

На правах рукописи



Винокуров Сергей Александрович

**СПОСОБ И ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ПРЕССОВАННО-ФОРМОВАННЫХ КОРМОВ КРОЛИКАМ НА ОСНОВЕ
КОРНЕПЛОДНО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Специальность

4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного
комплекса»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Благовещенск – 2026

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

Научный руководитель доктор технических наук
Школьников Павел Николаевич

Официальные оппоненты: Садов Виктор Викторович,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Алтайский государственный аграрный
университет», кафедра «Механизация
производства и переработка
сельскохозяйственной продукции»,
заведующий

Глобин Андрей Николаевич,
доктор технических наук, доцент, Азово-
Черноморский инженерный институт ФГБОУ
ВО «Донской государственный аграрный
университет», кафедра «Технологии и
средства механизации агропромышленного
комплекса», заведующий

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Защита состоится «24» июня 2026 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, корпус 1, ауд. 117.
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 « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Панова Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Известно, что одним из важнейших условий успешного развития животноводства и, в том числе кролиководства, является прочная кормовая база.

При этом, существенная роль отводится использованию так называемого, местного сырья.

Связано это в значительной степени с переходом кролиководческой отрасли от промышленной её специализации к мелкотоварному производству. И его региональной направленностью, что обусловило пересмотру созданных ранее классических рецептур кормления, основанных на использовании мясной, рыбной, а также травяной муки, как источника белка и β -каротина.

В то же время, проявление данного противоречия создало проблемы, связанные с отсутствием простых технологических и технических решений по приготовлению кормовых продуктов относительно низкой стоимости на базе местного сырья. В частности, отсутствуют рациональные способы и технические решения получения гранулированных и брикетированных смесей на основе корнеплодно-зерновых композиций с помощью малогабаритных грануляторов на основе местного сырья, с успехом заменяющего ранее используемые виды кормов по наличию белка, β -каротина и т.д. К таким видам местного сырья и продуктам его переработки относится термически обработанная необезжиренная соевая мука, морковь, тыква, кукуруза, ячмень и т.д.

Проведённым анализом научных работ по рассматриваемой тематике установлено, что в настоящее время отсутствуют рациональные технологические и технические решения, связанные с системой кормления кроликов на базе местного сырья и направленные на повышение эффективности кролиководства.

В этой связи, решение вопросов связанных с разработкой рационального способа приготовления прессованно-формованных кормов на основе корнеплодно-зерновых композиций и устройства для его реализации является актуальным, современным и востребованным производством.

Степень разработанности темы. Решению задачи, связанной с приготовлением кормов на основе корнеплодного и зернового сырья посвящены работы Горячкина В.П., Ребиндера П.А., Кирпичева В.Л., Желиговского В.А., Мельникова С.В., Резника Н.Е., Алешкина В.Е., Завражнова А.И., Кононова Б.В., Кукты Г.М., Горюшинского В.С., Титенка А.В., Ромазанова Л.Н., Резника Е.И., Пелеева А.И. и многих других ученых.

Однако, всесторонним анализом существующих технологических и технических решений установлено, что в настоящее время отсутствуют необходимые научно-обоснованные данные для проектирования и конструирования технических средств, связанных с получением эффективных кормовых продуктов для кроликов на основе корнеплодно-зерновых композиций с использованием местного высокобелкового и витаминно-насыщенного сырья.

Цель исследований – повышение эффективности процесса приготовления прессованно-формованных кормов кроликам на основе корнеплодно-зерновых композиций путем разработки рационального способа и обоснования параметров устройства для его реализации.

Задачи исследований:

– обосновать возможность и целесообразность создания прессованно-

формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций;

– на основе базовых положений, характеризующих процессы измельчения, смешивания и уплотнения кормового сырья обосновать структурно-функциональную схему прессующе-формующего устройства винтового типа и его параметры путем установления соответствующих аналитических зависимостей;

– экспериментальным путем получить математические модели, характеризующие процесс приготовления прессованно-формованных продуктов и на их основе обосновать оптимальные значения параметров прессующе-формующего устройства винтового типа;

– провести производственную проверку основных результатов исследований и дать им технико-экономическую оценку;

– разработать методику инженерного расчета линии с использованием прессующе-формующего устройства винтового типа, а также рекомендации по проектированию машин данного назначения.

Рабочей гипотезой для решения частной технической задачи являлось предположение о том, что эффективность приготовления прессованно-формованных изделий на основе корнеплодно-зерновых композиций включающая процессы их дозированной подачи, дезинтеграции-гомогенизации, смешивания, формования и сушки готового продукта, функционально зависит от степени измельчения и однородности сырьевой системы, качества последующего ее формования и прочности полученных сушеных гранул или брикетов, при этом, значения указанных критериев функционально зависят от определенного числа, как управляемых, так и неуправляемых факторов. Установление характера данных зависимостей, с определением области оптимальных значений параметров данных процессов, позволяет эффективно управлять их реализацией.

Объект исследований – технологический процесс приготовления прессованно-формованных изделий для питания кроликов на основе корнеплодно-зерновых композиций.

Предмет исследований – закономерности процесса приготовления прессованно-формованных изделий для питания кроликов на основе корнеплодно-зерновой композиции с помощью прессующе-формующего устройства винтового типа.

Методы исследований. Общим методологическим подходом к проведению исследований являлся системный подход, использующий синтез происходящих физико-механических явлений и процессов.

В аналитических исследованиях использованы методы математики и прикладной механики.

Экспериментальные исследования проводились на пилотной установке с использованием метода планирования многофакторного эксперимента и математического моделирования.

Обработка и анализ полученных данных осуществлялись с использованием теории вероятностей и математической статистики с применением ПЭВМ и программ «Excel», «Statistika-7» и др.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы технологический процесс и параметры прессующе-формующего устройства

винтового типа, предназначенного для получения прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций. Разработана методика инженерного расчета линии производства прессованно-формованных корнеплодно-зерновых продуктов с использованием предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа.

Результаты исследований могут быть использованы проектными организациями, КБ и НИИ при проектировании внутрихозяйственных и фермерских предприятий и производства данного вида продукта, расчётах прессующе-формующих устройств винтового типа предложенной конструкции, а также в учебном процессе при подготовке специалистов аграрно-промышленного комплекса.

Научную новизну работы составляют:

- новые положения, обуславливающие возможность и целесообразность получения прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций, в которых роль связующего выполняет один из сырьевых компонентов, имеющих большую влажность;
- аналитические зависимости и модели, способствующие определению производительности и мощности, затрачиваемой на получение прессованно-формованных корнеплодно-зерновых композиций прессующе-формующего устройства винтового типа предложенной конструкции;
- экспериментальные математические модели оценки процесса получения прессованно-формованных продуктов с помощью предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа в виде достоверных уравнений регрессии;
- обоснованные с помощью данных моделей рациональные технологические и конструктивно-режимные параметры разработанного технологического процесса и прессующе-формующего устройства винтового типа.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости по расчету параметров предложенных способа и прессующе-формующего устройства винтового типа для его реализации;
- математические модели оценки процесса и значения параметров предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа в виде достоверных уравнений регрессии;
- методика расчета предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа в составе линии приготовления прессованно-формованных корнеплодно-зерновых продуктов;
- технико-экономическая оценка предложенных технологических и технических решений.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность приведенных данных подтверждается достаточной сходимостью теоретических данных, а также показателями, полученными в реальных условиях производственной проверки.

Материалы исследований внедрены и используются в хозяйствах ИП ЛПХ «Амурский кролик», Благовещенского муниципального округа; ООО «МиС Агро», Серышевского муниципального округа и АО МТС «Амур», Михайловского муниципального округа.

Результаты работы докладывались и обсуждались на международных

и всероссийских научно-практических конференциях (2017 – 2025 гг.). Основные результаты по материалам диссертационной работы доложены и обсуждены в ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» на международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» (г. Благовещенск, 05 апреля 2017 г.); на всероссийской научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» (г. Благовещенск, 2018 – 2025 гг.); на всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные вопросы энергетики в АПК» (г. Благовещенск, 05 декабря 2022 г.); в ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет» на Российской национальной научной конференции с международным участием «Современные проблемы науки» (г. Благовещенск, 22 декабря 2017 г.).

Основные результаты исследований опубликованы в 23 работах, в том числе в изданиях ВАК – 6 статей, получено 4 патента РФ на изобретения.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

Объем диссертации составляет 160 страниц, в том числе 142 страниц машинописного текста, 16 таблиц, 86 рисунков, 17 приложений и списка литературных источников в количестве 169 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Отражает актуальность выполненного исследования, его научную новизну и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние механизации и уровня исследований по процессу приготовления кормосмесей. Цель и задачи исследований» обоснована возможность и целесообразность производства продукции кролиководства путем использования экологически чистого сырья в виде корнеплодно-зерновых композиций. При этом, установлено, что при раздельном приготовлении корнеклубнеплодов традиционными способами теряется сок, а подготовка зерна дроблением, характеризуется потерями мучной фракции.

Решению вопросов повышения эффективности приготовления кормов и кормовых смесей, как в рассыпном, так и в прессованном виде, посвящены исследования Алешкина В.Р., Бурмага А.В., Воякина С.В., Завражного А.И., Иванова С.А., Кукта Г.М., Куркова Ю.Б., Мельникова С.В., Школьникова П.Н., Якименко А.В. и других ученых.

Установлено, что данные исследования были направлены на разработку технических средств с измельчающими аппаратами типа лезвий и молотков.

В этой связи отсутствуют технические решения, позволяющие производить одновременно измельчение и смешивание составных компонентов смеси в корнеплодно-зерновых композициях. Целесообразность данного подхода обусловлена возможностью диффундирования сока измельченного корнеклубнеплодного сырья в структуру мучной фракции измельчаемого зернового компонента.

Соответственно, отсутствие данных, характеризующих процесс трансформации корнеплодно-зерновых композиций решетчато-ножевым аппаратом, с последующим гранулированием полученной таким способом измельченно-смешанной массы, сдерживает создание малогабаритно-

многофункциональных устройств винтового типа.

Выявленные в результате проведенного анализа противоречия между стремлением снизить энерго- и металлоемкость процессов кормоприготовления на малых кролиководческих фермах с одной стороны и уровнем знаний о закономерностях процесса трансформации корнеплодно-зерновой композиции решетчато-ножевым аппаратом с последующим получением прессованно-формованных продуктов порождают проблемную ситуацию, на решение которой и направлена данная диссертационная работа.

Во второй главе «Теоретические исследования по обоснованию параметров процесса получения прессованно-формованных кормовых продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций с использованием устройства винтового типа» дано обоснование способа приготовления прессованно-формованных продуктов, структурно-функциональной схемы устройства для его реализации, параметров процесса дезинтеграции-гомогенизации корнеплодно-зерновой композиции (КЗК) решеточно-ножевым аппаратом, а также параметров прессующе-формующего блока.

Согласно принятому направлению исследований, необходимо получить формованные изделия композиционного типа, включающего три компонента – морковь (тыкву) + фуражное зерно (ячмень или кукуруза) + соевая необезжиренная термообработанная мука (СНТМ), с влажностью $W = 10-12\%$, прочностью не менее $G_k > 80-90\%$.

При этом известно, что корнеклубнеплоды (ККП) имеют влажность $W_1 = 87\%$, фуражное зерно – $W_2 = 12\%$, а СНТМ – $W_3 = 10\%$ [102].

Данную техническую задачу возможно решить двумя способами: 1) провести измельчение и сушку полученных частиц ККП; 2) провести измельчение фуражного зерна; 3) провести смешивание полученных компонентов между собой; 4) провести гранулирование или брикетирование полученной композиционной смеси.

Реализация данного подхода потребует удаления влаги из ККП из порции равной 100 кг в количестве $(87 - 12) = 75$ кг.

Согласно предложенному способу, предварительно, на основе грубоизмельченных ККП, фуражного зерна и соевой муки формируется композиция с усредненной влажностью $W_k = 36\%$.

Проведя трансформацию данной композиции с помощью предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа, получаем высокогомогенизованную тестообразную продуктовую систему, путем последующей сушки, из которой необходимо удалить всего лишь $(36 \text{ кг} - 12 \text{ кг}) = 24$ кг из расчета на 100 кг полученной кормовой композиции, т.е. меньше на $(75 \text{ кг} - 24 \text{ кг}) = 51$ кг.

При этом, физическая суть явлений, происходящих в измельчающем решетчато-ножевом аппарате сводится к тому, что зерно, находясь в составе корнеплодно-зерновой среды, имеющей влажность $W_{2+3} = 49\%$ подвергается интенсивному разрушению и перераспределению между собой. При этом, мелкие частицы зерна интенсивно обволакиваются более влажной корнеплодно-зерновой средой (пастой) с одновременным насыщением частиц зерна влагой, за счет ее диффузионного перехода к частицам зерна. Такое насыщение частиц зерна влагой

приводит к их связыванию с совокупностью других смежно расположенных частиц за счет внутренних адгезионных свойств соево-морковной (тыквенной) пасты. За счет такого разрушения зерна и перераспределения влаги между частицами зерна и соево-морковной (тыквенной) пасты, формируется тестообразная композиция с усредненной влажностью в пределах 36%, при которой имеет место высокая внутренняя адгезионная связь между частицами.

При этом исключено появление, так называемой, мучной фракции, характерной для процесса измельчения зерна молотковым аппаратом.

Данный способ признан изобретением и на него выданы патенты РФ.

Он позволяет получить прессованно-формованные изделия (ПФИ) с содержанием протеина в количестве 30%, β -каротина – 240 мг/кг, витамина Е – 910 мг/кг.

В соответствии с поставленной целью и задачами исследований, а так же принятой рабочей гипотезой установлено, что основными критериями оптимизации данного процесса являются прочность гранулированно-брикетированного продукта – G_K , %, а так же энергоемкость разрабатываемого технологического процесса – $N_{Э}$, $\frac{Вт \cdot ч}{кг}$.

В свою очередь сделано предположение, что однородность корнеплодно-зерновой композиции – θ , % повышается в процессе ее трансформации в измельчающем аппарате.

Данный подход позволяет представить предложенную техническую систему в виде трехблочной узловой системы (рисунок 1).

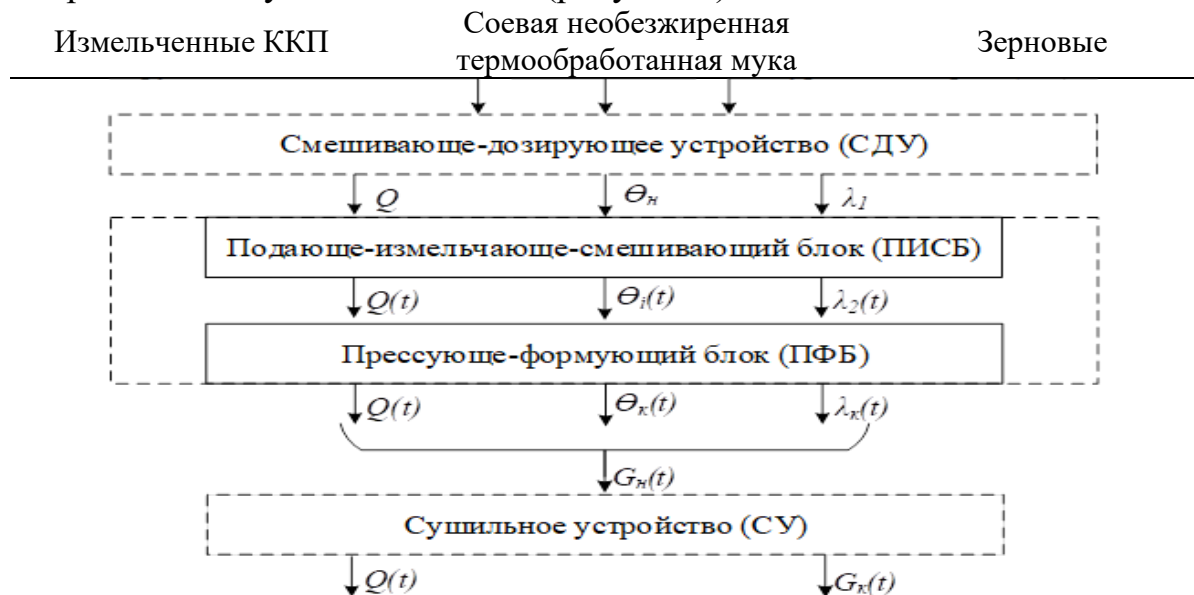


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема устройства для получения прессованно-формованных изделий

Для оценки рассмотренного выше процесса трансформации корнеплодно-зерновой композиции с помощью предложенного устройства справедлива следующая система уравнений, имеющих соответствующие ограничения по энергоемкости $N_{Э} \rightarrow \min$, $\theta \geq [\theta]$ и $G_K \geq [G]$, где $[\theta]$ и $[G]$ – допускаемые по зоотехническим требованиям значения показателей качества по однородности смеси и прочности ПФИ.

Соответственно имеем, что

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_n &= \frac{N}{Q \cdot \lambda} \rightarrow \min; \\ \text{при } \theta &= f(\lambda) \geq [\theta]; \\ G_k &= f(\theta) \geq [G] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где N – затраты энергии на процесс (мощность), кВт; Q – производительность процесса, кг/ч; λ – степень измельчения, б/р; θ – однородность смеси, %; G_k – прочность ФИ, %.

Задачей дальнейших исследований является раскрытие внутренних связей в зависимостях, представленных системой уравнений (1).

При обосновании зависимости, характеризующей однородность смеси – θ в обрабатываемой композиции, с помощью измельчающего аппарата (ИА), от степени измельчения – λ , примем, что скорость ее прироста в ИА постоянна и пропорциональна во времени достигнутых значений, т.е.

$$\theta^{-1} \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} = \xi, \quad (2)$$

$$\text{или } \frac{d\theta}{d\lambda} = \xi \cdot \theta \text{ при } \xi > 0, \quad (3)$$

где ξ – эмпирический коэффициент, характеризующий интенсивность приращения однородности смеси в зависимости от прироста степени измельчения.

Решение данного дифференциального уравнения представляет собой экспоненциальную зависимость, имеющую следующий вид:

$$\theta = \theta_n \cdot \exp(\xi \cdot \lambda), \quad (4)$$

где θ_n – начальное (исходное) значение однородности композиционной смеси, %.

Изменение уровня значений однородности от θ_i до θ_{\max} обусловлено его экспоненциальной зависимостью, в связи с чем дифференциальное уравнение приобретает следующий вид:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \xi \theta [\theta_{\max} - \theta_i], \text{ при } \xi > 0, 0 < \theta < \theta_i < \theta_{\max} \geq [\theta], \quad (5)$$

где θ_i – текущее значение однородности смеси;

$[\theta]$ – требуемое значение показателя однородности смеси.

Проведение соответствующих преобразований дает зависимость, которую можно принять в качестве математической модели оценки качества получаемой гомогенизированной композиционной смеси по ее однородности:

$$\theta = \theta_{\max} / [1 + \theta_n \cdot \exp(-\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda)], \quad (6)$$

По результатам анализа, ранее проведенных исследований, установлено, что прочность сформованных изделий кормового назначения подчиняется следующей зависимости:

$$G_K = G_n \cdot \exp(C \cdot \theta), \quad (7)$$

Тогда имеем, что прочность гранул и брикетов, с учетом равенства (6) может быть аналитически определена зависимостью:

$$G_K = G_n \cdot \exp \cdot C \left\{ \theta_{\max} / \left[1 + \theta_n \cdot \exp(-\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda) \right] \right\}, \quad (8)$$

где λ – неизвестный параметр, в связи с чем требуется его аналитическое и экспериментальное обоснование.

Для рассматриваемой системы дезинтеграции сырья в принятой композиции, уравнение баланса имеет вид:

$$\frac{K \sum_{i=1}^n V_{K_i} \cdot \rho_{K_i} \cdot \psi_3}{F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_j \frac{\sum_{z=1}^m V_{u_z} \rho_{u_z}}{\sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (9)$$

где V_{K_i} – объем частиц исходной композиции в площади кольцевого сектора ножа, м^3 ; ρ_i – плотность композиционного продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$; K – количество ножей измельчающего аппарата; ψ_3 – коэффициент заполнения межперьевого пространства ножа; F_p – площадь решётки, м^2 ; n – количество перьев ножей; γ – степень измельчения на j -ой ступени дезинтеграции частиц композиции; V_{u_z} – объем частиц конечного размера, принимаемых за шар, м^3 ; ρ_{u_z} – плотность измельчённого продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$; F_{0p} – площадь отверстий измельчающей решетки, м^2 .

Уравнение (9) перепишем с учетом рисунка 2.

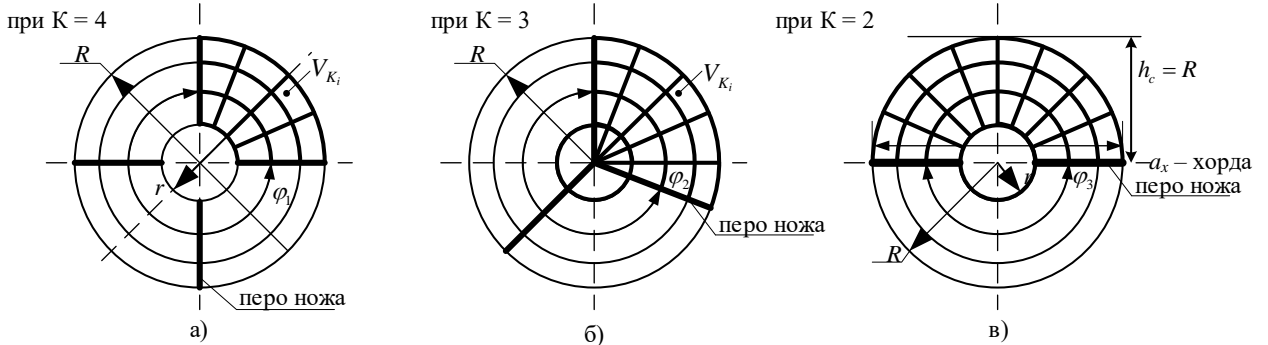


Рисунок 2– Схема к обоснованию параметров измельчающего аппарата и степени измельчения

При этом, фигурами, представленными на рисунке 2 а и б, являются кольцевые сектора различного объема, а на рисунке 2в – сегмент.

Тогда, согласно рисунку 2.3 а и б имеем, что

$$\frac{K \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_i (R^2 - r^2) \rho_{K_i} \varphi_3 h_K}{360 \cdot F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_{j-1}^y \frac{\pi \cdot \sum_{z=1}^m V_{u_z} \rho_{u_z}}{6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (10)$$

а согласно рисунку 2в

$$\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{K_i} \varphi_3 h_K [R(l - a_x) + a_x h_c]}{2 \cdot 360^\circ \cdot F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_{j-1}^c \frac{\pi \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}{6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (11)$$

где φ_3 – угол, образующий сектор, град; R – радиус решетки, м; r – радиус ступицы ножа, м; h_K – толщина ножа, м; l – дуга, м; a_x – хорда, м; h_c – стрелка (для нашего случая, $h_c = 2R$), м; $d_{u_z}^3$ – конечный диаметральный размер частицы, принятой за шар, м.

Преобразование данных уравнений, относительно соответствующих параметров, дает следующие расчетные формулы:

– для степени измельчения

$$\lambda_{j-1}^y = \frac{K \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_i (R^2 - r^2) \rho_{K_i} \cdot \varphi_3 h_K \cdot 6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} 360^\circ \cdot F_p \cdot \pi \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}} = \frac{0,017 K \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i \varphi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot h_K \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (12)$$

$$\lambda_{j-1}^c = \frac{0,017 \cdot \sum_{i=1}^n h_K [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (13)$$

где $\rho_{K_i} \cdot \rho_{u_z}^{-1} = k_y^{-1}$ – величина, обратная степени уплотнения;

– для конечного размера частицы

$$d_{u_z}^y = \sqrt[3]{\frac{0,017 K \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \varphi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot h_K}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m \rho_{u_z} \cdot \lambda_{j-1}^y}}, \quad (14)$$

$$d_{u_z}^c = \sqrt[3]{\frac{0,017 \cdot \sum_{i=1}^n h_K [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m \rho_{u_z} \cdot \lambda_{j-1}^y}}, \quad (15)$$

Пропускная способность решёточно-ножевого аппарата дезинтегрирующего-гомогенизирующего блока прессующе-формующего устройства винтового типа:

$$Q_{ПИСБ} = 0,125 d_o^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n, \quad (16)$$

где d_o – диаметр отверстия решетки, равный значению $d_{u_z}^c$, определяемому по

выражению (15); z_o – число отверстий в решетке; h_p – толщина решетки, м; ρ – плотность продукта, кг/м³; z_n – число ножей в аппарате.

Мощность на гомогенизацию-дезинтеграцию продукта в решёточно-ножевом аппарате определяется по формуле:

$$N_{\text{ПИСБ}} = Q_{\text{ПИСБ}} \cdot A_{\text{ПИСБ}}, \quad (17)$$

где $A_{\text{ПИСБ}}$ – работа, затрачиваемая на осуществление процесса и определяемая по формуле д.т.н., профессора Мельникова С.В.

С учетом равенства (16) и формулы Мельникова С.В., для определения энергоёмкости ПИСБ, имеем следующее уравнение:

$$N_{\text{ПИСБ}} = \frac{0,125d_0^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n [C_1 \cdot \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}{Q_{\text{ПИСБ}} \cdot \lambda}, \quad (18)$$

где $C_1 = (10 - 15) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ и $C_2 = (6 - 9) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

В уравнении (18) значение параметра λ определяется по формуле (13).

Подача любого технического устройства, содержащего n последовательно установленных элементов, перерабатывающих сырье в соответствующий продукт, определяется неравенством:

$$Q_1 \leq Q_2 \leq Q_i \leq Q_n, \quad (19)$$

где Q_1, Q_2, Q_i, Q_n – подача соответствующего структурного элемента кормоперерабатывающего устройства.

Для дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока (ПИСБ), как базового (рисунок 1) подача определяется неравенством:

$$Q_{\text{П}} \leq Q_{\text{ПИСБ}} \leq Q_{\text{ПФБ}}, \quad (20)$$

где $Q_{\text{П}}$ – подача питателя, кг/с; $Q_{\text{ПИСБ}}$ – пропускная способность дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока, кг/с; $Q_{\text{ПФБ}}$ – пропускная способность прессующе-формующего сопла, соответствующего диаметра и конфигурации, кг/с.

В общем случае имеем:

– для винтового питателя:

$$Q_{\text{П}} = \pi \left[\frac{(D^2 - d^2)}{4} \right] \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi, \quad (21)$$

где D и d – соответственно диаметры винта и вала, м; S – шаг винта, м; n – частота вращения винта, мин⁻¹; ρ – плотность продукта, кг/м³; ψ – коэффициент заполнения межвиткового пространства винта.

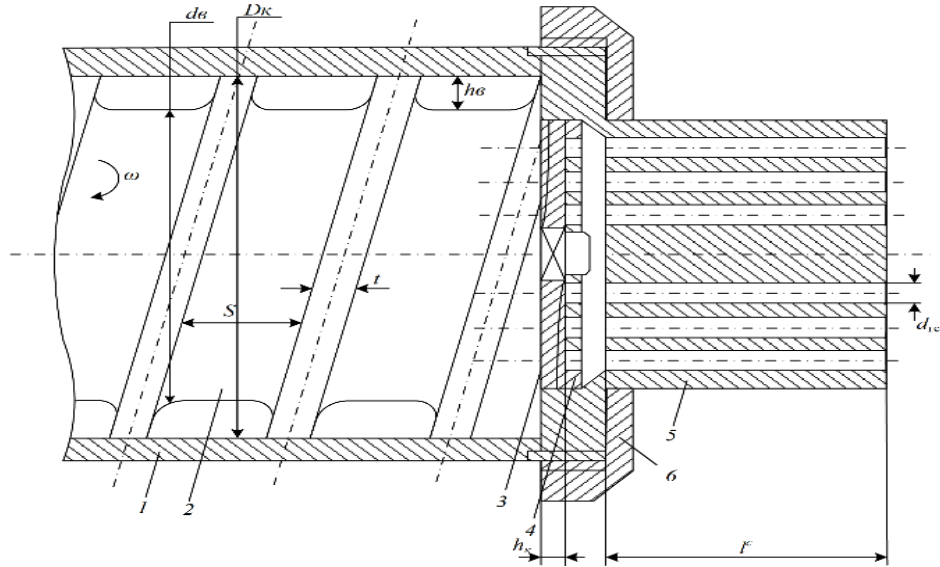
Следует отметить, что произведение $S \cdot n$ по сути есть параметр, характеризующий скорость движения продукта в камере питателя по длине – $L_{\text{П}}$

вдоль его оси – v_0^k .

Длина питателя L_{Π} связана по сути со временем релаксации продукта в камере прессующего сопла – $t_{рел}$, входящего в состав прессующе-формующего устройства винтового типа и, следовательно, с длиной канала сопла l^c , входящего в состав этого прессующе-формующего устройства винтового типа:

$$L_{\Pi} = S \cdot n \cdot t_{рел} \geq v_0^k \cdot t_{рел}, \quad (22)$$

где $t_{рел} = l^c / v^c$, где v^c – скорость перемещения продукта по соплу, м/с.



1 – кожух; 2 – винт; 3 – нож; 4 – решётка;
5 – прессующая матрица с отверстиями; 6 – гайка

Рисунок 3 – Схема к обоснованию параметров прессующе-формующего устройства винтового типа

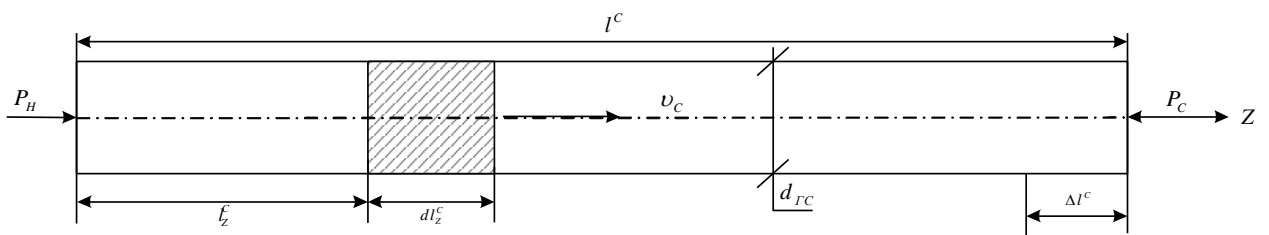


Рисунок 4 – Схема к расчету параметров формующего сопла (канала)

Работа прессования на элементарном участке dz (рисунок 3) составит:

$$A_{np} = 0,785 d_{GC}^2 \cdot P_n \cdot dz, \quad (23)$$

Мощность на осуществление процесса прессования продукта в предлагаемом устройстве, определяется как

$$N_{ПФБ} = K_K \cdot A_{ПФБ} \cdot Q_{ПФБ}, \quad (24)$$

где K_K – количество прессующих каналов; $Q_{ПФБ}$ – подача прессующего устройства, кг/ч.

Подача прессующего устройства ПФБ предложенного типа, определяется по выражению

$$Q_{ПФБ} = 0,785d_{ГС}^2 \cdot \rho_K \cdot v^c \cdot K_K, \quad (25)$$

где параметр v^c определен на основе принятых подходов, приведенных в диссертации.

$$v^c = v_0^c \cdot e^{-\gamma(t-t_0)/q}, \quad (26)$$

В равенстве (26) γ – эмпирический коэффициент, имеющий размерность с/м; $t = t_{рел}$ – время релаксации; q – масса формуемой порции продукта.

Время релаксации равно:

$$t_{рел} = (I_0^{c(2)} / \gamma) - (I_0^{c(2)} / v_0^c \cdot I_0^c), \quad (27)$$

Общая мощность составит:

$$N_O = (N_{П} + N_{ПИСБ} + N_{ПФБ} + N_{ХХ}) / \eta, \quad (28)$$

где $N_{ХХ}$ – мощность холостого хода; η – КПД передачи, а $N_{ПИСБ}$ определяется по формуле (18).

В третьей главе «Программа и методика проведения экспериментальных исследований и обработки опытных данных» приведены программа, объекты и методы исследований, а также экспериментального оборудования.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось решение поставленных задач в пять этапов.

На первом и втором этапах выбирались общие и разрабатывались частные методики определения показателей используемого сырья и компонентов;

На третьем этапе разрабатывались требования к организации эксперимента и пилотной установке для его проведения;

На четвертом этапе исследований изготавливалась пилотная установка с возможностью управления на ней исследуемыми факторами в необходимых пределах;

На пятом этапе проводились собственно эксперименты по изучению следующих процессов:

- одновременной дезинтеграции и гомогенизации корнеплодно-зерновых композиции с учетом усреднения влажности в них и установлением однородности гранулометрического состава частиц;

- получение прессованно-формованных продуктов с установлением их плотности.

По первой совокупности процессов за критерии оптимизации были приняты:

- степень измельчения исходного сырья в композиции решетчато-ножевым аппаратом – λ , б/р, для корнеплодно-зерновой композиции;
- однородность композиционной смеси – Θ , %;
- удельные затраты энергии (энергоемкость) – $N_3 = \text{кВт} \cdot \text{ч/т}$.
- однородность гранулометрического состава измельченных частиц – v_x , %;

При этом, зависимости в общем их виде, подлежащие раскрытию, представлены совокупностью следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{opt}; \\ \theta &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{max}; \\ N_3 &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{min} \end{aligned} \right\}, \quad (29)$$

где ω_g – угловая скорость вала винта устройства, с^{-1} ; d_0 – диаметр отверстий решетки, мм; $R_{жс}$ – коэффициент «живого сечения» решетки, б/р.

На этом же этапе устанавливалась зависимость однородности гранулометрического состава гомогенизированной композиционной смеси:

$$v = f(\lambda), \quad (30)$$

По второму процессу за критерий оптимизации приняты:

- во-первых: плотность гранул – ρ_B в связи с чем раскрытию подлежал следующий вид зависимости:

$$\rho_g = f(P; d_c; l^c) \rightarrow \text{opt}, \quad (31)$$

где P – давление прессования, МПа;

d_c – диаметр отверстий матрицы (сопла), мм;

l^c – длина каналов матрицы (сопла), мм.

- во-вторых: однородность смеси в брикетах, их прочность и энергоемкость для корнеплодно-зерновой композиции

$$\left. \begin{aligned} \theta_B &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{max}; \\ G &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{max}; \\ N_3 &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{min} \end{aligned} \right\}, \quad (32)$$

где ω_n – угловая скорость ножа, с^{-1} ;

l^c – длина канала прессующей матрицы (сопла), мм;

Δd – толщина стенки брикета, мм.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены данные по размерным и физико-механическим показателям исходного зернового и корнеклубнеплодного сырья, соевой муки, а также результаты в виде достоверных уравнений регрессии и соответствующих зависимостей.

Анализ данных, полученных на первом этапе, показывает, что характеристики, свойства и показатели исходного сырья изменяются в широких пределах, что необходимо учитывать при проектировании соответствующих процессов и технических средств, предназначенных для их обработки

и переработки.

На втором этапе экспериментальных исследований, по установлению параметров предложенного устройства (рисунок 2), в качестве варьируемых факторов приняты: угловая скорость винта и ножей – ω_B , имеющая размерность - c^{-1} ; диаметр отверстий решетки – d_0 , имеющий размерность - мм; коэффициент «живого» сечения решетки – $R_{ж}$, имеющий размерность – б/р, для корнеплодно-зерновой композиции.

За показатель оптимизации процессов приняты: степень измельчения – λ , б/р; однородность композиции – Θ ,%; энергоёмкость – $N_э$, $\frac{кВт \cdot ч}{т}$.

В результате поисковых опытов определена уровневая градация для указанных факторов для зависимости $B_{1-3} = f(\omega_B; d_0; R_{ж}) \rightarrow opt(max, min)$.

Математические модели, характеризующие процесс приготовления дезинтегрированно-гомогенизированной композиции в раскодированной форме, имеют следующий вид:

$$\lambda = -300,100 + 78,680\omega_B - 3,180 \cdot d_0 - 26,950 \cdot R_{ж} + 1,250 \cdot \omega_B \cdot R_{ж} - 4,430 \cdot \omega_B^2 + 0,350 \cdot d_0^2 + 1,780 \cdot R_{ж}^2 \rightarrow opt; \quad (33)$$

$$\theta = -2401,0051 + 502,000\omega_B + 17,560 \cdot d_0 + 43,490 \cdot R_{ж} - 1,150 \cdot \omega_B \cdot d_0 + 1,200 \cdot d_0 \cdot R_{ж} - 26,110 \cdot \omega_B^2 - 1,310 \cdot d_0^2 - 4,710 \cdot R_{ж}^2 \rightarrow max; \quad (34)$$

$$N_э = 382,5200 - 16426,00 \cdot R_{ж} - 2,090 \cdot d_0 \cdot R_{ж} + 1,380 \cdot d_0^2 + 19,40 \cdot R_{ж}^2 \rightarrow min; \quad (35)$$

Адекватность моделей подтверждается неравенством $F_{R1-3} > F_T = 5,6-8,0 > 3,59$.

Оптимальными значениями параметров предложенного устройства по приготовлению гранул являются: угловая скорость винта – $\omega_B = 9,5 c^{-1}$; диаметр отверстий решетки – $d_0 = 4,0-4,4$ мм; коэффициент «живого» сечения решетки – $R_{ж} = 3,5-4,1$; при которых: степень измельчения – $\lambda = 8,4$, б/р; однородность трансформированной композиции $\Theta = 96,6$ %; энергоёмкость – $N_э = 36,7 \frac{кВт \cdot ч}{т}$.

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений, которые приведены в диссертации.

На третьем этапе исследований установились зависимости $v_{1-4} = f(\lambda)$ для конкретного вида зерна: 1 – кукуруза; 2 – овес; 3 – ячмень; 4 – пшеница.

Математическая обработка полученных графических зависимостей, с помощью метода наименьших квадратов, позволила получить следующие эмпирические уравнения:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= 8,3 + 9,19 \cdot \lambda; \\ v_2 &= 7,8 + 8,02 \cdot \lambda; \\ v_3 &= 5,1 + 6,01 \cdot \lambda; \\ v_4 &= 4,9 + 6,34 \cdot \lambda \end{aligned} \right\}, \quad (36)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= 0,108v_1 - 0,903; \\ \lambda_2 &= 0,124v_2 - 0,972; \\ \lambda_3 &= 0,166v_3 - 0,848; \\ \lambda_4 &= 0,157v_4 - 0,772 \end{aligned} \right\}, \quad (37)$$

На четвертом этапе исследований в качестве управляемых факторов приняты (для корнеплодно-зерновой композиции): угловая скорость ножа – ω_n , имеющая размерность с^{-1} ; длина канала – l^c , имеющая размерность, мм.; толщина стенки брикета – Δd , имеющая размерность мм. За показатель оптимизации процесса приняты θ_B – однородность смеси в брикете, %; G_K – прочность брикетов, %; $N_{\text{Э}}$ – энергоёмкость, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

В результате поисковых опытов определена уровневая градация для указанных факторов, входящих в состав зависимостей $B_{4-6} = f(l^c; \Delta d; \omega_n) \rightarrow \max(\min)$.

Математические модели, характеризующие процесс получения прессованно-формованных брикетов в раскодированной форме, имеют следующий вид:

– в раскодированной форме:

$$\begin{aligned} \theta_B &= -2513,590 + 9,890 \cdot l_c + 59,460 \cdot \Delta d + 440,160 \cdot \omega - 0,170 \cdot l_c \cdot \Delta d - \\ &- 0,530 \cdot l_c \cdot \omega - 0,880 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,050 \cdot l_c^2 - 1,90 \cdot \Delta d^2 - 21,570 \cdot \omega^2 \rightarrow \max; \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} G_K &= -493,100 + 3,150 \cdot l_c + 54,340 \cdot \Delta d - 0,060 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,30 \cdot l_c \cdot \omega - \\ &- 2,000 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,080 \cdot l_c^2 - 1,360 \cdot \Delta d^2 \rightarrow \max; \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} N'_{\text{Э}} &= 320,3700 - 3,640 \cdot l_c - 46,000 \cdot \omega + 0,050 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,080 \cdot l_c \cdot \Delta d - \\ &- 0,900 \cdot \Delta d \cdot \omega + 0,040 \cdot l_c^2 + 0,400 \cdot \Delta d^2 + 2,860 \cdot \omega^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (40)$$

Согласно полученным данным, оптимальными значениями параметров устройства на приготовлении пустотелых цилиндрических брикетов являются: угловая скорость ножей – $\omega_n = 9,5 \text{ с}^{-1}$; длина каналов (сопла) – $l^c = 30,0$ мм; толщина стенки цилиндрического брикета – $\Delta d = 12,0$ мм, при которых значения показателей равны: $\theta_B = 96,4$ %; $G_K = 95,0$ %; $N_{\text{Э}} = 36,4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

На следующем этапе исследований установлены зависимости плотности сформованного продукта ρ от давления прессования P , диаметра – d_c и длины формирующих каналов – l^c .

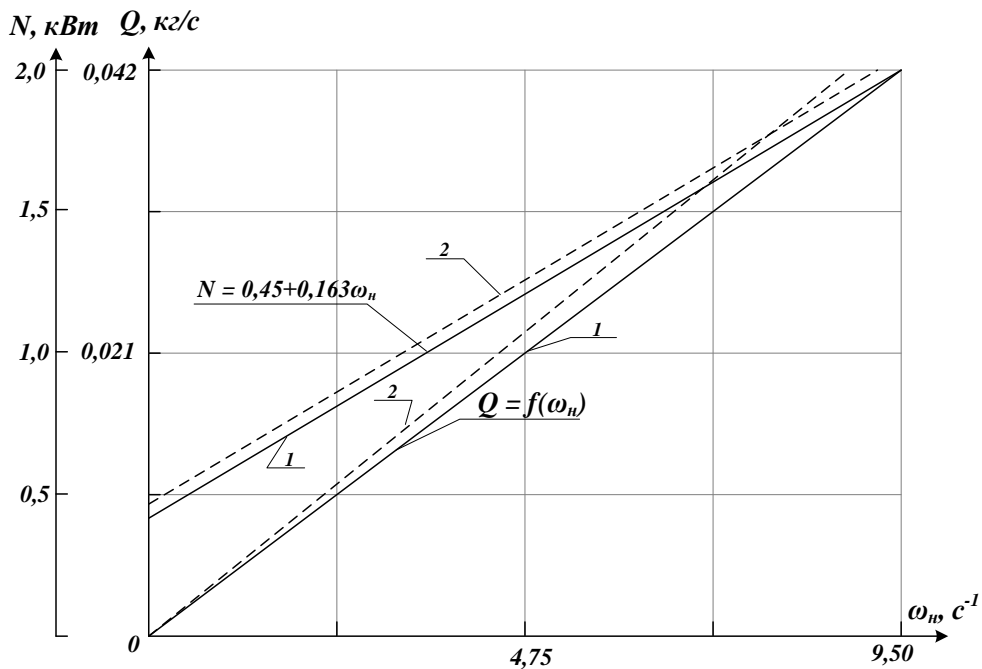
В результате математической обработки, методом наименьших квадратов, и проведенной аппроксимации графических зависимостей получены следующие эмпирические уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= 520 + 1150P; \\ \rho_2 &= 1100 - 23,3d_c; \\ \rho_3 &= 415 + 35,30l^c \end{aligned} \right\}, \quad (41)$$

$$\left. \begin{aligned} P &= 0,00086[\rho_1] - 0,45; \\ d_c &= 47,2 - 0,043[\rho_2]; \\ l^c &= 0,028[\rho_3] - 11,750 \end{aligned} \right\}, \quad (42)$$

где $[\rho_1], [\rho_2], [\rho_3]$ – допускаемые значения плотности гранул, кг/м^3 .

На рисунке 5 представлены экспериментальные и теоретические зависимости, характеризующие линейный рост затрат энергии (мощности) – N и производительности – Q предложенного устройства, при увеличении угловой скорости ножа – ω_n .



1 – экспериментальные; 2 – теоретические по формулам (25) и (28)

$$\Delta_Q = \pm 4,8\%; \quad \Delta_N = \pm 3,2\%$$

Рисунок 5 – Зависимости затрат энергии (мощности) – N и производительности Q от угловой скорости ножа – ω_n

Данные эксперимента обработаны методом наименьших квадратов.

При этом, зависимость $N_s = f(\omega_n)$ аппроксимирована выражением следующего вида:

$$N = 0,45 + 0,163 \omega_n, \quad (43)$$

где 0,45 – значение величины холостого хода в кВт.

В пятой главе «Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика инженерного расчета линии для приготовления прессованно-формованных продуктов кроликам на основе корнеплодно-зерновых композиций» приведены общие сведения о реализации научных разработок, расчёт технико-экономических показателей, а также методика инженерного расчета предложенной линии.

Результаты сравнительной технико-экономической оценки приведены в заключении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа данных, приведенных в литературных и патентных источниках, а также с учетом современного тренда на использование экологически чистого местного сырья, обоснованы необходимость, возможность и целесообразность приготовления прессованно-формованных изделий с использованием корнеплодно-зерновых композиционных смесей.

При этом установлено, что в настоящее время отсутствуют научно-обоснованные данные, позволяющие проектировать и конструировать технические средства получения прессованно-формованных продуктов для кроликов с относительно низкими энергоемкостью и требуемыми качественными показателями работы;

2. В результате теоретического анализа обоснован способ приготовления прессованно-формованных кормовых продуктов на основе корнеплодного и фуражного зернового сырья, а также структурно-функциональная схема устройства для его реализации в виде двухблочной технической системы.

Предложенная математическая модель оценки функционирования технических систем данного назначения позволяет оценивать степень их эффективности на стадии конструирования по критериям энергоемкости, однородности, степени измельчения и прочности получаемых изделий;

3. Получены аналитические зависимости, характеризующие однородность получаемых композиций от степени измельчения и прочности прессованно-формованных изделий от совокупности их влияния на данный показатель.

Установлена аналитическая зависимость, характеризующая степень измельчения от технологических и конструктивно-режимных параметров предложенного устройства, которая использована при получении расчетной формулы по определению затрат энергии (мощности), расходуемых на функционирование прессующе-формующего устройства винтового типа.

Получены расчетные формулы для аналитического определения производительности и мощности устройства, а также его конструктивных и режимных параметров;

4. Экспериментальным путем получены математические модели оценки получения прессованно-формованных изделий на основе корнеплодно-зерновых композиций в виде достоверных уравнений регрессии.

Посредством данных моделей обоснованы оптимальные параметры предложенного устройства, значения которых равны:

- угловая скорость винта (ножей) – $\omega = 9,5 \text{ с}^{-1}$;

- диаметр отверстий решетки – $d_0 = 4,0$ мм;
 при коэффициенте «живого» сечения решетки – $R_{ж} = 3,5-4,1$;
 - длина канала – $l^c = 30,0$ мм
 при толщине стенки цилиндрического брикета – $\Delta d = 12,0$ мм.

Установлены зависимости эмпирического характера, позволяющие расчетным путем определить значения неоднородности гранулометрического состава и плотности от изменения технологических и конструктивно-режимных параметров;

5. Производственной проверкой основных результатов исследований установлено, что предложенные инновационный способ и устройство для его реализации позволяют получать прессованно-формованных изделия на основе корнеплодно-зерновых композиций для кроликов с их прочностью на уровне $G \geq 95$ % при энергоемкости $N = 36,4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

На основе полученных результатов исследований разработана методика расчета предложенного оборудования при его использовании в составе технологической линии;

6. Технико-экономической оценкой результатов исследований показано, что по сравнению с базовым вариантом (комплект оборудования Бб-ДАК и Бб-ДГВ для получения мелассированных комбикормов) предложенные способ и устройство для его реализации позволяют снизить энергоемкость в 6,73 раза, металлоемкость – в 1,04 раза и получить годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам в размере 1353223,30 руб./год при объеме производства кормов, равном 94,5 тонны/год, с доходом для производителя кормов в сумме 5144,06 руб./т и их потребителя – 5000,00 руб./т.

Рекомендации и предложения производству

При разработке и эксплуатации оборудования, предложенного на основании проведенных исследований, необходимо использовать значения технологических, конструктивных и режимных параметров, которые приведены в заключении данной работы.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным направлением в дальнейшей разработке темы, является изыскание рационального способа приготовления прессованно-формованных кормовых изделий в виде композиций с использованием такой высокобелковой культуры, как горох, а разработку прессующе-формующего устройства винтового типа вести в направлении совмещения нескольких операций и блочно-модульного исполнения.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации: в изданиях из перечня научных изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Винокуров, С.А. Обоснование параметров уплотняюще-формующей матрицы винтового пресса / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 4(30). – 34 с. – EDN UGOMWM.
2. Винокуров, С.А. Обоснование параметров процесса дезинтеграции-

гомогенизации тыквенно-зерновой композиции решеточно-ножевым аппаратом / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 4(30). – 33 с. – EDN YNGYSK.

3. Винокуров, С.А. Обоснование структурно-функциональной схемы и параметров пресса для получения гранулированно-брикетированных смесей животным / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 4(30). – 35 с. – EDN YNGYTC.

4. Винокуров, С.А. Научно-технические аспекты разработки системы и устройств для производства инновационных продуктов на основе соево-растительных композиций / С.А. Винокуров, А.В [и др.] // Вестник ВСГУТУ. - 2017. – № 1(64). – С. 16-20. – EDN YHSTSD.

5. Винокуров, С.А. Кинетические аспекты уплотнения белково-витаминной композиции при получении гранул и брикетов / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.] // Вестник КрасГАУ. - 2018. – № 6(141). – С. 105 – 111. – EDN YRIYKT.

6. Винокуров, С.А. Математическая модель оценки качества процесса получения увлажненно-обогащенного зернового сырья / С.А. Винокуров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 4(52). – DOI 10.51419/202124413. – EDN IXNUOA.

в прочих научных изданиях:

7. Винокуров, С.А. Научно-практические основы технологии приготовления формованных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций / П.Н. Школьников, С.А. Винокуров [и др.] – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. – 350 с. – ISBN 978-5-9642-0403-9. – EDN YXRVHC.

8. Винокуров, С.А. Технология получения продуктов на основе соево-растительных композиций / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. В 2-х частях, Благовещенск, 05 апреля 2017 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. – С. 232-234. – EDN YOFPDC.

9. Винокуров, С.А. Кинетика уплотнения композиций в приложении к обоснованию параметров компрессионно-формующего узла пресс-гранулятора / П. Н. Школьников, С. А. Винокуров [и др.] // Современные проблемы науки: материалы Российской национальной научной конференции с международным участием, Благовещенск, 22 декабря 2017 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2017. – С. 72-73. – EDN YQBORU.

10. Винокуров, С.А. Обоснование способа приготовления кормовых продуктов на основе соево-корнеплодно-зерновых композиций / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 11 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. – С. 136-138. – EDN RWJZJR.

11. Винокуров, С.А. Теоретические основы процесса приготовления формованных продуктов с зерновой составляющей / С.А. Винокуров [и др.] //

Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 11 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. – С. 139-144. – EDN XVEQNF.

12. Винокуров, С.А. Методика исследования процесса получения гранулированно-брикетированных продуктов / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Тезисы докладов всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 17 апреля 2019 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. – 45 с. – EDN EOCJUN.

13. Винокуров, С.А. Методика и результаты определения основных физико-механических свойств кормов / С.А. Винокуров // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Тезисы докладов всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 17 апреля 2019 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. – 46 с. – EDN OIKKBV.

14. Винокуров, С.А. Способы исследования процесса получения гранулированно-брикетированных продуктов / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах, Благовещенск, 20–21 апреля 2022 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – Т. 2. – С. 26-32.

15. Винокуров, С.А. Теоретический анализ работы пастоизготовителя / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах, Благовещенск, 20–21 апреля 2022 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 33-39. – DOI 10.22450/9785964205470_2_4. – EDN VLPVWF.

16. Винокуров, С.А. Обзор исследований по изучению процесса приготовления пастообразных продуктов / С.А. Винокуров [и др.] // Актуальные вопросы энергетики в АПК: Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 15 декабря 2022 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 135-142. – DOI 10.22450/9785964205777_135. – EDN GHIFEK.

17. Винокуров, С.А. Экспериментальные исследования дезинтегрирующего блока пресса / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 20–21 апреля 2023 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. – С. 260-266. – DOI 10.22450/9785964205401_2_260. – EDN JOIHY.

18. Винокуров, С.А. Экспериментальные исследования процесса дезинтеграции влажного зерна пастоизготовителем / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 20–21 апреля 2023 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный

университет, 2023. – С. 267-274. – DOI 10.22450/9785964205401_2_267. – EDN JDBNJK.

19. Винокуров, С.А. Обоснование параметров устройства для приготовления прессованных кормов/ С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции. В 5 томах, Благовещенск, 18–19 апреля 2024 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2024. – С. 44-50. – DOI 10.22450/978-5-9642-0633-0-44-50. – EDN ZDRKAA.

патенты на изобретение:

20. Патент № 2652387 С1 Российская Федерация, МПК А23К 40/10. Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта: № 2017123906: заявл. 05.07.2017: опубл. 26.04.2018 / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ). – EDN UATFZR.

21. Патент № 2665075 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/30, А23К 40/10. Способ приготовления гранулированного концентрата: № 2017123493: заявл. 03.07.2017: опубл. 28.08.2018 / С.А. Винокуров, П.Н. Школьников [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ). – EDN JESGOM.

22. Патент № 2685943 С1 Российская Федерация, МПК В30В 11/00, А23Н 17/00. прессующее устройство: № 2018128654: заявл. 03.08.2018: опубл. 23.04.2019 / П.Н. Школьников, С. А. Винокуров [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет". – EDN TUSJQI.

23. Патент № 2690637 С1 Российская Федерация, МПК А23Н 17/00. пресс-гранулятор: № 2018128653: заявл. 03.08.2018: опубл. 04.06.2019 / П.Н. Школьников, С.А. Винокуров [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет". – EDN OANDFB.