96,58$ % и предельного напряжения сдвига, равном

$P_{HC} = 288,3$ Па, обеспечивается при средневзвешенной длине частиц $l_u = 0,464 - 0,572$ мм, неоднородности гранулометрического состава $v = 10,0 - 10,7$ %, массовой доле соевой муки в диапазоне значений $M_d = 50,0 - 56,4$ % и продолжительности перемешивания в диапазоне $t_y = 3 - 5$ минут.

На основании проведенного анализа построены модели в их в раскодированной форме:

$$\rho_k = -2401,8 + 324,4\omega_c + 19,228\omega_z + 65,369l_k - 0,361\omega_c \cdot \omega_z - 1,500 \omega_c \cdot l_k - 0,075 \omega_z \cdot l_k - 13,046\omega_c^2 - 0,047\omega_z^2 - 1,445l_k^2 \rightarrow \max; \quad (33)$$

$$N_{\Sigma} = 0,407 - 0,049\omega_c - 0,001\omega_z - 0,004l_k + 0,002\omega_c^2 + 0,0006\omega_z^2 + 0,001l_k^2 \rightarrow \min \quad (34)$$

Оптимальные значения факторов находятся в следующих пределах:

$\omega_c = 9,17 - 9,51$ с⁻¹; $\omega_z = 14,04 - 15,48$ с⁻¹; $l_k = 13,65 - 15,0$ мм при которых $\rho = 1077,045$ кг/м³ и $N_{\Sigma} = 0,0262$ кВт·ч/кг.

Анализом установлено, что данные модели адекватны, так как соблюдается условие по неравенству $F_R^3 > F_T^3 = 5,756 > 4,15$ и $F_R^4 > F_T^4 = 5,756 > 4,15$ при следующих значениях коэффициента корреляции $R_3 = 0,946$ и $R_4 = 0,926$.

Для полученных уравнений определены зоны экстремальных значений, по которым построены графические зависимости в виде поверхностей откликов и их сечений для $\gamma_3 \rightarrow \max$ и $\gamma_4 \rightarrow \min$. Они приведены в диссертации.

На основании результатов анализа $F_R^5 > F_T^5 = 22,242 > 4,150$ и $F_R^6 > F_T^6 = 9,508 > 4,150$ установлена адекватность полученных математических моделей процесса сушки влажных гранул с построением следующих уравнений регрессии в их раскодированной форме:

$$K_p = 392,88 - 4,413W_n - 5,919t^\circ + 0,307M_\partial - 0,018W_n \cdot t^\circ - 0,015W_n \cdot M_\partial - 0,005t^\circ \cdot M_\partial + 0,109W_n^2 + 0,031(t^\circ)^2 + 0,007 M_\partial^2 \rightarrow \min; \quad (35)$$

$$N_{\Sigma} = 28,443 - 0,204W_n - 0,442t^\circ - 0,008M_\partial - 0,00038 \cdot t^\circ \cdot M_\partial + 0,003W_n^2 + 0,002(t^\circ)^2 - 0,00046M_\partial^2 \rightarrow \min \quad (36)$$

Оптимальные значения факторов находятся в следующих пределах:

$W_n = 33,04 - 34$ %; $t^\circ = 109,6^\circ - 110,4^\circ$ С; $M_d = 48,8 - 53,6$ % при которых $K_p = 3,047$ % и $N_{\Sigma} = 0,32$ кВт·ч/кг.

На пятом этапе устанавливалась зависимость плотности влажных гранул ρ_k , (кг/м³) от давления – P , (МПа) в КВК модуля $\rho_k = f(P) \rightarrow \max$.

После обработки данных, с помощью метода НК, получено уравнение следующего вида $\rho_z = 845,0 + 218,18P$, где коэффициенты равны $\alpha = 845,0$ и $\beta = 218,18$.

В диссертации приведены зависимости, характеризующие производительность модуля $Q = f(\omega_e)$ и его мощность $N_M = f(\omega_e)$, от угловой скорости винта – ω_e , а также энергоёмкость – N_{Σ} , кВт·с/кг, которая имеет вид убывающей экспоненты.

На рисунке 4 приведены графики, характеризующие зависимости влажности W_i , % и крошимости K_p , % от продолжительности сушки – t_c , мин соево-мясокостного гранулята, которые носят экспоненциально-убывающий характер

в диапазоне 0 – 30,00 минут.

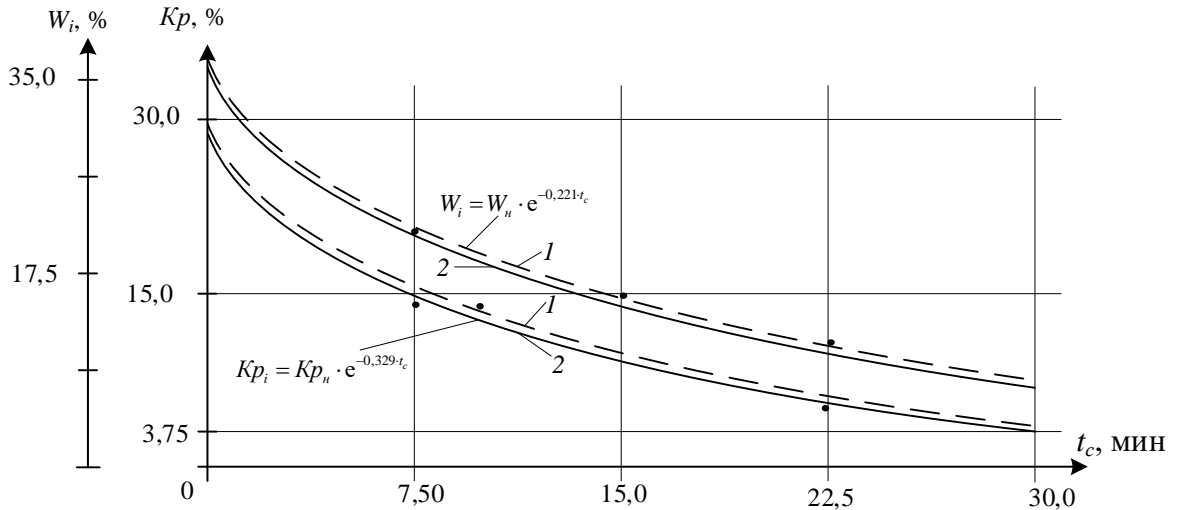


Рисунок 4 – Графики, характеризующие влажность $W_i, \%$ и крошимость $Kp, \%$ от продолжительности процесса сушки соево-мясокостного гранулята – $t_c, \text{мин}$
1 – теоретические по формуле (24); 2 – экспериментальные,
где $\zeta_1 = 0,221$ и $\zeta_2 = 0,329$ при $\delta_{Kp} = \pm 6,2 \%$; $\delta_w = \pm 7,0 \%$

В четвертой главе «Производственная проверка основных результатов исследований, оценка их технико-экономической эффективности и методика расчета технологической линии приготовления гранулированной высокобелковой добавки для с.х. птицы» приведены условия проведения производственной проверки на птицеводческой ферме ООО «Амурский бройлер» Амурской области. В качестве базового рецепта был принят состав по рецепту ПК-6-4-89, в котором соевый и подсолнечниковый шрот, а также мясокостная мука были заменены на гранулированную высокобелковую кормовую добавку.

В качестве исходных требований к получению гранулированной высокобелковой кормовой добавки предъявлялись требования, изложенные в главе 1 диссертации.

На рисунках 5 и 6 представлены технологическая и конструктивно-технологическая схемы производства высокобелковой кормовой добавки.



Рисунок 5 – Технологическая схема приготовления высокобелкового кормового продукта в виде гранулята

На рисунке 6 представлена конструктивно-технологическая схема полу-

чения данного вида продукта.

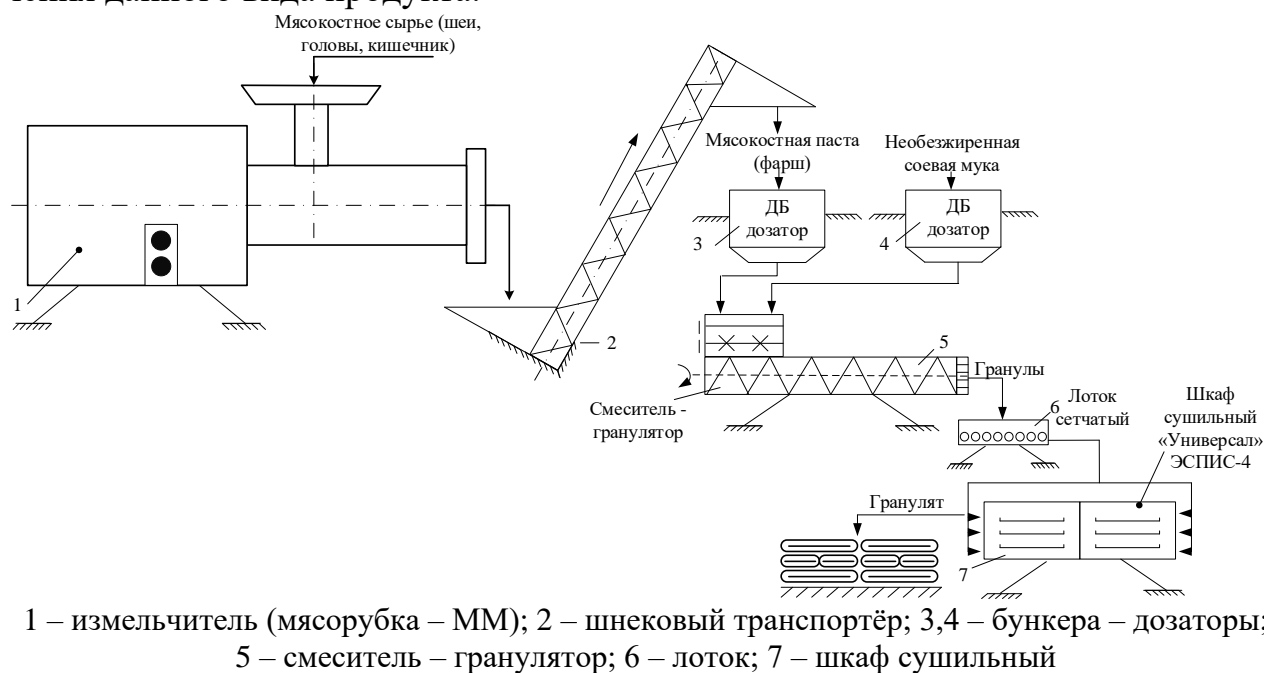


Рисунок 6 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления высокобелкового гранулята

На основе полученных данных разработана методика расчета линии получения гранулята.

Технико-экономическая эффективность предложенных решений отражена в выводах.

Заключение. Итоги выполненных исследований:

1. На основании проведенного анализа литературных источников, а также практического опыта приготовления кормовой добавки в виде мясной или мясокостной муки обоснованы необходимость, возможность и целесообразность снижения энергоемкости и металлоемкости данного процесса, путем усреднения влаги, содержащейся в мясокостном сырье птицы и соевом высокобелковом компоненте, с последующим досушиванием до содержания влаги 8-10 %;

2. С учетом разработанной функционально-структурной схемы обоснована экономико-математическая модель оценки функционирования технической системы по приготовлению кормовой добавки птице на основе соево-мясококостных композиций;

3. Для технической системы, в виде функционально сопряженной совокупности технических средств, установлены зависимости, характеризующие процессы:

- усреднения влаги в тонкоизмельченном мясокостном сырье, с учетом его трансформации в аппарате решетчато-ножевого типа, обладающего высокой измельчающе-перетирающе-сдвигающей способностью;

- усреднения влаги в соево-мясококостной композиции посредством агрегата, содержащего смешивающе-усредняющий, дозирующе-уплотняющий и прессующе-гранулирующий узлы с обоснованием их конструктивно-режимных параметров;

- сушки гранул в сушилке камерного типа.

Получены зависимости, характеризующие пропускную способность агрегата и его мощность, а также производительность сушильной установки, с учетом исходной влажности гранул и их конечной крошимости;

4. Посредством эксперимента определены влажность анатомо-морфологических тканей отходов переработки птицы, а также реологические характеристики полученного с помощью измельчителя гомогенизированного фарша на основе голов, шей и кишечника цыплят-бройлеров с установлением зависимости дисперсии по распределению влаги в фарше от числа отверстий в решетке измельчителя.

Получены математические модели по обоснованию реологических характеристик соево-мясокостных композиций и конструктивно-режимных параметров по узлам агрегата и сушилки в виде достоверных уравнений регрессии, на основе которых установлены их оптимальные значения:

- угловая скорость винта смесителя-усреднителя – $\omega_s = 9,3 \text{ с}^{-1}$;
- угловая скорость винта гранулятора – $\omega_{ПГУ} = 14,7 \text{ с}^{-1}$ при их соотношении равном 1,5 - 1,6;
- длина канала формирующей матрицы – $l_k = 14\text{-}15 \text{ мм}$, при диаметре компрессионно-выравнивающей камеры, равном – 50 мм.

Экспериментом установлено, что крошимость гранул в пределах 3,0-5,0 % обеспечивается при $W_n = 33\text{-}34\%$, $t_{сушки} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $M_o = 49\text{-}53 \%$ с расхождением теоретических и экспериментальных данных в пределах $\Delta = \pm 4,5 - 8,2 \%$;

5. Производственной проверкой подтверждены результаты по обоснованию параметров технических средств для технологической линии приготовления высокобелковой кормовой добавки с.х. птице.

Установлено, что разработанные технология и технические средства линии позволяют получить гранулят с крошимостью гранул не более 5,0 % и влажностью 8-10%.

Разработана методика расчета линии по производству соево-мясокостного гранулята, в виде функционально сопряженных измельчителя, смесителя-усреднителя-гранулятора и сушильного устройства;

6. В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности предложенных технологических и технических решений установлено, что в сравнении с оборудованием серии ДГ-1,0 они позволяют снизить энергоемкость на 44,0 % и получить годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам в размере 1 065 770,00 рублей, при годовом объеме производства 307 тонн кормовой добавки.

Годовой эффект, с учетом стоимости дополнительной продукции, составляет 1 098 770,00 рублей, при верхней лимитной цене предложенного комплекта оборудования, равной 1 695 632, 716 рублей.

Рекомендации и предложения производству:

1. При разработке и проектировании технологической линии приготовления кормовой добавки с.х. птице на основе соево-мясокостной композиции рациональным подходом является использование следующей совокупности последовательно установленных технических средств:

- измельчителя-мясорубки с четырёхступенчатым решетчато-ножевым

аппаратом;

- смесителя-гранулятора с компрессионно-выравнивающей камерой;
- сушильной установки, выполненной по типу «ЭСПИС-4-Универсал» с параметрами, значения которых приведены в заключении работы.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя теоретический и экспериментальный материал, полученный на основе проведенных исследований можно разработать инновационные способы и технические средства по приготовлению гранулята на основе отходных фракций, получаемых на переработке с/х сырья, животного и растительного происхождения.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

а) в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Вишневский А.Н. Обоснование процесса и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора кормов / А.Н. Вишневский [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. - № 12. – С. 208 – 213.
2. Вишневский А.Н. Обоснование подходов к оценке эффективности процесса производства кормовой добавки / А.Н. Вишневский [и др.] // Кормопроизводство. - 2013. - № 11. – С. 33 – 35.
3. Вишневский А.Н. Обоснование схемы и параметров процесса получения соево-мясокостных и соево-рыбокостных композиций / А.Н. Вишневский [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. - № 1. – С. 12 - 13.
4. Вишневский А.Н. Обоснование параметров технических средств линии приготовления гранулята с использованием соевого компонента / А.Н. Вишневский [и др.] // Научное обозрение. – 2014. - № 3. – С. 135-138.
5. Вишневский А.Н. Технологические и методологические подходы к разработке технологии и технических средств по производству соево-мясокостной кормовой добавки / П.Н. Школьников, А.Н. Вишневский [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017, № 2. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_216.doc.
6. Школьников П.Н. Повышение эффективности приготовления кормовой добавки путем использования мясокостного вторичного сырья [Электрон, ресурс] / П.Н. Школьников, А.Н. Вишневский [и др.] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2024. - № 6. - Режим доступа: http://agroecoinfo.rU/STATYI/2024/6/st_603.pdf DOI: <https://doi.Org/10.51419/202146603>
7. Вишневский А.Н. Обоснование параметров пресс-гранулятора для линии приготовления высокобелковой кормовой добавки для с/х птицы [Электрон. ресурс] / А.Н. Вишневский [и др.] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. -2024. - № 6. - Режим доступа: <http://agroecoinfo.rU/STATYI/2024/6/st630.pdf> DOI: <https://doi.org/10.51419/202146630>.
8. Вишневский А.Н. Обоснование технологических аспектов пригото-

ления высокобелкового гранулята животным и птице / А.Н. Вишневский [и др.] // КубГАУ. – 04.2025. – С. 1-10.

в других изданиях:

9. Вишневский А.Н. Технологические основы процессов и технических средств получения высокобелкового гранулята для птицы на основе сырья животного и растительного происхождения: монография / А.Н. Вишневский [и др.] – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 250 с.

10. Вишневский А.Н. Обоснование параметров получения соево-мясных композиций / А.Н. Вишневский [и др.] // Сборник научных трудов. – Благовещенск: ВНИИ сои, 2013. – С. 68 – 71.

11. Вишневский А.Н. Технология получения высокобелкового гранулята / А.Н. Вишневский [и др.] // Материалы научн.-практ. конф. УГСХА. – Ульяновск, 2013. – С. 25 – 27.

12. Вишневский А.Н. Повышение эффективности функционирования системы производства гранулированной кормовой добавки / А.Н. Вишневский [и др.] // Материалы XXII Международной НТК «технический прогресс в с.х. производстве». – 21-23 мая 2014 г.- г. Глеваха, 2014. – С. 140-141.

13. Вишневский, А.Н. Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента / А.Н. Вишневский [и др.]. – Благовещенск : Изд-во ДальГАУ, 2013. – 64 с.

14. Школьников, П.Н. Рекомендации по использованию технологии и технических средств для приготовления кормовых продуктов свиньям и птице / П.Н. Школьников, А.Н. Вишневский [и др.]. – Благовещенск: ДальГАУ, 2025. – 16 с.

15. Вишневский, А.Н. Обоснование технологии производства высокобелковых кормов на основе сырья животного и растительного происхождения / А.Н. Вишневский, П.Н. Школьников [и др.] // Сборник научных трудов ДальГАУ. – Благовещенск, 2024.

16. Патент РФ № 2604937 Способ приготовления белкового кормового продукта / авторы Вишневский А.Н., Вараксин С.В. Оpubл. в БИ № 35 от 20.12.2016.

17. Патент РФ № 2607103. Способ приготовления белкового кормового продукта на основе соево-мясных композиций / авторы Вишневский А.Н., Вараксин С.В. Оpubл. в БИ № 1 от 10.01.2017.

18. Патент РФ № 2830003 Пастоизготовитель-гранулятор / авторы Школьников П.Н., Самвелян А.А., Вишневский А.Н. и др. Оpubл. в БИ № 32 от 11.11.2024.

19. Патент РФ № 2831153 Способ получения кормовой добавки / авторы Школьников П.Н., Дробыш П.И., Вишневский А.Н. и др. Оpubл. в БИ № 34 от 02.12.2024.

20. Патент РФ № 2831721 Способ приготовления кормовой добавки / авторы Школьников П.Н., Дробыш П.И., Вишневский А.Н. и др. Оpubл. в БИ № 35 от 12.12.2024.

21. Патент РФ № 2836884 Пастоизготовитель-гранулятор / авторы Вишневский А.Н. и др. Оpubл. в БИ № 9 от 24.03.2025.

Автор выражает благодарность к.т.н., доценту Широкову В.А. и д.т.н., доценту Воякину С.Н. за ценные консультации и советы, полученные во время проведения исследований.