

На правах рукописи



Школьникова Мария Александровна

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ  
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ  
ПАСТООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ  
КОРМОВ ВОДОПЛАВАЮЩЕЙ ПТИЦЕ**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Краснодар 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
Фролов Владимир Юрьевич

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

Воякин Сергей Николаевич,  
доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО  
«Дальневосточный государственный аграрный университет», кафедра электропривода и автоматизации технологических процессов, доцент

Ведущая организация Азово-Черноморский инженерный институт – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Защита состоится «27» сентября 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, корпус факультета энергетики, ауд.110

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ [www.kubsau.ru](http://www.kubsau.ru). Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_2024 г., размещен на официальном сайте и ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ <https://vak2.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ [www.kubsau.ru/](http://www.kubsau.ru/).

Ученый секретарь диссертационного совета,

канд. техн. наук, доцент



Самурганов Евгений Ерманекосович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** В настоящее время всё большее значение приобретает развитие отрасли птицеводства, связанной с выращиванием водоплавающей птицы, в виду возможности получения продукции широкого ассортимента – мяса, отличающегося вкусовыми качествами, пуха, пера и др. при высокой скорости роста и мясной скороспелости.

При этом, выращивание гусей и уток с рентабельностью 30 % и выше, возможно в условиях личных подсобных хозяйств, ферм малого и среднего размера, с поголовьем от 100 до 1000 голов мясного направления и от 1000 до 9000 яично-инкубационного.

Однако темпы развития данной отрасли сдерживаются из-за высокой стоимости кормов промышленного производства.

Данное обстоятельство вынуждает производителей использовать местное кормовое сырье: сою, тыкву, корнеклубнеплоды и др., подготовка которого в соответствии с зоотребованиями затруднена из-за отсутствия специальных технических средств, позволяющих получать пастообразные и гранулированные продукты.

На основании изложенного предлагаемая тема исследования является актуальной, так как существующие технические средства приготовления кормов водоплавающей птице нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ ЕГИСУ НИОКР №121032300060-2 (2021-2025 гг.).

**Степень разработанности темы.** Вопросам, связанным с разработкой пастоизготовителей посвящены исследования Моисеенко В.С., Сысоева И.В., Кукты Г.М., Кузьмова Н.Т., Курьянова В.Д., Апевалова О.В. и других ученых.

Вопросам создания грануляторов посвящены исследования Фарбмана Г.Я., Некрашевича В.Ф., Подкользина Ю.В., Полунина Н.И., Гриба В.К., Лысенко В.И., Якименко А.В. и других ученых.

При этом, достигнуты существенные успехи в области создания машин для кормопроизводства в рамках их высокой производительности и конкретных условий применения. Однако, вопросы, связанные с созданием малогабаритных устройств с расширенными техническими возможностями и, в частности, пас-

тоизготовителей-грануляторов, адаптированных к условиям содержания и выращивания гусей и уток решены не в полной мере.

В этой связи отсутствуют научные данные для проектирования и конструирования технических средств, обеспечивающих получение паст и гранул на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций.

В качестве **рабочей гипотезы** для решения частной технической задачи принято предположение о том, что снижение удельных энергетических показателей по процессу приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице, с учетом его измельчающе-смешивающей и пропускной способности, возможно на основе изыскания рациональных схем трансформации соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиционных систем, выявления зависимостей и оптимальных значений параметров, характеризующих процессы дезинтеграции и влажной грануляции в устройстве прямопоточного принципа действия с измельчающим решетчато-ножевым аппаратом.

**Целью исследований** является обоснование параметров и режимов работы пастоизготовителя-гранулятора, обеспечивающего выполнение процесса с меньшими удельными энергетическими показателями приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице.

**Объект исследований** – технологический процесс приготовления пасты и гранулята на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций.

**Предмет исследований** – зависимости, характеризующие процесс получения паст и гранулятов с помощью пастоизготовителя-гранулятора винтового типа с учетом его измельчающе-смешивающей способности.

**Задачи исследования.**

1. Разработать структурно-функциональную схему пастоизготовителя-гранулятора винтового типа.
2. Разработать математическую модель оценки удельной энергетической эффективности предложенного технического средства.
3. Теоретическим путем получить аналитические зависимости, характеризующие взаимосвязь технологических и конструктивно-режимных параметров с обоснованием производительности, мощности и энергоемкости на осуществле-

ние процессов получения пасты и гранулята на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций.

4. Экспериментально получить зависимости, характеризующие рабочий процесс пастоизготовителя-гранулятора и на их основе обосновать оптимальные значения параметров с установлением степени сходимости результатов теоретического и экспериментального характера.

5. Провести производственную проверку основных результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку, разработать рекомендации для условий малых ферм по выращиванию водоплавающей птицы.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проводились с позиций и положений теории вероятностей, математического анализа, а также сопротивления материалов и технической механики.

Экспериментальные исследования проводились с использованием классического однофакторного метода, а также методов планирования многофакторного эксперимента, физического и математического моделирования.

Обработку полученных данных осуществляли на основе методов математической статистики с использованием ПЭВМ и программы «Statistika-7.0».

### **Научная новизна.**

1. Математическая модель оценки удельной энергетической эффективности предложенного технического решения с учетом качества его работы по пастоизготовлению и гранулированию.

2. Зависимости, характеризующие качество выполнения процессов по однородности пасты и крошимости гранулята в зависимости от статистических характеристик исходного кормового потока (однородности смеси).

3. Аналитические зависимости для расчета производительности пастоизготовителя-гранулятора, мощности и энергоемкости на выполнение процессов, а также определения его основных параметров.

4. Зависимости в виде уравнений регрессии по установлению оптимальных технологических показателей и параметров пастоизготовителя-гранулятора.

### **Теоретическая и практическая значимость:**

- математическая модель оценки удельной энергетической эффективности процессов приготовления пастообразных и гранулированных кормов, учитывающая наряду со степенью измельчения сырья дополнительно и смешивающую способность устройства;
- установленные зависимости по смешивающей способности решетчато-ножевого аппарата прямопоточного действия позволяют учитывать их при определении энергетических и качественных показателей процесса приготовления пасты и гранулята;
- обоснованные в результате проведенных исследований параметры, режимы и модели позволяют использовать их при расчетах, проектировании и конструировании пастоизготовителей-грануляторов винтового типа с прямопоточным принципом действия, адаптированных к условиям содержания и выращивания гусей и уток, с удельной энергетической эффективностью выше, чем у аналогов;
- применение предложенного устройства позволяет готовить кормовые смеси в виде паст в оперативном и гранулятов в заготовительном режимах их производства.

Новизна технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения № 2803521 «Пастоизготовитель-гранулятор» и № 2805870 «Способ приготовления белково-кальциевой добавки для гусей».

### **Основные научные положения, вынесенные на защиту:**

- математическая модель оценки удельной энергетической эффективности технических средств данного назначения с учетом качественных показателей их работы, а также количества процессов, выполняемых одной машиной в зависимости от потребности по виду производимых продуктов;
- аналитические и эмпирические зависимости на основании которых обоснованы параметры и режимы пастоизготовителя-гранулятора;
- совокупность разработанных инновационных технических решений по использованию пастоизготовителя-гранулятора на переработке соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций;
- результаты производственной проверки и технико-экономической оценки предложенного устройства.

**Степень достоверности полученных результатов.** Результаты получены с применением известных методик проведения исследований и современной

измерительной техники. Достоверность результатов подтверждается сходимостью теоретических и экспериментальных данных, а также широкой апробацией результатов исследований в хозяйствах Амурской области.

**Реализация результатов исследований** подтверждается актами внедрения в хозяйствах Белогорского и Серышевского районных округов Амурской области.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях ДальГАУ (г. Благовещенск, 2021-2024 гг.), КубГАУ (г. Краснодар, 2024г.), межвузовском Международном конгрессе «Высшая школа: научные исследования» (г. Москва, 10.11.2023 г.), международном научном форуме «Наука и инновации – современные концепции» (г. Москва, 16.11.2023 г., 18.01.2024г.).

**Публикации.** Результаты исследований опубликованы в 18 работах, в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 патентов РФ на изобретения. Общий объем публикаций составляет 3,37 п.л., из них личный вклад автора 2,2 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 136 источников. Работа изложена на 145 страницах, содержит 31 таблицу, 38 рисунков, 15 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

**В первой главе** «Научные и практические предпосылки к созданию технических средств для приготовления пастообразных и гранулированных кормов» выделены особенности кормления гусей и уток, а также способов и технических средств, подлежащих использованию в условиях малых ферм.

При этом, установлено, что наиболее полно физиологическим потребностям водоплавающей птицы, а также получению экологически чистой продукции при их выращивании, отвечают пастообразные и гранулированные продукты на основе сырья, содержащего витаминно-минеральные комплексы естественной природы, например, витамин  $E+\beta$  – каротин + Са и т.д.

На основе разработанных классификаций пастоизготовителей и грануля-

торов в основу которых, положен принцип расположения геометрических осей, определяющих положение рабочих органов в пространстве, определено перспективное направление по их разработке и созданию.

Установлено, что наиболее полно требованиям по повышению удельной энергетической эффективности отвечают устройства винтового типа с решетчато-ножевым режущим аппаратом и формующе-гранулирующим узлом.

Анализом результатов исследований, проведенных Кузьмовым Н.Т., Побединским В.М., Сыроевым И.В., д.т.н Воякиным С.Н., к.т.н Ковалевой Л.А., Бушуевым С.В., Макаровым В.А. и другими учеными установлено, что до настоящего времени отсутствуют данные, характеризующие процесс прямопотоковой трансформации композиций на основе местного сырья в гомогенную систему, обеспечивающую получение однородных паст и гранул требуемой прочности, при относительно малых удельных затратах энергии и средств.

При этом также установлено, что в настоящее время отсутствует необходимая и достаточная совокупность данных, позволяющая проектировать пастоизготовители-грануляторы малогабаритного исполнения с возможностью их оперативной перенастройки с режима получения пастовых продуктов на гранулированные и, наоборот.

Таким образом, на основании проведенного анализа выявлено противоречие между стремлением к снижению энергетических показателей процесса приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице, путем изыскания рациональных схем их получения с использованием каротин- и кальций-содержащего сырья, на основе совершенствования и разработки новых технических средств с одной стороны, и уровнем знаний о закономерностях трансформации соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций в пастообразные и гранулированные продукты с помощью специального пастоизготовителя-гранулятора.

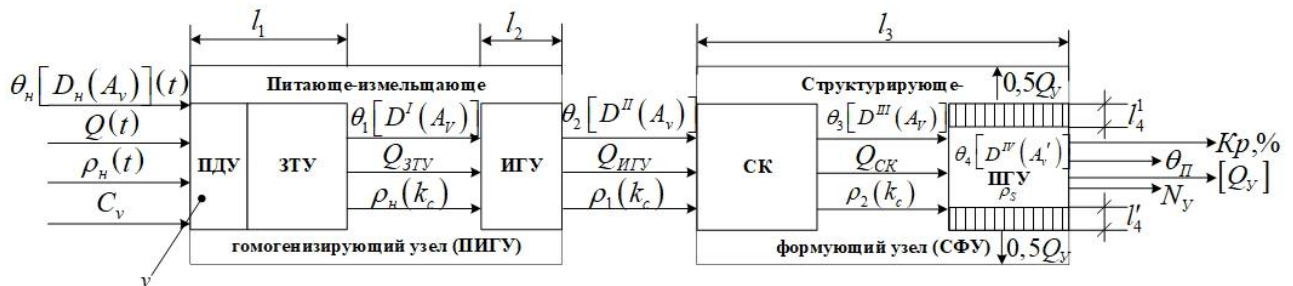
**Во второй главе** «Теоретическое обоснование параметров и режимов работы устройства для приготовления пастообразных и гранулированных кормовых продуктов» приведены подходы к созданию технического средства для получения паст и гранул, а также математической модели оценки процесса их приготовления с обоснованием производительности и мощности устройства.



На основе проведенного анализа установлены исходные требования к разрабатываемому технологическому процессу и техническому средству по его реализации с относительно меньшими затратами труда и средств, а также требуемыми показателями качества работы, к которым отнесены: – обеспечение требуемой производительности; – получение качественных продуктов, в виде пасты и гранул, с показателями не ниже требуемых; – обеспечение относительно низких показателей по энергоемкости и металлоемкости; – выполнение нескольких операций в результате реализации процесса; – иметь возможность получения не менее двух видов продуктов – в режимах приготовления пасты и гранулята, на основе белково-минерально-витаминного исходного сырья, путем оперативной перенастройки технического средства.

В диссертации приведена классификация способов и технических средств, позволяющая наметить пути по разработке перспективных технических решений в искомом направлении.

На рисунке 1 представлена структурно-функциональная схема пастоизготовителя-гранулятора, а на рисунке 2 – схема обоснования конструктивно-режимных параметров процесса трансформации кормового потока в виде смеси исходного сырья.



ПДУ – приемно-дозировующий узел; ЗТУ – захватывающе-транспортирующий узел; ИГУ – измельчающе-гомогенизирующий узел; СК – структурирующая камера; СФУ – структурирующе-формирующий узел;

$$Q(t) \leq Q_{ПДУ} \leq Q_{ЗТУ} \leq Q_{ИГУ} \leq Q_{СВ} \leq Q_{ПН} (Q_{ГУ}) = [Q_v]$$

$[Q_v]$  – требуемая (заданная) производительность кг/с;  $N_y$  – мощность, кВт,

$\theta_{П}$  – однородность пасты, %;  $K_p$  – крошимость гранул, %

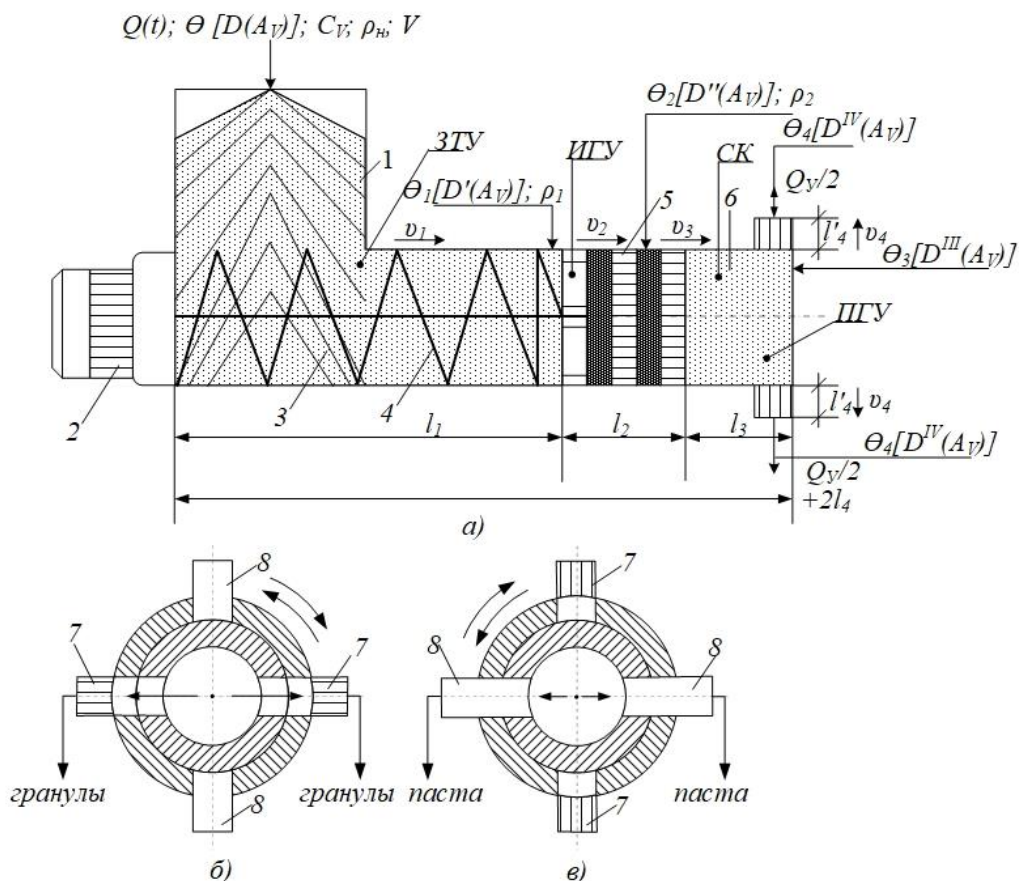
Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема пастоизготовителя-гранулятора

При обосновании математической модели оценки процесса получения продуктов в виде пасты и гранулята, на основе соответствующего анализа потоковой системы принимаем, что процесс трансформации продукта с точки зрения его опти-

мальности, может быть охарактеризован следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_{III} &= 100 \cdot N_{III} / \theta \cdot \lambda \cdot Q_{III} \rightarrow \min; \\ \text{при } \theta &= f \left\{ \lambda [\rho(k_c)] \right\} \geq [\theta]; \\ \mathcal{E}_G &= N_G / Q_G \rightarrow \min; \\ \text{при } Kp &= f(\theta) \leq [Kp] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{III}$ ,  $\mathcal{E}_G$  – показатели удельной энергетической эффективности процессов, кВт·ч/кг;  $N_{III}$ ,  $N_G$  – мощность по принятым процессам, кВт;  $\lambda$  – степень измельчения, ед.;  $Q_{III}$ ,  $Q_G$  – производительность устройства на пастоизготовлении и гранулировании, кг/ч;  $\rho$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $k_c$  – коэффициент сжимаемости продукта;  $\theta$ ,  $Kp$  – показатели однородности смеси и крошимости гранул, соответствующие зоотехническим требованиям –  $[\theta]$ ,  $[Kp]$ , %.



1 – бункер; 2 – привод; 3 – корпус; 4 – винт; 5 – решетчато-ножевой аппарат; 6 – структурирующе-компрессионная камера; 7 – матрица гранулирующая; 8 – патрубок

а) вид сбоку; б) повернуто – в режиме производства гранул; в) повернуто – в режиме производства пасты

Рисунок 2 – Схема к обоснованию конструктивно-режимных параметров процесса выравнивания колебаний качественного состава входного потока на основе белково-витаминно-минеральной композиции

Анализ системы уравнений (1), с наложенными на нее ограничениями и принятой в качестве математической модели оценки устройства указанного назначения показывает, что все приведенные в ней зависимости подлежат раскрытию по их внутреннему содержанию.

Взаимосвязь между крошмостью –  $Kp$  и однородностью –  $\Theta$ , в кормовых системах, создаваемых на основе мучного и корнеклубнеплодного сырья вполне очевидна – крошмость гранул всегда меньше, чем выше однородность распределения частиц в объеме единичной гранулы.

На основе изложенного имеем, что

$$\Delta Kp = -\psi \cdot Kp_i \cdot \Delta\theta, \quad (2)$$

где  $\Delta Kp$  – снижение крошмости;  $\psi$  – коэффициент пропорциональности;  $\Delta\theta$  – элементарный прирост однородности распределения частиц в определенном объеме продуктовой композиции.

Путем последовательных преобразований, равенства (2) относительно показателя  $Kp$ , получено следующее уравнение:

$$Kp_i = Kp_K \cdot e^{-\psi\theta} \quad (3)$$

Анализ зависимости (3) показывает, что при  $\Theta \rightarrow \max$  (100 %)  $e^{-\psi\theta} = 1 / e^{\psi\theta} \rightarrow 0$  и  $Kp_i \rightarrow Kp_K \rightarrow 0$ . Анализом установлено, что пропускная способность устройства в значительной степени зависит от плотности перерабатываемой композиции, которая в свою очередь определяется коэффициентом сжимаемости –  $k_c$  и, при этом, влияет на значения степени измельчения и, соответственно, однородность ее состава.

В диссертации приведена зависимость, характеризующая значения коэффициента –  $k_c$  от длины участка –  $l_i$  (рис. 2а) и средней скорости движения –  $v_{cp}$ .

В результате проведенного исследования также установлены зависимости, характеризующие дисперсию на выходе  $D_{\Delta}^{IV}(A_V^{IV})$  от дисперсии входного потока –  $D_{\Delta H}(A_V)$ , где  $A_V$  – символ, определяющий, что оценка проводится по наличию контрольного компонента в единичном объеме –  $V$ .

Для каждого из четырех участков длиной  $l_i$ , получены зависимости, ха-

рактизирующие дисперсию на выходе с учетом значений дисперсии входного потока.

При этом установлены зависимости: - для первых трех участков –  $l_1$ –  $l_3$ :

$$D'_{\Delta}(A'_V) = f[D_{\Delta H}(A_V)] \quad (4) \quad D''_{\Delta}(A''_V) = f[D'(A_V)] \quad \text{и} \quad D'''_{\Delta}(A'''_V) = f[D''(A_V)] \quad (5)$$

- для четвертого –  $l_4$ :

$$D^{IV}_{\Delta}(A^{IV}_V) = D'''(A'''_V) \cdot [1 + \alpha(V_4 \cdot \rho_3 \cdot k_c / Q_{IIIY})]^{-1} \geq [D_{\Delta}(A_V)], \quad (6)$$

где  $D_{\Delta H}(A_V)$  – определяется видом корреляционной функции входного потока, при интервале корреляции  $\tau = 0$ ;  $\alpha$  – показатель интенсивности перераспределения частиц,  $c^{-1}$ ;  $V_H$  – объем массы на участке –  $l_1$ ,  $кг/м^3$ ;  $Q_{IIIY}$  – пропускная способность устройства на четвёртом участке,  $кг/с$ ;  $[D_{\Delta}(A_V)]$  – допускаемая по требованиям дисперсия колебаний качественного состава композиции.

В уравнении (6) параметр  $k_c$  характеризует консистенцию тыквенно-соевого и картофельно-зернового продуктов с точки зрения насыщения соевой муки и зерна соковой составляющей в условиях их объемно-напряженного состояния, обеспечиваемого давлением, создаваемым винтом – 4 (рис.2а).

Знание данных характеристик входного и выходного потоков, позволяет определить смешивающую способность устройства

$$\gamma = D_{\Delta H}(A_V) / D^{IV}(A^{IV}_V) \quad (7)$$

Анализом и проведенными расчетами установлено, что  $[D^{IV}(A^{IV}_V)] = 25 \cdot 10^{-6} (кг/с)^2$ , когда  $[\Theta] = 95 \%$ . При этом, значение дисперсии на входе в устройство не должно превышать  $D_{\Delta H}(A_V) \leq 4,00 \cdot 10^{-4} (кг/с)^2$ , что соответствует  $\Theta = 80 \%$ . Смешивающая способность устройства, при этом, равна  $\gamma = 4,00 \cdot 10^{-4} / 25 \cdot 10^{-6} = 16,0$ .

Пропускная способность на каждом из принятых участках  $l_i$  (рисунки 1 и 2а) определяется из условия неразрывности потока:

$$[Q_Y] \leq Q_{ZY} \leq Q_{IIIY} \leq Q_{CK} \leq Q_{III} \leq Q_{IV} \quad (8)$$

Для каждого из структурных элементов устройства, справедливо следующее условие:

$$F_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \leq F_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 \leq F_3 \cdot \rho_3 \cdot v_3 \leq F_4 \cdot \rho_4 \cdot v_4, \quad (9)$$

где  $F_1 - F_4$  – площади поперечного сечения на соответствующих участках  $l_1 - l_4$ , м<sup>2</sup>;  $\rho_1 - \rho_4$  – плотность продукта на соответствующих участках, кг/м<sup>3</sup>;

$v_1 - v_4$  – скорости движения продукта на каждом из участков  $l_1 - l_4$ , м/с.

В диссертации приведены подходы к установлению составляющих неравенств (8) и (9), а также зависимостей, характеризующих мощность по каждому из структурных элементов пастоизготовителя-гранулятора.

Для устройства, работающего в режиме пастоизготовителя, взаимосвязь между параметрами определяется:

– при массовой подаче

$$Q_{III}^m = 2F_4^{\Pi} \cdot \rho_4^{\Pi} \cdot v_4^{\Pi} = [Q_V^m], \quad (10)$$

где  $F_4^{\Pi}$  – площадь поперечного сечения бокового патрубка, м<sup>2</sup>;  $\rho_4^{\Pi}$  – плотность пасты в патрубке, кг/м<sup>3</sup>;  $v_4^{\Pi}$  – скорость движения пасты, м/с.

Площадь  $F_4^{\Pi}$  определяется как  $F_4^{\Pi} = A \times B$ , где  $A$  и  $B$  – длина и ширина соответствующих сторон бокового патрубка.

При этом можно принять, что  $\rho_4^{\Pi} = \rho_3$  и скорость  $v_4^{\Pi}$  определится как:

$$v_4^{\Pi} = [Q_V^m] / F_4^{\Pi} \cdot \rho_4^{\Pi}, \quad (11)$$

где  $[Q_V^m]$  – заданная (требуемая) подача устройства, кг/с.

При объемной подаче имеем, что:

$$Q_{III}^V = 2F_{III}^{\Pi} \cdot v_4^{\Pi} = [Q_V^V] \quad (12) \quad \text{или} \quad Q_{III}^V = 2A \cdot B \cdot v_4^{\Pi} \quad (13)$$

и, тогда

$$A = 0,5 [Q_V^V] \cdot B \cdot v_4^{\Pi}, \quad (14)$$

Для устройства, работающего в режиме получения гранул:

- для массовой подачи:

$$Q_{GV}^m = 1,57d_0^2 \cdot Z_o^{GV} \cdot \rho_4^{GV} \cdot v_4^{GV}, \quad (15)$$

где  $d_0^2$  – диаметр отверстия в матрице, длиной  $l_4$ , м;  $Z_o^{GV}$  – число отверстий в матрице;  $\rho_4^{GV}$  – плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;  $v_4^{GV}$  – скорость движения гранул в ка-

налах матрицы, м/с,

- для объемной подачи и количества каналов в матрице:

$$Q_{ГV}^V = 1,57 \cdot d_0^2 \cdot Z_o^{ГV} \cdot v_4^{ГV}, \quad Z_o^{ГV} = 2R_{ск}^2 \cdot v_3 / d_0^2 \cdot v_4^{ГV}, \quad (16)$$

где  $R_{ск}$  – радиус структурирующей камеры, м.

Решение равенства (16) относительно параметра  $d_0$  дает

$$d_0 = \left( 2R_{ск}^2 \cdot v_3 / Z_o^{ГV} \cdot v_4^{ГV} \right)^{0,5}, \quad (17)$$

На основе составленного уравнения баланса получена зависимость, характеризующая степень измельчения

$$\lambda = \left\{ [1,91 \cdot a^3 \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}] \cdot d_{i_9}^{-3} \right\}^{0,33}, \quad (18)$$

где  $a$ ,  $d_{i_9}$  – исходный и конечный размеры частиц, м.;  $l_u, t_2, \mu$  – эмпирические коэффициенты.

Мощность на выдавливание пасты через патрубki равна:

$$N_u^II = 2 \cdot A \cdot B (1 - k_y^{-1}) \cdot E \cdot v_4^{II} / (1 - 2\mu), \quad (19)$$

где  $k_y$  – степень уплотнения;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль Юнга, Н/м<sup>2</sup>.

Мощность на выдавливание гранул из каналов матрицы равна:

$$N^{ГV} = 1,57 \cdot d_0^2 \cdot Z_o^{ГV} \cdot v_4^{ГV} (1 - k_y^{-1}) / (1 - 2\mu) \quad (20)$$

В диссертации приведена зависимость, характеризующая давление -  $P_c$ , создаваемое винтом – 4, полученная на основании теоремы о взаимности работ.

С учетом изложенного выше, мощность на привод устройства и энергоемкость составят:

- для пастоизготовления:

$$\left. \begin{aligned} N_{\Sigma(III)} &= \left( N_{1(с)} + N_{2(ИГV)} + N_{3(СК)} + N_u^{II} \right) / \eta \\ N_{уд(III)} &= N_{\Sigma(III)} / Q_y \end{aligned} \right\}, \quad (21)$$

где  $N_{1(с)}$ ,  $N_{2(ИГV)}$ ,  $N_{3(СК)}$ ,  $N_u^{II}$  – мощность, соответственно, связанная с работой винта, измельчающего аппарата, структурирующей камеры и выгрузкой пасты, кВт;  $\eta$  – КПД передачи.

- для гранулирования:

$$\left. \begin{aligned} N_{\Sigma(\Gamma)} &= (N_{1(\text{с})} + N_{2(\text{ИГУ})} + N_{3(\text{СК})} + N_u^{\text{ГУ}}) / \eta \\ N_{\text{уд}(\Gamma)} &= N_{\Sigma(\Gamma)} / Q_{\text{У}} \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

где  $N_u^{\text{ГУ}}$  – мощность, связанная с гранулированием, кВт.

Анализ формул (21) и (22) и проведенными расчетами установлено, что значения по  $N_{\text{уд}(\text{ПИ})}$  находятся в диапазоне 0,0044 – 0,0058 кВт·ч/кг, а по показателю  $N_{\text{уд}(\Gamma)} = 0,00611 – 0,00614$  кВт·ч/кг.

Для установления оптимальных значений параметров, входящих в состав формул (21) и (22) необходимо проведение эксперимента.

**В третьей главе «Программа, методика и результаты экспериментальных исследований»** приведена программа экспериментальных исследований, которой предусматривалось решение следующих задач в пять последовательно выполняемых этапов.

На первом – определялись методы исследований и подбирались методики для оценки соответствующих процессов на соответствующем оборудовании и пилотной установке с использованием необходимой приборной базы.

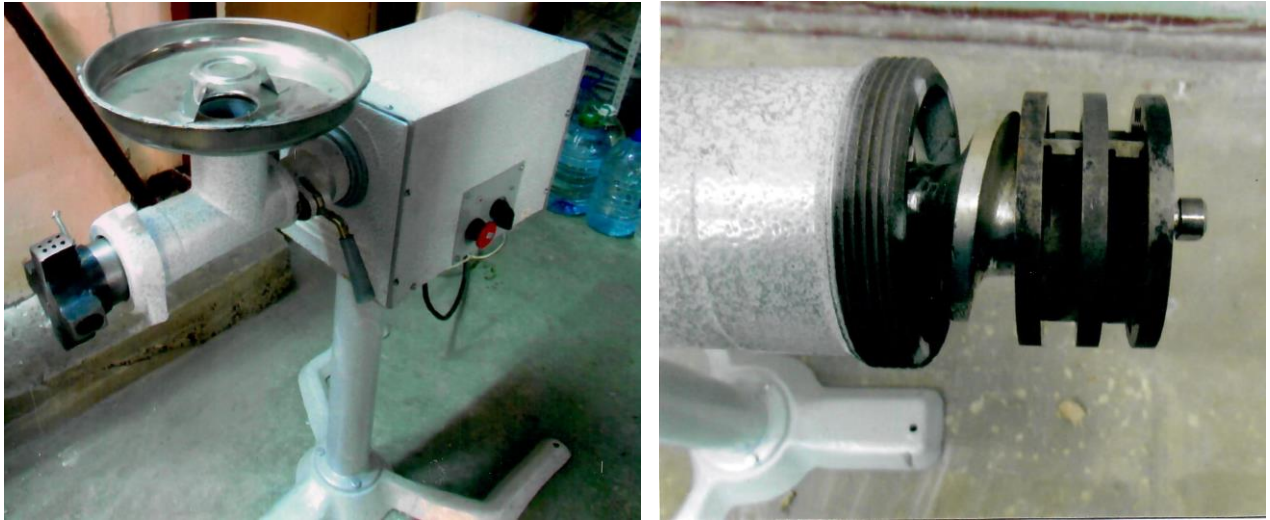
На втором – определялся перечень необходимого для проведения эксперимента исходного сырья и продуктов, с последующим установлением их физико-механических показателей и свойств.

На третьем – разрабатывались исходные требования к используемому оборудованию и пилотной установке.

На четвертом – изготавливались на основе эскизных чертежей необходимые детали и узлы к пилотной установке, а также проводился их монтаж и обкатка с выделением основных факторов, оказывающих значимое влияние на качественные и энергетические показатели выполнения исследуемых процессов.

На пятом этапе проводились работы по изучению следующих процессов: - смешивающей способности пастоизготовителя-гранулятора при осуществлении им трансформации исходного сырья в композиции по прямопоточной схеме; - измельчения исходных композиций; - получения пасты на основе различных композиций с определением однородности распределения компонен-

тов; - получения гранул с определением показателя крошимости. Общий вид установки приведен на рис. 3.



а)

б)

а) пастоизготовитель-гранулятор; б) измельчающий аппарат

Рисунок 3 – Общий вид экспериментального устройства

При проведении эксперимента по изучению процесса получения пасты, выделена следующая совокупность значимых факторов:  $\alpha_1/\lambda_k$  – степень измельчения, ед.;  $\alpha_2/W$  – влажность пасты, %;  $\alpha_3/C_F$  – соотношение площадей структурирующей камеры и выходных профильных отверстий, ед.

Критериями оптимизации определены: энергоемкость процесса получения пасты –  $N_{y\theta}$ , кВт · с/кг и однородность состава пасты –  $\theta$ , %:

$$\Delta_1/N_{y\theta} = f(\lambda_k; W; C_F) \rightarrow \min; \Delta_2/\theta = f(\lambda_k; W; C_F) \rightarrow \max \quad (23)$$

Полученное уравнение в кодированной форме имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta_1 = 18,196000 - 0,258\alpha_1 + 0,421\alpha_2 + 0,316\alpha_3 - 1,013\alpha_1\alpha_3 - \\ - 0,413\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,419\alpha_1^2 + 1,588\alpha_2^2 + 1,013\alpha_3^2 \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (24)$$

при  $F_R = 19,4 > F_T$ .

В раскодированной форме получена зависимость следующего вида:

$$\begin{aligned} N_{y\theta} = 718,97200 - 11,43600\lambda_k - 6,8700W - 163,97300C_F + \\ + 0,14600\lambda_k W + 1,52500\lambda_k C_k + 0,82500WC_k - 0,02700\lambda_k WC_k + \\ + 0,05700\lambda_k^2 + 0,015009W^2 + 11,252C_F^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (25)$$

Для оценки процесса получения пасты по однородности ее состава, урав-



нение в кодированной форме имеет вид:

$$\Delta_2 = 89,02400 + 0,303\alpha_1 + 0,387\alpha_1\alpha_2 - 0,463\alpha_2\alpha_3 + 1,038\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - 0,618\alpha_1^2 - 1,887\alpha_2^2 + 0,618\alpha_3^2 \rightarrow \max \quad (26)$$

при  $F_R = 19,4 > F_T$ , а в раскодированном виде:

$$\begin{aligned} \theta = & -870,67400 + 35,65600\lambda_k + 14,6200W + 105,60100C_F - \\ & -0,35900\lambda_k W - 0,35900\lambda_k C_F - 2,2300C_F + 0,069200\lambda_k W C_F - \\ & -0,11500\lambda_k^2 - 0,01900W^2 + 6,86200C_F^2 \rightarrow \max \end{aligned} \quad (27)$$

Решением компромиссной задачи установлено, что для обеих функций значения оптимальных параметров находятся в следующих пределах:  $\lambda_k = 29 - 31$  ед.;  $-W = 78 - 82$  %;  $-C_F = 5,15 - 5,4$  ед. при  $N_{уд(пш)} = 16,2$  кВт·с/кг, (0,0045 кВт·ч/кг).

При изучении процесса получения гранул, в качестве значимых факторов определены следующие:  $\alpha_1/\omega_\theta$  – угловая скорость винта,  $c^{-1}$ ;  $\alpha_2/\chi$  – соотношение между длиной канала матрицы  $l_0$  и его диаметром –  $d_0$ , ед.,  $\alpha_3/\lambda_k$  – степень измельчения, ед.

Исходным сырьем являлись: измельченная тыква+соевая мука+мел в мучной форме и измельченный картофель+зерно пшеницы (1:1), при начальной однородности смеси в композициях не менее  $\Theta = 80$  %, что установлено в результате расчетов, проведенных по формулам (4)–(6).

В качестве критерия оптимизации принята энергоемкость получения гранул, соответственно для первой и второй композиции, кВт·с/кг, для которого уравнение общего вида представлено следующей зависимостью:

$$\Delta_{3-4} / N_{y_{\partial 1-2}} = f(\omega_\theta; \chi; \lambda_k) \rightarrow \min \quad (28)$$

В кодированной форме, данная зависимость имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta_3 = & 21,147 + 0,507\alpha_1 + 0,6137\alpha_2 + 0,451\alpha_3 - 0,863\alpha_1\alpha_3 - \\ & -0,288\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,324\alpha_1^2 + 1,663\alpha_2^2 + 0,952\alpha_3^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (29)$$

при  $F_R = 19,4 > F_T$ ;

В раскодированном виде:

$$\begin{aligned} N_{y_{\partial 1}} = & 94,73600 - 7,400\omega_\theta - 3,33500\chi - 1,8400\lambda_k + 0,11500\omega_\theta\chi - \\ & -0,01900\omega_\theta\chi + 0,070900\chi\lambda_k - 0,003800\omega_\theta\chi\lambda_k + 0,14700\omega_\theta^2 + \\ & + 0,06700\chi^2 + 0,037400\lambda_k^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (30)$$

Для критерия  $\Delta_4/N_{y_{\partial 2}}$  получено:

– в кодированном виде:

$$\begin{aligned} \Delta_4 = & 23,26700 + 0,48300\alpha_1 + 0,47400\alpha_2 + 0,5600\alpha_3 - 0,77500\alpha_1\alpha_3 + \\ & + 0,22500\alpha_2\alpha_3 - 0,22500\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,48200\alpha_1^2 + 1,92200\alpha_2^2 + \\ & + 1,24500\alpha_3^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (31)$$

при  $F_R = 19,4 > F_T$ ;

– в раскодированном виде:

$$\begin{aligned} N_{y\phi_2} = & 115,55700 - 5,28300\omega_\phi - 3,37800\chi - 2,566400\lambda_\kappa + \\ & + 0,0900\omega_\phi\chi - 0,02200\omega_\phi\lambda_\kappa + 0,064500\chi\lambda_\kappa - 0,00300\omega_\phi\chi\lambda_\kappa + \\ & + 0,16500\omega_\phi^2 + 0,07700\chi^2 + 0,0500\lambda_\kappa^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (32)$$

По критерию крошимости, выделены следующие факторы:  $\alpha_1/C_K$  – содержание мела в композиции, %;  $\alpha_2/\lambda_\kappa$  – степень измельчения, ед.;  $\alpha_3/\chi$  – соотношение между длиной канала –  $l_0$  и его диаметром –  $d_0$  ( $l_0/d_0$ ), ед. при

$$Kp = f(C_K; \lambda_\kappa; \chi) \rightarrow \min \quad (33)$$

Для принятой зависимости общего вида, получены следующие уравнения регрессии:

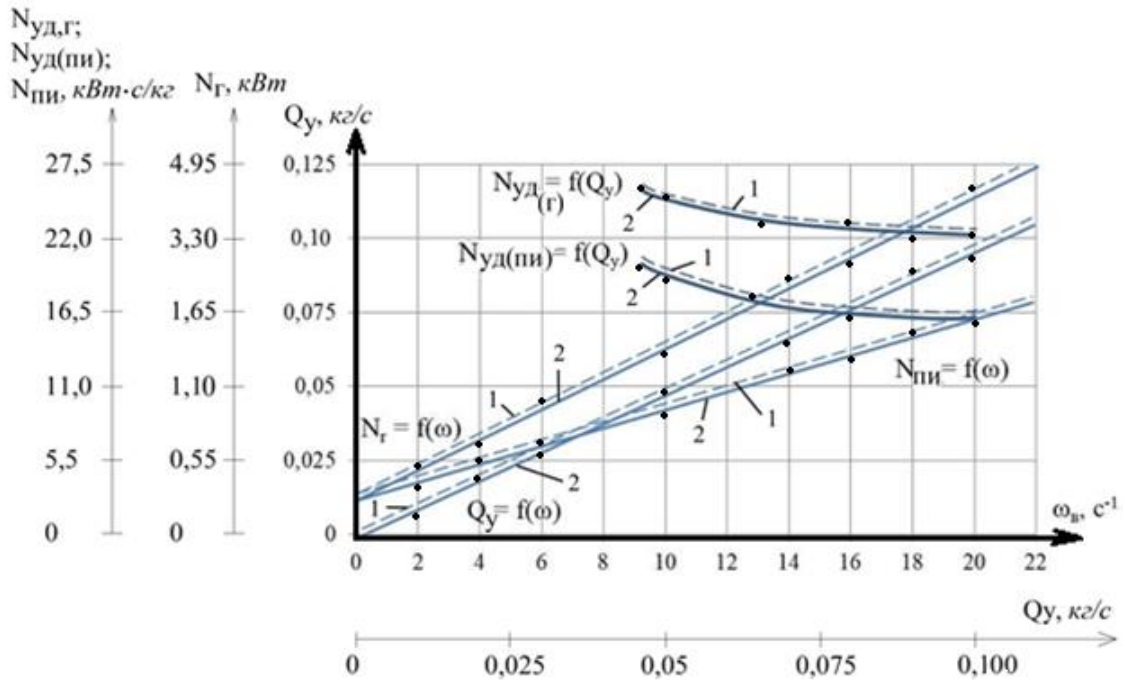
$$\begin{aligned} Kp_1 = & 72,85800 - 2,08100C_K - 3,56100\lambda_\kappa - 2,06300\chi + \\ & + 0,02400C_K\lambda_\kappa + 0,15800C_K\chi + 0,06900\lambda_\kappa\chi - 0,0052500C_K\lambda_\kappa\chi + \\ & + 0,06400C_K^2 + 0,05500\lambda_\kappa^2 \rightarrow \min; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} Kp_2 = & 119,5200 - 1,66800C_K - 6,93700\lambda_\kappa - 1,31300\chi + \\ & + 0,031500C_K\lambda_\kappa + 0,13100C_K\chi + 0,052500\lambda_\kappa\chi - 0,005300C_K\lambda_\kappa\chi + \\ & + 0,04400C_K^2 + 0,1100\lambda_\kappa^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (35)$$

Оптимальными значениями факторов, по процессу получения гранул, являются следующие:  $\omega_\phi = 17-21 \text{ с}^{-1}$ ;  $\chi = 6-8 \text{ ед.}$ ;  $\lambda_\kappa = 26-31 \text{ ед.}$ ;  $C_K = 5,5-6,0 \%$  при значениях:  $N_{y\phi_{1-2}} = 21,0 - 21,5 \text{ кВт}\cdot\text{с/кг}$  ( $0,0058-0,00597 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ ) и  $Kp_{1-2} = 8,0 \%$ .

На основе полученных данных, в рамках использования рабочей формулы д.т.н., профессора С.В. Мельникова по определению удельной работы измельчения, установлены значения коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ , которые равны:  $C_1=702 \text{ Дж/кг}$  и  $C_2=451,4 \text{ Дж/кг}$ .

На рисунке 4 представлены зависимости, характеризующие подачу, мощность и энергоёмкость пастоизготовителя-гранулятора с оценкой расхождения по относительной ошибке.



1 – теоретические – по формулам (10), (15), (21), (22)  
2 – экспериментальные

Рисунок 4 – Зависимости производительности  $Q_y$ , мощности  $N_G$  от  $\omega$ , и энергоемкости  $N_{уд(г)}$  и  $N_{уд(пи)}$  от  $Q_y$  на приготовлении пасты и гранул при  $\Delta = (\pm 5,0 \%) - (\pm 8,5 \%)$

Установлена зависимость, характеризующая качество гранул по показателю их крошимости -  $K_p, \%$  от однородности пастовой картофельно-зерновой композиции -  $\theta, \%$ ,  $K_p = K_{PK} \cdot e^{-0,0116\theta}$  согласно которой с увеличением показателя однородности  $\theta, \%$  - крошимость -  $K_p$  снижается по экспоненте и достигает значения  $K_p = 8,0\%$  при  $\theta = 98\%$ .

Значения экспериментально полученных показателей находятся на уровне  $N_{уд(пи)} = 0,0045$  кВт·ч/кг, и  $N_{уд(г)} = 0,0058 - 0,00597$  кВт·ч/кг при расхождении с теоретическими в пределах  $(\pm 5,0) - (\pm 8,5)\%$

**В четвертой главе приведены условия проведения производственной проверки**, в ходе которой, в качестве исходного базового рациона для водоплавающей птицы, принят рецепт ПК 22-3-89, разработанный Белорусской ЗОСП с заменой шрота соевого и дрожжей кормовых на необезжиренную термообработанную соевую муку. Для гусей за основу принят рецепт ПК 33-3-89, разработанный ВНИИ ТиП для продуктивности птицы выше 35%, с заменой соевого шрота также на необезжиренную термообработанную соевую муку.

Расчетами по технико-экономической эффективности установлено, что

использование предложенного устройства в комплекте с сушильным шкафом «ЭСПИС-4-Универсал» позволяет снизить металлоемкость в 3,6, а энергоемкость в 2,8 раза, при сроке окупаемости 2,8 года, по сравнению с комплектом (молотковая дробилка ИУ-Ф-10 + дисковый гранулятор марки ГДР-125 производства фирмы «Артмаш»).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненного исследования**

1. На основании выявленной необходимости и целесообразности использования технологических схем приготовления кормовых продуктов, адаптированных к условиям малых ферм по выращиванию водоплавающей птицы (уток и гусей) разработана структурно-функциональная схема пастоизготовителя-гранулятора с учетом предъявляемых исходных требований к устройствам данного назначения и имеющего в своей структуре питающе-гомогенизирующий узел (ПИГУ), а также структурирующе-формующий узел (СФУ), позволяющие получать качественные пасту и гранулят на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций в соответствии с исходными требованиями;

2. Разработана математическая модель оценки предложенной технической системы по показателю удельной энергетической эффективности, учитывающая совокупность взаимосвязанных между собой факторов, таких как однородность состава трансформированного в пасту и гранулы продукта, его степени измельчения для каждого из двух процессов, выполняемых с помощью одного технического средства;

3. Теоретическим путем установлены зависимости, характеризующие рабочий процесс разработанного пастоизготовителя-гранулятора с измельчающим решетчато-ножевым аппаратом, как двухузловой технической системы, обеспечивающей трансформацию сырья на каждом из участков потока, путем его последовательного сжатия и растяжения. С учетом данного подхода обоснована пропускная способность предложенного устройства, а также мощность в зависимости от условий работы ПИГУ и СФУ. Получены выражения для

определения степени измельчения и смешивающей способности в четырехступенчатом решетчато-ножевом аппарате, давления, создаваемого винтом, длины и числа формирующих каналов в матрице, а также их диаметра;

4. Экспериментально получены математические модели оценки работы устройства в виде адекватных уравнений регрессии в режимах приготовления пасты и гранулята с обоснованием на их основе оптимальных значений параметров работы:

1) для процесса получения пасты: - степень измельчения –  $\lambda_K = 26-31$  ед.; - влажность –  $W = 78-82$  %; - соотношение площадей структурирующей камеры и выходных профильных отверстий  $C_F = 5,15 - 5,4$  ед., при энергоёмкости  $N_{y\partial(III)} = 16,2$  кВт·с/кг (0,0045 кВт·ч/кг) с расхождением расчетных и экспериментальных данных по энергоёмкости  $\pm 8,5\%$  и однородностью  $\theta = 95,0$  %, при исходной  $\theta = 80,0$  %;

2) для процесса получения гранулята: - угловая скорость винта  $\omega = 17-21$  с<sup>-1</sup>; - соотношение между длиной канала матрицы и его диаметром –  $\chi = 6-8$  ед.; - степень измельчения –  $\lambda_K = 26-31$  ед.; - содержание мела в композиции –  $C_K = 5,5-6,0$  %, при энергоёмкости  $N_{y\partial(I)} = 21-21,5$  кВт·с/кг (0,0058 – 0,00597 кВт·ч/кг) с расхождением теоретических и экспериментальных данных по энергоёмкости  $\pm 5,3\%$ , а по крошимости сушеных гранул  $\pm 5,0\%$ ;

5. Производственной проверкой основных результатов исследований установлено, что предложенный пастоизготовитель-гранулятор обеспечивает получение пасты и гранулята с однородностью смеси  $\theta = 95$  % и крошимостью гранул  $Kp = 8,0$  %, что соответствует зоотехническим требованиям;

6. Разработаны технологическая и конструктивная схемы линии получения пасты и гранулята для водоплавающей птицы с помощью предложенного устройства, а также рекомендации для принятых условий, с учетом выращиваемого поголовья гусей и уток;

7. Использование разработанного пастоизготовителя-гранулятора малогабаритного исполнения, позволяет выполнять операции по тонкой дезинтеграции сырья в виде влажных композиций, содержащих сухое зерно в пасту, а также получить гранулят с помощью одной машины, что обеспечивает годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам в размере 142 096,00

руб./год и годовом объеме, равном 255,500 тонн/год, по сравнению с базовым вариантом (молотковая дробилка+дисковый гранулятор серии «Артмаш – ГДР-125»). При этом, снижение энергоемкости на пастоизготовление составляет 37,7%, а на гранулировании в 2,55 раза, по сравнению с аналогами.

### **Рекомендации и предложения производству**

1. При разработке и проектировании процессов приготовления пасты и создания запаса в виде гранулированных кормовых продуктов на основе соевых и картофельно-зерновых композиций рациональным является использование предложенного устройства в виде пастоизготовителя-гранулятора, функционирующего в двух режимах:

1) получение пасты; 2) получение гранулята.

При реализации второго варианта – пастоизготовитель-гранулятор используется в комплекте с камерной сушилкой «ЭСПИС-4-Универсал».

При этом, значения его параметров и режимов работы принимаются в соответствии с приведенными в заключении по данной диссертационной работе.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Используя теоретический и экспериментальный материал, полученный на основе проведенных исследований можно разработать инновационные способы и технические средства по приготовлению кормовых продуктов для гусей и уток на основе отходных фракций, получаемых при переработке с/х сырья.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

#### ***Издания, рекомендованные ВАК Минобрнауки РФ:***

1. Школьников, М.А. Обоснование технологических подходов к повышению эффективности системы приготовления кормовых продуктов / М.А. Школьников, Л.А. Ковалева, и др. // АгроЭкоИнфо – 2022. – №2. – URL:[http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/42st\\_238.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/42st_238.pdf).
2. Школьников, М.А. Обоснование технологических подходов к получению качественных гранулятов на основе бинарных композиций / М.А. Школьников, Л.А. Ковалева, и др. // АгроЭкоИнфо – 2022. – №2. – URL:[http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/42st\\_237.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/42st_237.pdf)

3. Школьников, М.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование процесса получения качественного гранулята / М.А. Школьников, Л.А. Ковалева, и др. // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 2. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/2/st\\_204.pdf](http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/2/st_204.pdf).
4. Школьников, М.А. Обоснование способа и технического средства для приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице / М.А. Школьников, В.Ю. Фролов, П.Н. Школьников // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 5. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/5/st\\_537.pdf](http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/5/st_537.pdf).
5. Школьников, М.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование способа и параметров устройства для приготовления кормов на основе картофельно-тыквенной композиции / М.А. Школьников // Научный журнал КубГАУ. – 2023. – № 194(10). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2023/10/pdf/25.pdf>.
6. Школьников, М.А. Повышение эффективности процесса получения пастообразных продуктов / М.А. Школьников, Л.Г. Крючкова, В.Ю. Фролов и др. // Научный журнал КубГАУ. – 2024. – № 195(01). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2024/01/pdf/20.pdf>.

***Патенты РФ на изобретения:***

7. Патент № 2740651 Российской Федерации В30В 11/00 (2020.08). Шнековый пресс-гранулятор [Текст] / С.М. Доценко, Л.А. Ковалева, И.Н. Кузьмин, П.Н. Школьников, М.А. Школьников, А.В. Чубенко; заявитель и патентообладатель Амурский госуд. ун-т. – Заявл. 2020119226, 03.06.2020; опубл. 19.01.2021 Бюл. №2.
8. Патент № 2740649 Российской Федерации В30В 11/28 (2020.08). Пресс-гранулятор [Текст] / С.М. Доценко, Л.А. Ковалева, И.Н. Кузьмин, П.Н. Школьников, М.А. Школьников, А.В. Чубенко; заявитель и патентообладатель Амурский госуд. ун-т. – Заявл. 2020119225, 03.06.2020; опубл. 19.01.2021 Бюл. №2.
9. Патент № 2781714 Российской Федерации В30В 11/24 (2022.08). Шнековый пресс [Текст] / С.М. Доценко, П.Н. Школьников, М.А. Школьников, И.Н. Кузьмин; заявитель и патентообладатель Амурский госуд. ун-т. – Заявл. 2022110176, 15.04.2022; опубл. 17.10.2022 Бюл. №29.
10. Патент № 2781705 Российской Федерации В30В 11/24 (2022.08). Шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик [Текст] / С.М. Доценко, П.Н. Школьников,

М.А. Школьников, И.Н. Кузьмин; заявитель и патентообладатель Амурский госуд. ун-т. – Заявл. 2022110931, 22.04.2022; опубл. 17.10.2022 Бюл. №29.

11. Патент № № 2805870 Российской Федерации А23К 50/75 (2023.08); А23К 40/10 (2023.08). Способ приготовления белково-кальциевой добавки для гусей [Текст] / П.Н. Школьников, М.А. Школьников, В.Ю. Фролов; заявитель и патентообладатель Дальневосточный госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2023106259, 17.03.2023; опубл. 24.10.2023 Бюл. №30.

12. Патент № 2803521 Российской Федерации В01J 2/00 (2023.05); В29С 48/00 (2023.05). Пастоизготовитель-гранулятор [Текст] / П.Н. Школьников, М.А. Школьников; заявитель и патентообладатель Дальневосточный госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2023106261, 17.03.2023; опубл. 15.09.2023 Бюл. №26.

13. Патент №2804103 Российской Федерации В02С 18/30 (2023.08). Измельчитель-пастоизготовитель [Текст] / П.Н. Школьников, М.А. Школьников, А.В. Чубенко; заявитель и патентообладатель Дальневосточный госуд. аграрн. ун-т. – Заявл. 2023106273, 17.03.2023; опубл. 26.09.2023 Бюл. №27.

***В других изданиях:***

14. Школьников, М.А. Обоснование общих технологических подходов к получению гомогенных композиционных систем и формованных изделий / Школьников М.А., Туров А.И. – Благовещенск: ДальГАУ, 2019. – С. 172-173.

15. Школьников, М.А. Рекомендации по использованию технологии и технических средств приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице / Школьников М.А., Школьников П.Н. – Благовещенск, 2023. – 16 с.

16. Школьников, М.А. Теоретическое обоснование процесса приготовления кормов для гусей / М.А. Школьников // Межвузовский международный конгресс «Высшая школа: научные исследования». – М., 10.11.2023.

17. Школьников, М.А. Теоретическое обоснование технологии приготовления кормов для уток / М.А. Школьников // Международный научный форум «Наука и инновации – современные концепции». – М., 16.11.2023.

18. Школьников, М.А. Теоретические подходы к обоснованию системы кормления водоплавающей птицы // Международный научный форум «Наука и инновации – современные концепции». – М., 18.01.2024.



Подписано в печать «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.  
Формат 60 × 84 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. – 2. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_.  
Отпечатано в типографии ООО «Крон»  
350044, г. Краснодар, пр. Чекистов, 20.