

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



Школьниковна 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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
В.Ю. Фролов

Краснодар 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ.....	10
1.1 Особенности кормления водоплавающей птицы, способов и технических средств для получения пастообразных кормовых продуктов.....	10
1.2 Характеристика способов и технических средств для получения гранулированных продуктов.....	16
1.3 Обзор исследований по обоснованию параметров рабочих процессов получения пасты и гранулята.....	27
1.4 Выводы, цель и задачи исследований.....	38
Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ.....	43
2.1 Разработка структурно-функциональной схемы пастоизготовителя винтового типа.....	43
2.2 Разработка математической модели оценки процесса получения продуктов в виде пасты и гранул.....	47
2.3 Теоретическое обоснование производительности, технологических и конструктивно-режимных параметров пастоизготовителя-гранулятора.....	61
Глава 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	84
3.1 Программа и организация экспериментальных исследований.....	84
3.2 Комплект оборудования и пилотная установка для проведения экспериментальных исследований.....	85
3.3 Методика проведения эксперимента.....	89

3.4 Результаты эксперимента по обоснованию параметров пастоизготовителя-гранулятора	94
Глава 4 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОЦЕНКА ИХ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	119
4.1 Условия проведения производственной проверки и оценка технико- экономической эффективности основных результатов исследований ..	119
Заключение	130
Рекомендации и предложения производству	133
Перспективы дальнейшей разработки темы	133
Список литературы	134
Приложения	147

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее значение приобретает развитие отрасли птицеводства, связанной с выращиванием водоплавающей птицы в виду возможности получения от нее продукции широкого ассортимента – мяса, отличающегося вкусовыми качествами, пуха, пера и др., при высокой скорости роста (до 100 грамм в сутки) и мясной скороспелости (3-4 месяца). Выращивание гусей и уток возможно и целесообразно (рентабельность до 30 % и выше) в условиях личных подсобных хозяйств, ферм малого и среднего размера, с поголовьем от 100 до 1000 мясного направления и от 1000 до 9000 – яично-инкубационного.

Однако, темпы развития отрасли, в данном направлении, сдерживаются из-за высокой стоимости кормов (до 108 руб./кг) промышленного производства, которые представляют собой сухие смеси (комбикорма), сбалансированные по белкам, жирам, углеводам, минеральным веществам, а также витаминам синтетической природы.

Данное обстоятельство вынуждает производителей использовать местное кормовое сырье (сою, корнеклубнеплоды, тыкву и др.), подготовка которого не в полной мере отвечает зоотехническим требованиям по составу и однородности смесей, а также степени измельчения при относительно высоких затратах труда и средств. При этом, не производится заготовка гранулированных кормов на зимний период, в виде белково-витаминно-минеральных добавок, содержащих витамины естественной природы.

Данная проблема не может быть решена простым набором существующего кормоприготовительного оборудования, в виду специфичности летнего и зимнего рационов, требующих применения специальных технических средств, адаптированных к условиям выращивания гусей и уток.

Данным требованиям отвечают устройства малогабаритного исполнения с расширенными техническими возможностями, обеспечивающими получение пастообразных и гранулированных кормов, на основе соевых, тыквенных и картофельно-зерновых композиций, путем оперативной перенастройки режима их работы в периоды, благоприятные для заготовки кормов

на зиму.

В настоящее время такие пастоизготовители-грануляторы отсутствуют и, соответственно, нет научно-обоснованных данных для их проектирования и конструирования.

В этой связи, исследования, направленные на получение новых данных, связанных с процессом приготовления однородно-пастообразных и заготовкой гранулированных кормов на основе соево-тыквенных и корнеклубнеплодно-зерновых композиций с помощью малогабаритного устройства, являются актуальными и требуют своего решения.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО КубГАУ им. И.Т. Трубилина – номер государственной регистрации № 121032300060-2.

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., Побединского В.М., Апевалова О.В. и других ученых.

Вопросам создания грануляторов посвящены исследования Фарбмана Г.Я., Некрашевича В.Ф., Подколызина 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, пастоизготовителей-грануляторов, адаптированных к условиям содержания и выращивания гусей и уток решены не в полной мере.

Так, энергоемкость известных в настоящее время малогабаритных грануляторов дискового типа находится в пределах 0,081-0,96 кВт·ч/кг на гранулировании предварительно измельченных зерновых смесей и сенной муки.

При этом, для получения посредством данных устройств гранул, содержащих тыквенный или корнеклубнеплодный компонент, как источник витаминов естественной природы, его необходимо предварительно высушить

до содержания влаги 10-12 %.

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 влажных 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 на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций с помощью пастоизготовителя-гранулятора винтового типа с учетом его измельчающе-смешивающей способности.

Задачи исследования:

1. Разработать структурно-функциональную схему малогабаритного 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 пара-

метров с обоснованием производительности, мощности и энергоемкости на осуществление процессов получения пасты и гранулята на основе соевых и картофельно-зерновых композиций;

4. Экспериментально получить зависимости, характеризующие рабочий процесс пастоизготовителя-гранулятора и 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, матанализа, 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.

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 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 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.), 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., 18.01.2024 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 18 работ, 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.

Глава 1 НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ

1.1 Особенности кормления водоплавающей птицы, способов и технических средств для получения пастообразных кормовых продуктов

На сегодняшний день в отрасли птицеводства определенное место занимает производство продукции, получаемой в результате выращивания водоплавающей птицы. Гуси и утки, по сравнению с другими видами птицы хорошо приспособляются к различным условиям их содержания и кормления, хорошо переносят холод [66].

По скорости роста и мясной скороспелости современные породы гусей превосходят птицу других видов. Среднесуточный прирост живой массы гусят составляет 60-100 гр., при достижении массы взрослых гусей, в зависимости от породы, достигает 6-8 кг, давая при этом кроме мяса ценный жир без холестерина, деликатесную печень, перо и пух, а также помет, в качестве удобрения.

Мясо уток по химическому составу отличается более высоким содержанием белка, минеральных веществ и витаминов, а затраты кормов на производство продукции гусей и уток, так называемая конверсия кормов, составляет 3,0 кг на 1,0 кг прироста. Производство продукции водоплавающей птицы осуществляют при широком диапазоне поголовья – от 100 до 1000 голов – при мясном направлении и от 1000 до 9000 – при яично-инкубационном [66].

В тоже время, рентабельность ферм со средним и большим поголовьем составляет до 30,0 %, а с малым – более 40,0 %, что связано с их выгульно-пастбищным содержанием и, следовательно, более низкими затратами на корма [66].

Однако, существующая система кормления такой птицы, связана с низким уровнем ее механизации, при использовании местного сырья собственного производства в виде тыквы, корнеклубнеплодов и др. Затраты, при использовании кормов промышленного производства и, тем более зарубежного, приводят к существенному снижению рентабельности, что связано с их ценой (50-60 руб./кг). При этом, цена комбикормов фирмы «Purina», с соевым белковым (обезжиренным) компонентом и добавкой синтетического витамина Е, составляет 80-108 рублей за 1 кг.

Особенности кормления водоплавающей птицы (гусей и уток) также обусловлены условиями их сезонного содержания, основным из которых является выгульно-пастбищный в летний период [66].

Наряду с их кормлением на выгуле травой, может осуществляться кормление в загонах и помещениях. При этом, существуют традиционные рецептуры комбикормов промышленного производства – ПК-33-(1-3)-89, ПК-(30-33)-1-89, ПК-(30-32)-2-89 для гусей породы крупной серой, горьковской, итальянской, венгерской, холмогорской, уральской, Тульской, китайской и др., а также К-20-(1-2)-89, К-21-(1-3)-89 для уток, кросса «Медео-2», кросса «Темп-1» белых пекинских, московских и других [102].

В составе приведенных рецептур комбикормов, предусмотрено использование совокупности фуражного зерна, в виде кукурузы, пшеницы, ячменя, а также муки мясокостной, рыбной и травяной. Кроме этого, в них включены шрот соевый и подсолнечный, жир кормовой и премиксы, наряду с добавкой метионина и цистина (серосодержащие незаменимые аминокислоты синтетической природы) [101, 102].

Здесь следует отметить, что в настоящее время в РФ витаминно-травяная мука не производится, а мясокостная и рыбная мука, в силу высокой их себестоимости производства, имеют высокую цену, что отражается в целом на цене комбикорма.

При этом, в работе [66] показано, что в настоящее время уткам дают полнорационные комбикорма из расчета 240-270 грамм на одну голову в сут-

ки. При комбинированном способе кормления, в состав влажных мешанок вводят измельченные зерновые корма, жмыхи, шроты, травяную муку, корнеклубнеплоды, молочные отходы, комбинированный силос.

Гусей кормят полнорационными комбикормами. При комбинированном способе кормления в зимний период, на одну голову в сутки скармливают зерновых кормов – 130 г., гороха – 30 г., подсолнечного шрота – 15 г., мясокостной муки – 5 г., свеклы – 200 г, травяной муки – 200-300 г, мела – 8 г., а также комбинированный силос из расчета 150-200 г. на одну голову в сутки [66].

Как следует из приведённых данных, при кормлении водоплавающей птицы используют влажные мешанки, которые представляют собой пастообразный продукт.

При этом не указывается каким способом и с помощью каких средств они готовятся.

В кормлении также используется комбинированный силос, имеющий размер частиц, которые требуют дополнительного измельчения, с целью получения корма пастообразной физической формы.

Для этих целей могут быть использованы измельчители-пастоизготовители, конструктивно выполненные по схеме, приведенной в литературе [36, 55].

Однако, как показал анализ, специальные технические средства, предназначенные для использования при выращивании гусей и уток, в конкретных условиях их содержания и кормления отсутствуют.

В этой связи, существуют отдельные рекомендации по использованию существующего оборудования, которое необходимо приспособлять для конкретных условий содержания и кормления птицы.

Анализ литературных источников [2, 48, 50, 54, 55, 59-62] показал, что традиционный способ приготовления влажных мешанок предусматривает смешивание в определенном соотношении воды и комбикормов, содержащих предварительно дробленое фуражное зерно.

Для смешивания воды с комбикормами используются специальные технические средства – смесители непрерывного или периодического действия [2, 50, 55].

При этом, рациональное использование в рационах тыквы и корнеклубнеплодов предусматривает их измельчение до размера частиц, соответствующего зоотехническим требованиям.

Приведенный перечень по исходному сырью и продуктам, подлежащим подготовке и приготовлению требует также использования машин для резки тыквы и корнеклубнеплодов, таких как клубнерезки, а также измельчения силоса до пастообразного состояния, таких как пастоизготовители [2, 36, 41, 62].

В итоге, требуется перечень машин из приведенного назначения, в количестве не менее трех единиц.

Таким образом, для эффективного получения продукции от данного вида птицы, связанного прежде всего с содержанием и выращиванием ее в условиях фермерских и личных подсобных хозяйств, существует необходимость и целесообразность использования кормового сырья местного производства, с заготовкой его например, в гранулированном виде для кормления в зимний период.

Реализация данного подхода вызывает необходимость рациональной организации работ по кормоприготовлению, а также разработке соответствующих инновационных способов и технических средств, обеспечивающих полноценное кормление и реализацию процессов с требуемой производительностью и качеством, при относительно низких затратах труда и средств.

В таблице 1.1 приведен примерный график сезонной организации работ по кормоприготовлению и использованию кормов, позволяющий решить поставленные вопросы в рамках системы, учитывающей сезонный, физиологический и климатический факторы.

Таблица 1.1 – Примерный график сезонной организации работ по приготовлению пастообразных и заготовке гранулированных кормов с учетом периода их использования (поголовье – 1000 гусей)

Наименование работ	Периоды работы устройства, месяцы											
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
Приготовление пастообразных кормов и кормление птицы	3 ч/д	3 ч/д	3 ч/д	3 ч/д	3 ч/д	3 ч/д						
Заготовка гранулированных кормов	4 ч/д	4 ч/д	4 ч/д	4 ч/д	4 ч/д	4 ч/д						
Кормление птицы в осенне-зимне-весенний период гранулированными кормами							к	к	к	к	к	к
Трехразовое												
Из расчета на поголовье 1000 гусей, приготовление: пасты – 3 ч в день (с учетом времени выполнения вспомогательных операций); гранул – 4 часа в день с учетом времени выполнения вспомогательных операций)												

При этом, в качестве исходных требований, предъявляемых к разрабатываемым способам и техническим средствам, на основе проведенного анализа установлены следующие:

1) они должны отвечать физиологическим особенностям организма водоплавающей птицы по форме и по содержанию приготавливаемых кормовых продуктов – в виде пасты и гранулята на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций диаметром в пределах 2-3 мм;

2) применяемые технические средства для приготовления кормовых продуктов на основе местного сырья (тыквенного, корнеклубнеплодного, соевого и др.), обладающего своими специфическими свойствами, должны обеспечивать выполнение процессов при относительно малых затратах труда, средств и энергии:

2.1) требуемую производительность при производстве пасты (300-400 кг/ч) в летний период на оперативном уровне и заготовке гранул – на стратегическом уровне (создание запасов для использования в зимне-весенний пе-

риод) на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций;

2.2) осуществлять разрушение фуражного зерна и зерновых смесей без образования мучной пылевидной фракции с требуемой степенью измельчения (средневзвешенный размер получаемых частиц в пределах 0,3-0,8 мм и относительно меньшей энергоемкостью, за счет водной трансформации внутренней структуры зерна или его перераспределения в составе других «сочных» компонентов;

2.3) при получении требуемой степени измельчения фуражного зерна в составе корнеклубнеплодно-зерновых композиций обеспечивать доведение однородности в таких смесях до требуемой, со значением не менее 95 %;

2.4) иметь конструктивную особенность, обеспечивающую возможность оперативной перенастройки технического средства с режима пастоизготовления на режим получения гранул, с наличием измельчающего аппарата решетчато-ножевого типа.

Представленная на рисунке 1.1 схема классификации измельчителей-пастоизготовителей, разработанная на основе анализа известных конструкций, позволяет осуществить выбор рациональной конструктивной схемы измельчителя в направлении создания комбинированных малогабаритных технических средств, обеспечивающих получение паст и влажных гранулятов на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций.

При этом установлено, что на измельчении – пастоизготовлении скоблением, рубкой, ударом, резанием свеклы влажностью 77-79% энергоемкость находится в диапазоне 4,1-11,9 кДж/кг [48], а на измельчении - пастоизготовлении мясного и рыбного сырья – в пределах 0,0062-0075 кВт·ч/кг [48].

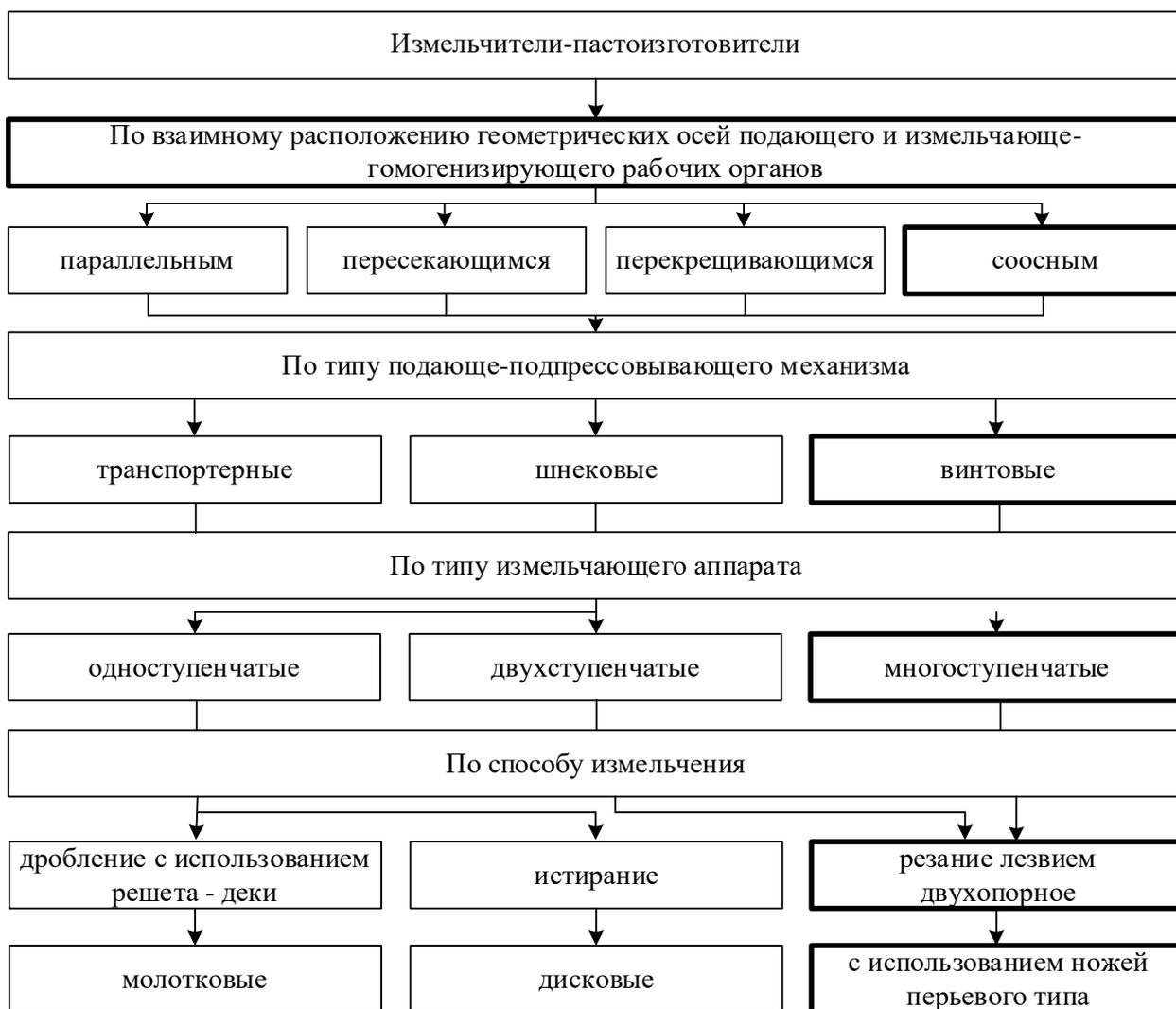


Рисунок 1.1 – Схема классификации измельчителей-пастоизготовителей

Определено, что в основу такого устройства должен быть положен принцип соосного расположения измельчающего аппарата решетчато-ножевого типа и гранулирующего узла, в соответствии с разработанными исходными требованиями.

1.2 Характеристика способов и технических средств для получения гранулированных продуктов

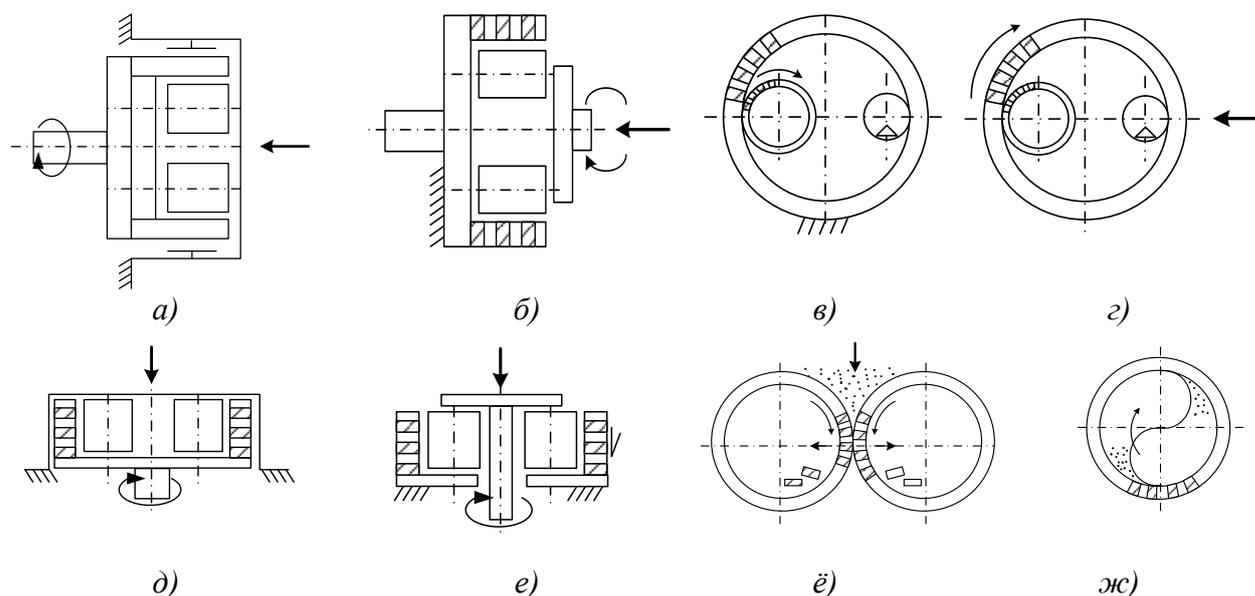
Известно, что технологический процесс изготовления гранул связан с определенными видами трансформации продукта, которые зависят от схемы устройства и его конструктивно-режимных параметров. При этом, они ока-

зывают существенное влияние на основные показатели, которые определяют величину значений критериев оценки технико-экономической эффективности. К ним относят:

- крошимость гранул, связанную с их прочностью;
- энергоемкость и металлоемкость процесса;
- производительность устройства [2, 36, 48, 50, 54, 55, 59-63, 72-93, 108-110].

При анализе конструкций и конструктивно-технологических схем грануляторов, в основу их анализа и классификации нами положен такой признак, как размещение геометрических осей подающего и прессующего рабочих органов в пространстве.

На сегодняшний день известно множество конструкций прессов, основными из которых являются прессы с кольцевой матрицей, которая может выполнена вращающейся и неподвижной, с вертикальным или горизонтальным ее расположением (рисунок 1.2) [2, 6, 24, 48, 54, 59-63, 108, 109, 134].



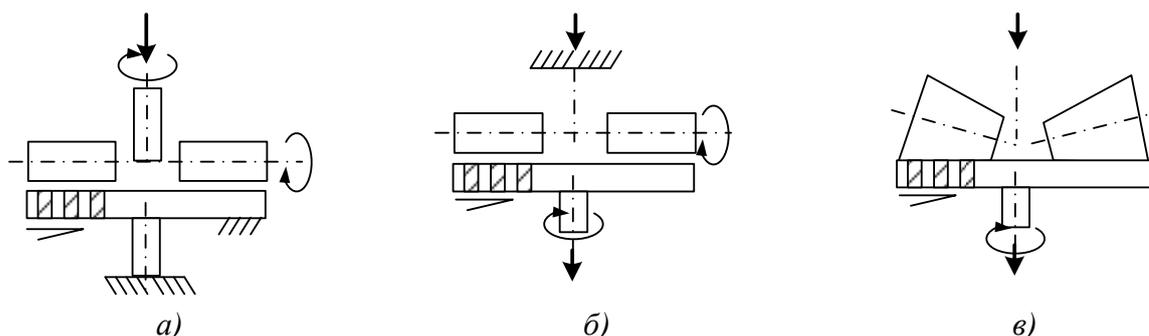
а, г, д, ж – с подвижной кольцевой матрицей соосные; *б, в, е* – с неподвижной кольцевой матрицей, с параллельным расположением осей; *ж* – с перекрещивающимися осями

Рисунок 1.2 – Схемы прессов с кольцевой матрицей

За рубежом мобильные и стационарные пресс-грануляторы с кольцевой неподвижной матрицей выпускают фирмы «Landel» и «John Deere» (США), с горизонтальной матрицей «Roussele» (Франция).

Штемпельные стационарные и передвижные прессы производят фирмы «MELEN» (Франция), «Taugrup» «Jnidrai» (Дания), «FAR» и «КАНЛ» (ФРГ).

На рисунке 1.3 представлены схемы прессов с дисковой матрицей и роликами, размещенными на ней, которые могут быть выполнены цилиндрическими и коническими.



а) с неподвижной матрицей и пересекающимися осями; б) с подвижной матрицей соосные; в) дисковые с коническими роликами, соосные
Рисунок 1.3 – Схемы дисковых прессов с роликами

Как показал анализ конструкций прессов с дисковой матрицей и цилиндрическими роликами, в них заложено кинематическое несоответствие, которое со всей очевидностью иллюстрирует рисунок 1.4.

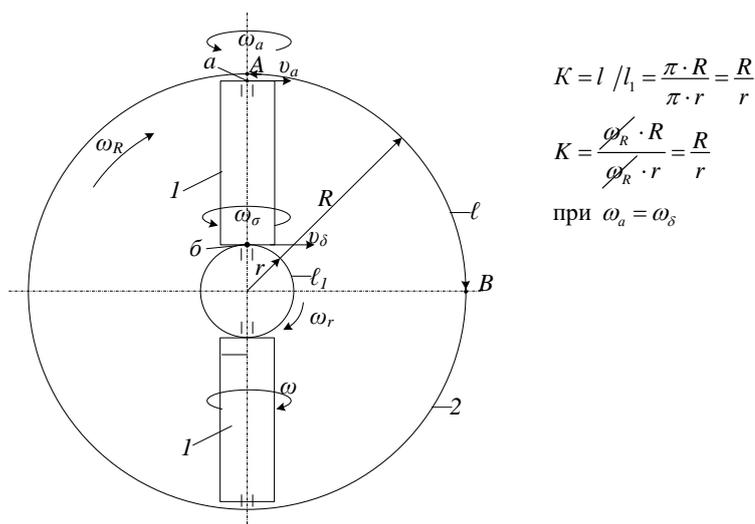


Рисунок 1.4 – Схема по обоснованию кинематического несоответствия в конструктивном решении прессы с дисковой матрицей и цилиндрическими роликами

Выявленное несоответствие характеризуется, так называемым, коэф-

фициентом – K , что приводит к существенному проскальзыванию роликов – I относительно дисковой матрицы – 2. В конечном итоге, это приводит к существенному износу кинематических звеньев I и 2 и, соответственно, к значительному непроизводительному расходу энергии.

С целью уменьшения данного недостатка, производители делают ролики-катки более короткими и располагают их на осях со смещением.

На наш взгляд, данная проблема решается путем использования вместо одного цилиндрического ролика, их набором на оси в количестве двух или трех штук, что позволяет значительно уменьшить величину K .

Кроме этого, есть техническое рациональное решение с использованием роликов конической формы (рисунок 1.3в).

Однако, производители в настоящее время выпускают прессы-грануляторы, выполненные по схемам 1.3 а и б.

Так, фирма ARTMASH выпускает прессы данной конструкции следующих марок: ГДР-125, ГДР-250, ГУ-15, соответственно с установленной мощностью электродвигателя – N – 2,2 кВт, 22,0 кВт и 18,0 кВт при производительности соответственно Q – 125 кг/ч, 250 кг/ч и 220 кг/ч.

Расчетом установлено, что энергоемкость гранулирования на предварительно измельченных зерновых смесях с сеной мукой, при их массе, равной в среднем 90 кг, составляет соответственно:

$$N_{y\partial} = 0,176 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}, 0,088 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг} \text{ и } 0,081 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}.$$

Фирма «ECOFRJCAJA» выпускает прессы марки PLT-100, при $N = 5$ кВт и $Q = 100$ кг/ч, с энергоемкостью равной $N_{y\partial} = 0,05 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$.

Фирма «Росэкструдер» выпускает прессы марки ZLSP с производительностью $Q = 150$ кг/ч и выше. При этом, мощность равна, $N = 3,0$ кВт, при массе 80-100 кг.

Для этого пресса расчетом установлено, что $N_{y\partial} = 0,05 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$.

Эта же фирма выпускает прессы марки «Гранд-300» с кольцевой матрицей, выполненные по типу Б6-ДГВ со следующими техническими данными-

ми: $N = 30$ кВт, $Q = 1,0$ т/ч, масса 800 кг и энергоемкостью равной $N_{уд} = 0,03$ кВт · ч/кг.

Анализ рабочего процесса данных прессов показал, что все они работают по принципу сухого прессования и только в комплекте с охлаждающей колонкой, обеспечивающей отвод влаги из готовых гранул, с целью повышения прочности гранул.

С их помощью также невозможно готовить пастообразные и гранулированные корма на основе корнеклубнеплодов и другого влажного сырья.

Известен смеситель-гранулятор для рыб серии СНГ-300 [55] по производству влажных гранул (рисунок 1.5).

Данный пресс относится к винтовым, имеющим дугообразную матрицу и кулачковый (трехгранный) продавливающий элемент (рисунок 1.5а). Его техническая характеристика: $N = 90$ кВт, $Q = 4,17$ т/ч. Кроме гранулирования, пресс осуществляет еще одну операцию – смешивание. Энергоёмкость данного пресса равна $N_{уд} = 0,0216$ кВт · ч/кг.

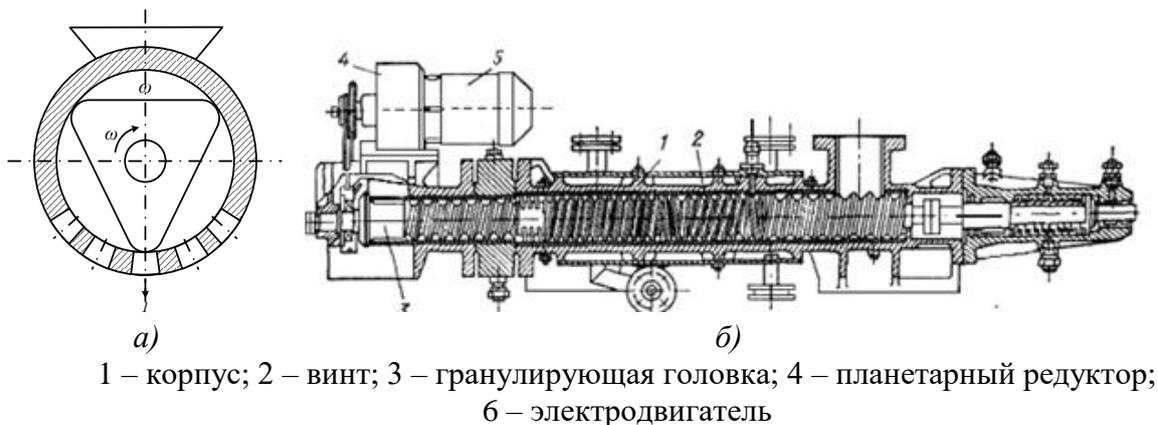


Рисунок 1.5 – Смеситель-гранулятор типа СНГ для влажного гранулирования корма для рыб [55]

Однако здесь не учитывается тот факт, что влажные гранулы подлежат сушке [55].

На рисунке 1.6 приведена конструктивно-технологическая схема пресса, разработанная к.т.н. Якименко А.В. в соответствии с патентом РФ № 2118105 [121].

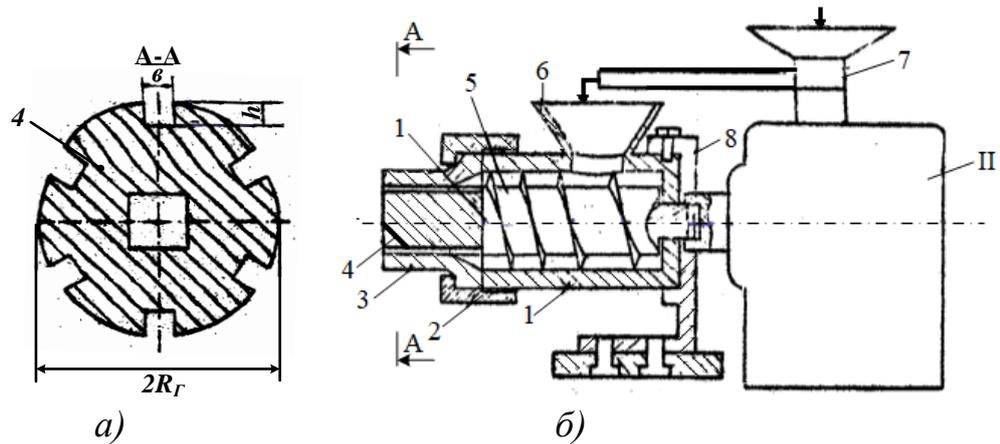


Рисунок 1.6 – Конструктивно-технологическая схема пресса конструкции к.т.н. Якименко А.В. [121] (обозначения в тексте)

Особенностью данной конструкции, является наличие вращающейся совместно с винтом, формирующей головки – 4, которая размещена в корпусе – 3.

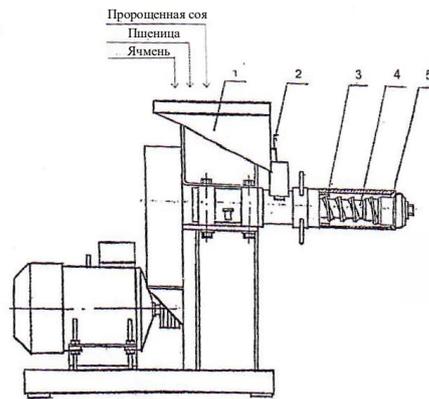
При этом, гранулы формируются посредством каналов квадратного поперечного сечения, равного $b \times h$ (рисунок 1.6а). По предложенной нами классификации он относится к прессам-грануляторам с соосным расположением осей.

В качестве недостатка следует отметить тот факт, что верхняя поверхность гранулы, равная длине формирующей головки – 4, взаимодействует с внутренней поверхностью корпуса – 3.

В результате этого, данный процесс сопровождается значительными нагревом, обусловленным силой трения и, в конечном итоге, непроизводительным расходом энергии.

Разработанный пресс был использован в линии приготовления продуктов на основе смеси стебельных и зерновых кормов [122-125].

В результате проведенной работы к.т.н. Петровым В.В. [115] разработан пресс для производства комбикормов-концентратов (рисунок 1.7).



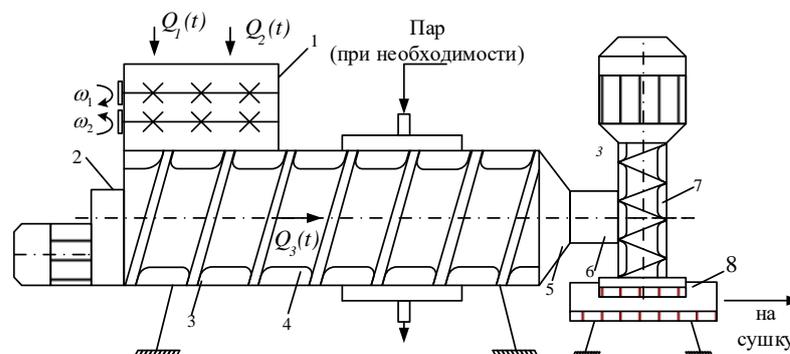
1 – бункер; 2 – заслонка; 3 – корпус камеры прессования; 4 – подающий шнек;
5 – кольцевая матрица

Рисунок 1.7 – Общий вид пресса для производства комбикормов-концентратов

Особенностью работы данного пресса, является получение гранул неправильной формы в виде крупки-экструдата. Он также относится к винтовым прессам с соосно размещенными геометрическими осями.

К.т.н. Макаровым В.А. [53] разработан пресс-гранулятор с пересекающимися геометрическими осями. Его параметры обоснованы на получении соево-сапропелевой белково-минеральной добавки (рисунок 1.8).

Особенностью работы данного пресса является возможность выполнения двух операций в одной машине по смешиванию и гранулированию смеси. При этом, во время смешивания сапропелевого компонента влажностью $W = 80\%$ и соевой муки, влажностью $12-14\%$, происходит кондиционирование соевой муки, за счет диффузии влаги в мучную среду с получением пасты, влажностью $W = 46,00-47,00\%$ и возможностью получения гранул малого диаметра [52, 53].

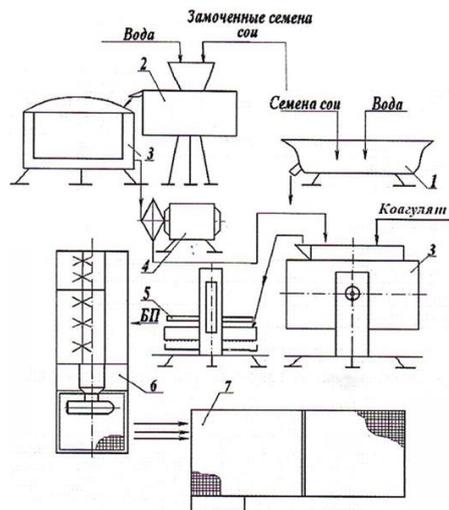


1 – смеситель-кондиционер; 2 – привод; 3 – камера; 4 – винт; 5 – коническая камера;
6 – цилиндрическая камера; 7 – формующий узел; 8 – лоток

Рисунок 1.8 – Схема смесителя-гранулятора

К недостаткам данного пресса можно отнести, тот факт, что с его помощью невозможно измельчение фуражного зерна или, например, композиций, содержащих фуражное зерно. В этой связи, требуется обязательное предварительное получение исходного компонента в виде муки.

Согласно исследованиям, проведенным к.т.н. Ковалевой Л.А. [42], предложена линия по производству белкового гранулята для его использования в кормлении цыплят (рисунок 1.9).



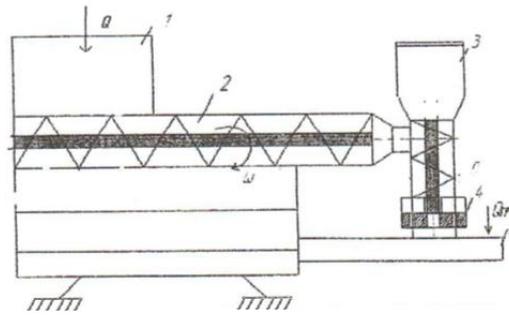
1 – емкость; 2 – измельчитель-экстрактор; 3 – котлы; 4 – насос; 5 – пресс;
6 – смеситель-гранулятор; 7 – сушильный шкаф; БП – белковый продукт

Рисунок 1.9 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления соевого гранулята для цыплят, разработанная к.т.н. Ковалевой Л.А. [43]

Базовой машиной в линии является смеситель-гранулятор – позиция 6 (рисунок 1.9). Особенностью данного смесителя-гранулятора является то, что ось винта, со стороны привода, выполнена со смещением, т.е. эксцентрично. Это позволило интенсифицировать процесс смешивания соевой белковой тестообразной массы с кальцийсодержащей минеральной добавкой [45].

В качестве недостатков данного технического решения можно отметить, что линия обеспечивает получение готового продукта только на использовании соевого белкового компонента, имеющего консистенцию тестообразной массы.

К.т.н. Бушуевым С.В., разработан гранулятор (рисунок 1.10), с помощью которого возможно приготовление кормовой добавки путем использования соевой муки и морской капусты – ламинарии [9].

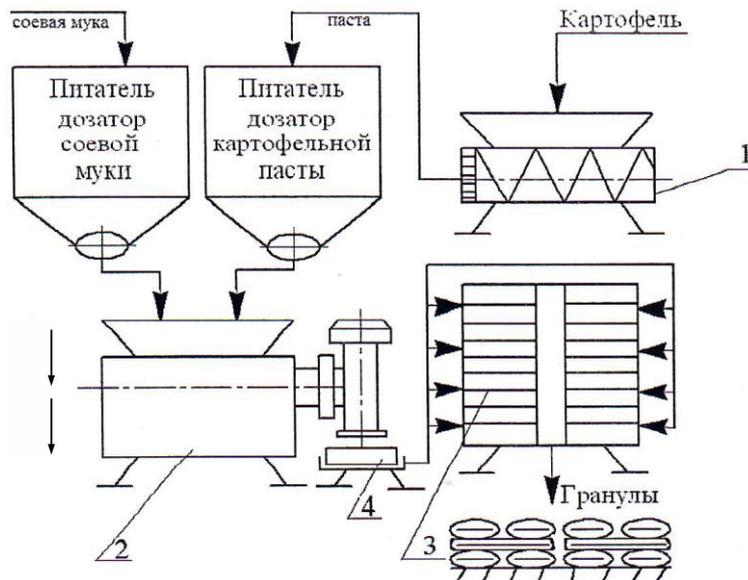


1 – загрузочная емкость; 2 – корпус; 3 – прессующее устройство;
4 – решетка-матрица; 5 – сетчатый лоток

Рисунок 1.10 – Конструктивно-технологическая схема гранулятора
конструкции к.т.н. Бушуева С.В. [9]

Преимуществом данной разработки является получение продукта в виде тестообразной массы, за счет относительного перераспределения частиц соевой муки и влажных частиц ламинариевой пасты, что приводит к усреднению значений их влажности. К недостаткам данного технического решения относится то, что пресс работоспособен только на смеси ламинариевой пасты и соевой муки.

Согласно исследованиям к.т.н. Зайцевой М.А., разработана линия по приготовлению соево-картофельного гранулята для рыб (рисунок 1.11) [37, 39].



1 – измельчитель-пастоизготовитель; 2 – смеситель-гранулятор;
3 – сушильный шкаф «Универсал»-ЭСПИС-4; 4 – сетчатый лоток
Рисунок 1.11 – Схема комплекта оборудования для приготовления (а) и
сушки (б) белково-углеводных гранул для рыб [38]

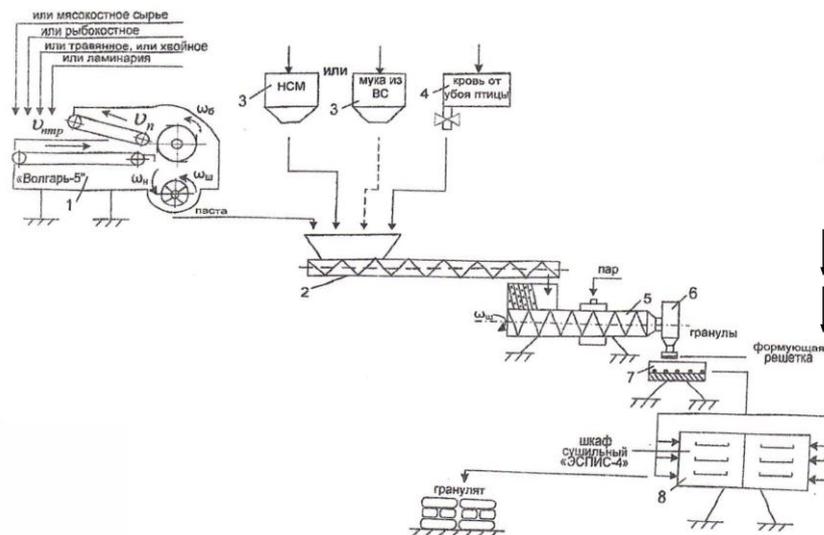
Разработанная конструкция гранулятора также относится к устройствам винтового типа с пересекающимся расположением геометрических осей.

Производственными испытаниями установлена относительно высокая технико-экономическая эффективность данной технологии и гранулятора при его работе на готовой пасте и соевой муке [37].

В данном направлении, доктором технических наук Воякиным С.Н., разработаны соответствующие технологические и технические решения получения добавки птице на основе мясокостного, рыбкостного отходового и других видов сырья (рисунок 1.12) [13-16].

Разработчиком также показана относительно высокая технико-экономическая эффективность данной технологии, реализуемой по схеме, включающей гранулятор – 6 (рисунок 1.12) винтового типа, выполненный по схеме с пересекающимися геометрическими осями подающего винта и гранулирующей головки.

Анализ данных технических решений показывает, что оборудование, предназначено для производства кормов, на основе соевой муки. В нем отсутствует возможность проведения дезинтеграции фуражного зерна в составе, например, картофельно-зерновых композиций.



1 – измельчитель; 2 – смеситель-усреднитель; 3 – дозаторы; 4 – емкость-дозатор;
5 – смеситель; 6 – пресс-гранулятор; 7 – лотковая емкость; 8 – камера сушильная «ЭСПИС-4-Универсал»; НСМ – необезжиренная соевая мука; ВС – отходоая фракция от переработки сои (вторичное сырье) [15]

Рисунок 1.12 – Схема линии по приготовлению кормовой добавки птице

Таким образом, как установлено анализом, в настоящее время существует множество конструкций прессов. Это обусловлено прежде всего конкретными условиями их использования на практике.

При этом, основным фактором, определяющим такое разнообразие конструкций, является вид кормового продукта, получение которого определяется прежде всего физико-механическими показателями и свойствами предварительно тонко измельченного исходного сырья с помощью специальных дробилок и измельчителей. От данных факторов зависят конструктивные особенности прессов, а также значения параметров и режимов их работы, существенно влияющие на их энергетическую эффективность и качество выполнения соответствующих процессов.

Так, энергоемкость приведенных комплектов оборудования, по данным [4, 9, 14, 53] находится в пределах 0,121-0,191 кВт·ч/кг.

При этом, актуальным является создание устройств с расширенными техническими возможностями, конструктивное исполнение которых позволяет путем оперативной перенастройки получать, например, пастообразные и гранулированные продукты.

На основе проведенного анализа конструкций прессов, разработана их классификация (рисунок 1.13) в соответствии с которой определено перспективное направление по их разработке и созданию для использования в системе кормления водоплавающей птицы – уток и гусей (на рис. 1.13 выделено).

При этом выявлено, что согласно исполненным конструктивным схемам грануляторов, т.е. с размещенными на одной оси винтом, измельчающим аппаратом и узлом гранулирования, установленного с возможностью его поворота, относительно специального кожуха, содержащего выгрузные окна, позволяют получать соответственно или пастообразный продукт или влажные гранулы.

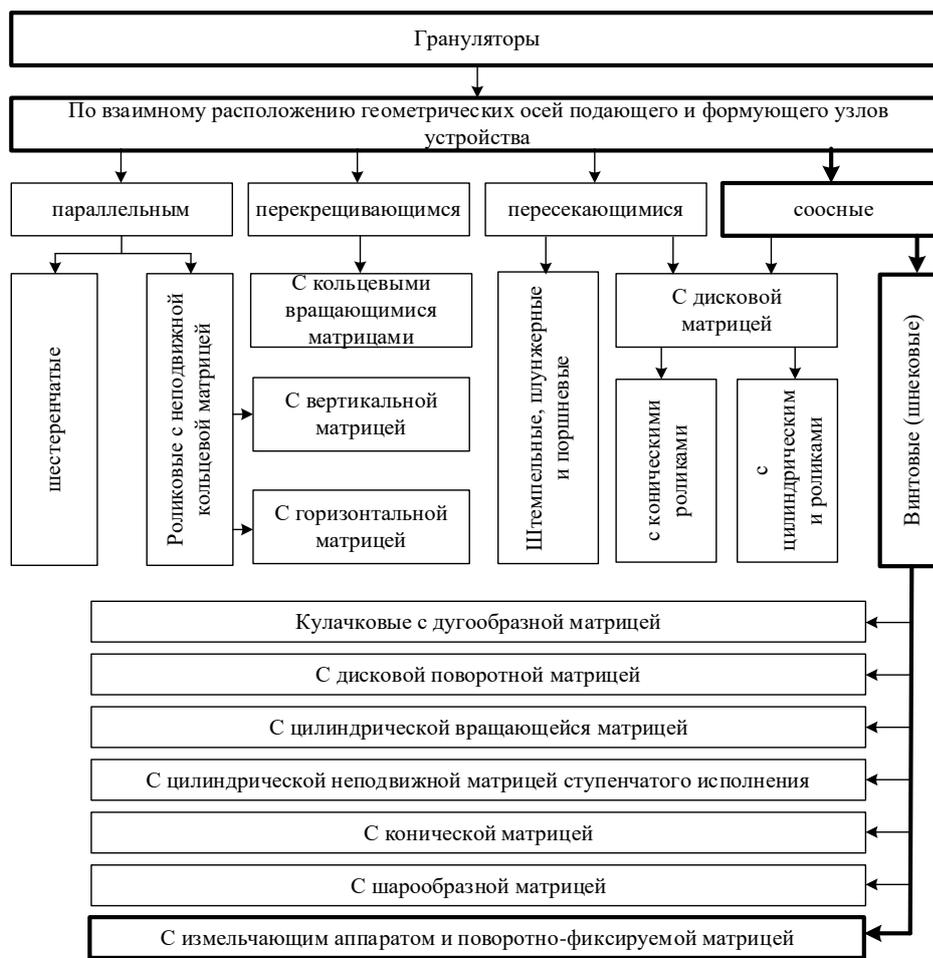


Рисунок 1.13 – Схема классификации грануляторов кормов

1.3 Обзор исследований по обоснованию параметров рабочих процессов получения пасты и гранулята

В результате проведенного анализа выявлено, что дезинтеграторы винтового типа, содержащие противорежущую решетку и перьевые ножи (рисунок 1.1), можно выделить в отдельную группу технических средств. В то же время они имеют возможность реализовать процесс тонкого измельчения зеленой стебельной массы и корнеклубнеплодов (ККП) с однородным составом частиц пасты при определенных условиях [36, 55, 61].

При этом, у данных устройств отсутствуют вращающиеся массы с большими значениями инерционных сил, что приводит к уменьшению потерь энергии при запуске машин в работу [55].

Такие устройства имеют конструктивно соосную схему, а их первым

отличием является то, что материал поступает к решетке и ножам, пересекая плоскость вращения, число которых в многоступенчатом исполнении может быть более четырех, а при таких обстоятельствах процесс измельчения переходит в стадию гомогенизации [41].

Второй особенностью является то, что питающим рабочим органом при данной схеме компоновки может быть только шнек или винт. Для такого типа режущего аппарата (решетчато-ножевого) только шнек или винт могут создать необходимые условия работы – работу в условиях объемного сжатия [36].

Анализом установлено, что данные условия в теоретическом плане не исследовались, а потому отсутствуют данные, характеризующие измельчающе-гомогенизирующий процесс с учетом показателя сжимаемости частиц исходных продуктов и сырья.

Третьей особенностью является то, что при такой конструктивной схеме работа всех структурных элементов устройства – шнека (винта), ножа и решетки должны быть согласованы по кинематическим параметрам - ω , ν , а также по их пропускной способности – Q [28].

При этом, в качестве основного сравнительного показателя эффективности работы измельчителей различного типа, д.т.н. Мельников С.В. [55] выделяет энергоемкость \mathcal{E}_u , с учетом достигнутой степени измельчения - λ

$$\mathcal{E}_u = N_{II} / Q \cdot \lambda, \quad (1.1)$$

где N_{II} – полезная мощность, т.е. мощность за вычетом потерь на осуществление холостого хода, кВт;

Q – производительность измельчителя, т/ч (кг/с).

Изучение рабочего процесса шнековых пастоизготовителей проводились Моисеенко В.С., Сысоевым И.В., Кузьмовым Н.Т. и рядом других ученых [36, 55].

Изучению рабочих режимов аппарата двухопорного резания, многоступенчатого типа посвящены работы Курьянова В.Д., Побединского В.М. и др. [55].

Инженерный расчет пастоизготовителей винтового типа предусматри-

вает определение пропускной способности Q_n и расход энергии – N .

$$Q_n = \psi_0 k_n / k_p, \quad (1.2)$$

где ψ_0 – коэффициент, учитывающий измельчающую активность аппарата ($\psi_0 = 0,7 \dots 0,8$); k_n – измельчающая активность ножа, $\text{м}^2/\text{с}$; k_p – площадь поверхности раздела при измельчении 1 кг корма, м^2 .

Измельчающая активность ножа равна

$$N_n = D^2 \omega_n z f_p / 8 = 0,125 \cdot D^2 \cdot \omega_n \cdot z \cdot f_p \quad (1.3)$$

где D – диаметр решетчатого ножа, м; ω_n – угловая скорость ножевого вала, рад/с; z – число ножевых перьев; f_p – коэффициент, учитывающий общую площадь отверстий решетчатого ножа;

Значение параметра k_p зависит от степени дезинтеграции и скорости движения продукта $k_p = 0,9 \dots 1 \text{ м}^2/\text{кг}$, а общая мощность равна:

$$N = (N_{изм} + N_{ув} + N_{хх}) / \eta, \quad (1.4)$$

где $N_{изм}$ – мощность процесса дезинтеграции, кВт; $N_{ув}$ – мощность привода винтового рабочего органа, кВт; $N_{хх}$ – мощность холостого хода, кВт; η – КПД трансмиссии ($\eta = 0,85 \dots 0,9$).

Мощность дезинтеграции:

$$N_{изм} = Q \cdot A_{изм}, \quad (1.5)$$

где $A_{изм}$ – удельная работа разрушения, кДж/кг.

По Н.Т. Кузьмову, для силоса значения $C_1 = 660 \text{ Дж/кг}$, $C_2 = 880 \text{ Дж/кг}$, при степени измельчения $\lambda = 9 \dots 10$, а мощность привода винтового рабочего органа:

$$N_{ув} = A_{ув} \cdot Q_n, \quad (1.6)$$

где $A_{ув}$ – удельный расход энергии на привод ножей и уплотнение измельченной массы шнеком (для силоса $A_{ув} = 14 \dots 15 \text{ кДж/кг}$) [55].

Согласно данным Моисеенко Г.С. [55], производительность пастоизготовителей зависит от совокупности следующих параметров:

$$Q = 0,125 \cdot d_0^2 \cdot z_0 \cdot h \cdot \rho \cdot \omega_n \cdot Z, \quad (1.7)$$

где d_0, z_0 – диаметр и число отверстий в решетчатом ноже, м;

h – величина перемещения пасты, продавливаемой через отверстия решетки за один оборот ножа, м;

ρ – плотность продукта в отверстиях решетчатого ножа, кг/м³.

Как установлено анализом, значение параметра - h аналитическим путем определить невозможно.

В этой связи, необходимо изыскать подходы, позволяющие исключить или решить эту проблему.

Анализ проведенных в данном направлении исследований показал, что отсутствуют данные, характеризующие значения плотности – ρ в промежутке между концом шнека (винта) и плоскостью решетки.

Отсутствие таких данных, зависящих от, так называемого, коэффициента сжимаемости, не позволяет получить аналитическую модель, характеризующую зависимость для определения давления, с учетом коэффициента сжимаемости исходного сырья, а также смешивающую способность измельчающего аппарата данного типа.

Данным фактом обусловлена невозможность выбора необходимого числа ступеней измельчения, определяющих степень однородности гомогенизированной массы, как по гранулометрическому составу, так и по смешивающей способности технической системы шнек (винт) → измельчающе-гомогенизирующий аппарат.

В то же время, исследования, проведенные д.т.н. Воякиным С.Н. [13-15], в отношении рабочих процессов измельчителей-пастоизготовителей касались в основном обоснования параметров первой ступени – грубого измельчения сырья.

В рамках исследований, проведенных к.т.н. Апеваловым О.В. [3, 4] получена зависимость степени сжатия продукта только в отношении пророщенных семян сои и то, в зависимости от конструктивно-режимных параметров пастоизготовителя с рабочим органом в виде кольцевой фильеры (в поперечном сечении).

Анализом известных исследований [32, 3, 5, 9, 10, 13-16, 37, 38, 40, 43-

45, 51,-53, 57, 70-71, 99, 107, 121] определено, что до настоящего времени также не изучены вопросы, связанные с возможностью управления процессом сглаживания колебаний значений по качественному и количественному содержанию частиц на отдельных участках пастоизготовителя, трансформирующего частицы исходного сырья в потоке.

В этой связи отсутствуют данные, характеризующие степень влияния однородности получаемой пастообразной массы на крошимость (прочность) гранул, при работе пастоизготовителя в режиме гранулятора и, в конечном итоге, на энергоемкость и металлоемкость процессов разрабатываемых пастоизготовителей-грануляторов.

При этом, в качестве основного сравнительного показателя эффективности работы прессов Алешкин В.Р. [2] выделяет показатель энергоемкости – $\mathcal{E}_П$ (кВт·ч/кг), учитывающий прочность получаемых монолитов – Pr (%):

$$\mathcal{E}_П = 100 \cdot N_{упл} / Q \cdot Pr, \quad (1.8)$$

где $N_{упл}$ – мощность на уплотнение, кВт;

Q – производительность, кг/ч.

Здесь показатель прочности, согласно данным, приведенным в работе [2], определяется как:

$$Pr = 100 - Kr, \%, \quad (1.9)$$

где Kr – крошимость гранул, %.

Исследованиям процесса гранулирования, в аспектах его взаимной связи с процессами измельчения-пастоизготовления, смешивания и усреднения влаги в композициях, посвящены работы Наумовича В.М., – в виде молекулярной теории и Дерягина Б.В. – в виде термодинамической теории прилипания [55].

Дальнейшие исследования по изучению процесса прессования, проводились к.т.н. Фарбманом Г.Я., д.т.н. Некрашевичем В.Ф., Подкользяным Ю.В. и другими учеными [48, 55].

Изучению процессов, связанных с получением гранул методом «влажного» прессования посвятили свои работы Полунина Н.И., Гриб В.К., Лысен-

ко В.И., Тюктяев И.Ш. и ряд других ученых [55].

Исследованию рабочего процесса получения гранул с использованием мучного соевого компонента, мясокостного и рыбокостного отходового сырья, а также растительного корнеклубнеплодного (тыквы, моркови, картофеля и др.) посвящены работы д.т.н. Воякина С.Н., кандидатов технических наук Якименко А.В., Петрова В.В., Макарова В.А., Ковалевой Л.А., Бушуева С.В., Зайцевой М.А. и других ученых [7, 8, 14, 15, 37, 38, 40, 43-45, 52-53, 115-117, 121, 125].

В рамках краткого обзора исследований по изучению процесса прессования исходного сырья, с различными физико-механическими и структурно-реологическими характеристиками, установлено следующее.

Так, исследования, касающиеся изучения рабочего процесса прессов с использованием кольцевых матриц серии ОГМ, ДГ-1 и др. трансформировались в схему, по которой работает пресс, выпускаемый ОАО «Ростпродмаш» с подачей от 8 до 11 т/ч на комбикормах и 2,5-4,5 т/ч на легковесном сырье, в зависимости от диаметра отверстий в матрицах (от 4,700 мм до 19,00 мм). Как указывает производитель, пресс может поставляться с автоматическим вводом пара, жира и мелассы и т.д.

Из приведенной характеристики вполне очевидным является тот факт, что необходимым условием для работы прессов с кольцевой матрицей является предварительное тонкое измельчение, как зернового пылеобразующего сырья, так и высоковлажного – травяного, подлежащего высокотемпературной сушке на специальных агрегатах (типа АВМ и т.д.).

При этом, прессы данного назначения некорректно относят к прессам, работающим по принципу «сухого» прессования, так как для осуществления процесса все равно необходимо проведение, так называемого кондиционирования паром, водой, мелассой и т.д. с помощью специальных устройств – кондиционеров [52, 53, 55].

Более того, они не работают на получении гранул диаметром менее 4,7 мм.

Вполне очевидно, что использование прессов данного типа не приемлемо в условиях малых предприятий, а отсутствие малоэнергоемких и металлоемких устройств, для получения гранул в условиях хозяйств малой производственной мощности, только усиливает монополию крупных производителей на производстве гранулированных кормов [30, 59].

Данным фактом обусловлена необходимость и целесообразность проведения работ по созданию прессов с малыми энергоемкостью и металлоемкостью и, как было установлено выше, с соосно размещенными подающе-винтовыми и прессующими узлами [37, 45, 52, 113, 122].

В данном направлении проводились исследования к.т.н. Якименко А.В., к.т.н. Петровым В.В., к.т.н. Макаровым В.А., к.т.н. Ковалевой Л.А., к.т.н. Бушуевым С.В., к.т.н. Зайцевой М.А., д.т.н. Воякиным С.Н. и другими учеными [37, 45, 52, 113, 115, 116, 117, 122, 124].

Так, к.т.н. Якименко А.В. обоснованы параметры пресса, позволяющего получать гранулы и брикеты квадратного поперечного сечения [122].

При этом, установлены особенности его работы на смесях стебельных и измельченных зерновых кормов, с получением зависимостей, характеризующих производительность и затраты энергии [123, 124].

Особое внимание автором уделено получению зависимости, характеризующей плотность на отдельных участках винта и вращающейся фильеры. Однако в полученных зависимостях отсутствуют данные о влиянии, так называемых статистических характеристик потока исходного сырья, а также показателя его сжимаемости на крошимость гранул и, соответственно, на энергоемкость устройства.

Исследованиями к.т.н. Петрова В.В. [115] установлено, что наиболее эффективно получение кормовых смесей на основе зерна с их баротермической обработкой.

В этой связи автором теоретически обоснована конструкция и параметры пресса, позволяющего получать гранулы в виде термообработанной крупки.

Конструкция данного пресса относится к так называемым, специальным устройствам, позволяющим термическим путем разрушать белки с антипитательными свойствами, характерными для семян сои.

В работе к.т.н. Макарова В.А. [51-53] обоснованы параметры процесса и пресса, для приготовления соево-сапропелевой, добавки с учетом структурно-механических и реологических характеристик данной композиции.

Полученные значения параметров носят частный характер, потому как в качестве, так называемого, кондиционирующего вещества использован сапропель, со своими специфическими характеристиками [53].

В результате исследований, проведенных к.т.н. Ковалевой Л.А., разработан пресс и обоснованы его параметры для получения белковой добавки для птицы [43-45].

Данные теоретические исследования были направлены на установление зависимости между однородностью смеси – $\Theta, \%$ и прочностью высокобелковых гранул – $Pr, \%$.

При этом, предложен смеситель в виде шнека со смещением его геометрической оси, обуславливающим дополнительные колебательные движения перемещаемой массы с целью повышения интенсивности смешивания. В результате этого обоснована величина, так называемого, эксцентриситета относительно геометрической оси шнека для получения пастообразного продукта в виде белкового коагулята, с введенным в него кальцийсодержащим ингредиентом.

При этом, нет данных об исходных параметрах входного потока, характеризующих однородность смеси, подаваемой в бункер.

Согласно данным, содержащимся в источниках [48, 55], установлено, что процесс гранулирования связан с увеличением плотности до $900,00 \text{ кг/м}^3$ за счет удаления воздуха. При этом возрастание плотности до $1200,00 \text{ кг/м}^3$ обусловлено нарастанием удельного давления, при котором также продолжается удаление воздуха и свободно связанной влаги, при этом материал начинает проявлять свойства упруго-вязкого тела.

Однако, с увеличением плотности гранул резко увеличиваются и затраты энергии. Снижение затрат энергии в 1,5-2,0 раза, по данным [48] возможно созданием оптимальных условий для сжатия конкретного вида материала: по влажности – W , %, по температуре – t° и коэффициенту трения – f_n , а также введением связующих веществ.

Производительность таких грануляторов определяется по формуле [48]:

$$Q = 3,6 \cdot k_1 \cdot \rho_r \cdot Z_p \cdot \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot n_0 \cdot v_r, \quad (1.10)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий площадь «живого сечения» кольцевой матрицы, имеющий конкретные значения по конкретным материалам, подлежащим прессованию; ρ_r – насыпная плотность гранул; Z_p – число прессующих роликов; d_0 , n_0 – диаметр и число отверстий в матрице; v_r – средняя скорость движения гранулы в отверстиях кольцевой матрицы, м/с.

Общими параметрами для прессов любых конструкций являются k_1 и v_r , однако их значения необходимо обосновывать в каждом конкретном случае.

При этом, Кукта Г.М. [48] отмечает, что очень важным является размер частиц, так как недостаточное измельчение стебельных продуктов приводит к резкому увеличению трения, нагреву и разрушению β -каротина, содержащемуся в травяной муке, а также быстрому износу матрицы и повышенным расходом энергии.

Авторами работы [48] указывается, что рациональным является: увеличение коэффициента k_1 (формула 1.11), исключение выдавливания продукта с внутренней рабочей поверхности кольцевых матриц, а также повышение эффективности кондиционирования исходного сырья.

Последняя рекомендация автора работы [48] вскрывает изначально заложенное в процесс работы такого типа грануляторов противоречие – вначале необходимо высушить зеленую массу до влажности 10-12 %, а затем увлажнить ее, да еще и ввести влажный связующий компонент. При этом указывается, что «сухое» гранулирование является менее затратным, по

сравнению с влажным, из-за необходимости сушки гранул.

Однако, по этой же схеме гранулирования требуется обязательное охлаждение относительно влажных и горячих гранул, с соответствующими затратами энергии, труда и средств [55].

К.т.н. Бушуевым С.В. [8, 9] проведены исследования рабочего процесса гранулирования с использованием соево-ламинариевой композиции.

При этом, установлена зависимость времени перераспределения влаги между условно сухим соевым компонентом, в виде муки из отходных фракций от переработки соевого зерна и влажным – пасты из ламинарии, от параметров гранулятора на основе явления диффузии.

В результате данного подхода обоснована необходимая длина подающего винта.

Данные исследования проводились без учета такого фактора, как исходная (начальная) однородность смеси в потоке, значения которой определяют качество смеси в конечном продукте – гранулах.

В результате исследований, проведенных к.т.н. Зайцевой М.А. [37, 38], изучен процесс получения гранулята для рыб на основе соево-картофельных композиций с обоснованием: показателя кинематического режима, определяемого, как отношение угловых скоростей подающего шнека и прессующего винта, равного 2,6-2,7, при соотношении соевая мука : картофельная паста, как 1 : 1.

Однако и в этой работе, автором не приведено данных, характеризующих трансформацию входного потока, с точки зрения однородности его состава.

Наиболее глубокие исследования, в направлении изучения процессов получения гранулята, проведены д.т.н. Воякиным С.Н. [36] При этом, автором изучена однородность трансформируемого потока с точки зрения диффузионного явления по перераспределению влаги в условно сухом компоненте – соевой муке и влажном – мясокостном, рыбкостном и кровяном.

В проведенных исследованиях существенное внимание обращалось на

числовые значения структурно-реологических характеристик в приготовляемых композициях и установлению их влияния на прочность (крошимость) получаемых гранул [13-15].

Однако и эти исследования не дают представления о так называемом коэффициенте сжимаемости продукта, от значений которого зависит качество получаемых пасты и гранул, а также возможность управления процессом, путем учета перераспределения частиц сырья и содержания влаги в формуемых композициях.

Следует добавить, что все исследователи, в конечном итоге, выходили на положительный результат по энергоемкости, превосходящий аналоги в виде пресс-грануляторов с кольцевой матрицей. При этом, показатель по металлоемкости не определялся.

Отсутствуют также данные по приготовлению пастообразных кормов на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций с помощью измельчающего аппарата решетчато-ножевого типа.

Так, в своих работах [48-50] Куктой Г.М., Голиковым В.А., и др. установлено, что показатель однородности смешивания компонентов в смесителях непрерывного действия, зависит от величины и равномерности их подачи, а также от степени измельчения – λ .

При этом, для горизонтального двухвального винтового смесителя, при его производительности в интервале 23,8-39,1 т/ч, длине смесителя $L_0=1,8$ м и частоте вращения валов $n_g=145$ мин⁻¹, однородность смеси составила 70,6 – 81,1 %.

Установлено, что основное влияние на производительность смеси оказывает диаметр винта – D , м., и плотность кормов – ρ , кг/м³, а на неоднородность смеси – частота вращения винта – n_g , мин⁻¹, рекомендуемое значение которой составляет $n_g = 180-210$ мин⁻¹.

При этом, зависимость $v = f(n_g)$ носит экспоненциально убывающий характер.

Анализом, по имеющимся данным [3, 4, 9, 14, 15, 37, 44, 48-50, 52, 123]

также установлено, что вопросы, связанные с возможностью оценки выравнивающей способности устройств рассматриваемого назначения, по качественным и количественным характеристикам, не решены в полной мере.

И пастоизготовители и грануляторы винтового типа имеют шнек или винт, сопряженный или с измельчающим аппаратом, или компрессионной камерой, которые обладают способностью к перераспределению частиц между собой, при их транспортировке, уплотнении, а также, при измельчении, только в случае доведения сырья до гомогенной структуры.

Такая трансформация продукта, при его прямопоточном перемещении, обеспечивает повышение однородности конечного продукта в определенной степени.

Однако до настоящего времени степень повышения однородности, по сравнению с исходной (в виде смешивающей способности пастоизготовителя с решетчато-ножевым аппаратом) не установлена, что требует проведения специальных исследований с получением аналитических моделей по оценке степени повышения однородности смесей в соево-тыквенных и картофельно-зерновых композициях при их подаче, измельчении и гомогенизации, а также влияния однородности и степени измельчения на крошимость сушеных гранул.

1.4 Выводы, цель и задачи исследований

Проведенный анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Установлено, что рентабельность производства продукции, в условиях предприятий малой мощности по выращиванию гусей и уток, может быть более высокой при всех равных прочих условиях, если затраты труда, энергии и средств в системе их кормления будут снижены, путем использования рациональных подходов по организации приготовления и заготовке кормов на основе местного сырья (соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций) с использованием малогабаритных технических средств, обеспечива-

ющих получение кормовых продуктов по форме и содержанию, отвечающих физиологии организма данных видов птицы, с качеством, отвечающим зоотехническим требованиям;

2. В результате анализа существующих рецептов, предназначенных для кормления гусей и уток, в зависимости от способов их сезонного содержания, целесообразно использовать корма в пастообразной и гранулированной формах, на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций.

С учетом данных особенностей, существует необходимость в создании малогабаритных технических средств, обеспечивающих получение кормовых продуктов пастообразной физической формы в летний период и заготовки в этот же период гранулированных кормов на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций, для использования их в зимний период.

Анализом также установлено, что специальные технические средства с расширенными техническими возможностями, позволяющими готовить пастообразные и гранулированные продукты требуемой однородности и крошимости с помощью одной машины, путем оперативной перенастройки режимов ее работы, в настоящее время отсутствуют в системе кормления водоплавающей птицы (гусей и уток).

При этом, компоновка комплектов кормоприготовительного оборудования, из числа однооперационных машин и машин одного назначения, не адаптированных к особенностям содержания гусей и уток, не дает желаемого результата в рамках повышения удельной энергетической эффективности процесса приготовления кормов на основе местного тыквенного, корнеклубнеплодного, зернового, зернобобового и других видов сырья, продуктов переработки и отходов;

Энергоемкость пастоизготовителей с решетчато-ножевым аппаратом составляет 0,0062 кВт·ч/кг и более, а дисковых грануляторов (min) – 0,02 кВт·ч/кг, при степени измельчения до 100 ед.

3. На основе разработанных выше исходных требований, в рамках системы кормления водоплавающей птицы, учитывающей сезонный, физиоло-

гический и климатический факторы, определено направление в создании технических средств с измельчающим аппаратом решетчато-ножевого типа, адаптированных к отмеченным выше специфическим условиям выращивания гусей и уток;

4. На основе проведенного анализа существующих конструкций пастоизготовителей винтового типа, а также пресс-грануляторов, установлено, что рациональной компоновочной схемой пастоизготовителя-гранулятора может быть схема с соосным расположением геометрических осей рабочих органов измельчителя решетчато-ножевого типа и гранулятора.

В качестве достоинств такой компоновки, по сравнению с прессами, имеющими кольцевую или дисковые матрицы выделено то, что используя принцип прямопоточности, появляется возможность с меньшими затратами металла и энергии осуществлять выполнение трех взаимноувязанных процессов – подачи, с частичным перемешиванием сырья. многостадийного тонкого измельчения с дополнительным перераспределением частиц между собой посредством решетчато-ножевого аппарата и последующим уплотнением полученных композиционных смесей при их формовании;

5. Анализом ранее проведенных исследований также установлено, что в настоящее время отсутствуют научно-обоснованные данные, необходимые для проектирования и конструирования технических средств по трансформации соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций в пасту и гранулы и, в частности:

- при каких значениях начальной однородности смеси в тыквенно- и корнеклубнеплодно-зерновых композиционных системах, можно получить однородность смеси, соответствующую заданным требованиям на уровне 95 %;

- какие значения степени измельчения для таких композиций могут быть получены, а также вид зависимостей, характеризующих данный показатель от угловой скорости винта, диаметра отверстий решетчатого ножа, их количества и оптимальные значения величин, необходимые для расчета про-

изводительности и энергоемкости предложенного устройства;

- какое значение имеет оптимальная угловая скорость винта, для получения требуемой пропускной способности (производительности) предложенного устройства;

- каковы оптимальные значения показателя однородности смеси в соево-тыквенных и картофельно-зерновых композициях, а также степени измельчения с установлением характера зависимости их влияния на крошимость гранул, получаемых методом влажного гранулирования.

Для установления характера данных зависимостей, а также оптимальных значений параметров, необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования с последующим установлением степени их сходимости.

Рабочей гипотезой для решения частной технической задачи является предположение о том, что снижение удельных энергетических показателей по процессу приготовления влажных 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 гомогенизации 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.

В соответствии с поставленной целью необходимо решение следующих **задач**:

1. Разработать структурно-функциональную схему малогабаритного пастоизготовителя-гранулятора винтового типа;
2. Разработать математическую модель, оценки удельной энергетиче-

ской эффективности предложенного технического средства;

3. Теоретическим путем получить аналитические зависимости, характеризующие взаимосвязь технологических и конструктивно-режимных параметров с обоснованием производительности, мощности и энергоемкости на осуществление процессов получения пасты и гранулята на основе соевых 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 по проектированию и расчету пастоизготовителя-гранулятора для условий малых ферм по выращиванию гусей и уток.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ

2.1 Разработка структурно-функциональной схемы пастоизготовителя-гранулятора винтового типа

Получение структурированно-формованных кормовых продуктов, путем трансформации исходного сырья и смесей на его основе, является необходимым технологическим процессом, позволяющим иметь оперативное количество продукта к моменту кормления птицы, а также резервный запас кормов, при экономичном использовании складских помещений, исключения их запыленности, а также наличия удобства при выдаче животным, с обеспечением требуемой точности дозирования.

Однако, все эти достоинства достигаются дополнительными затратами энергии и материальных средств.

Анализом, проведенным в первой главе, установлено, что качество смеси в пастообразной физической форме оценивается их однородностью, с учетом степени измельчения, а качество гранулированных кормовых продуктов оценивается их прочностью Pr , %, через установление показателя крошимости Kp , %, согласно равенству (1.10).

Многочисленными исследованиями [2, 48, 54-56, 63, 103] показано, что на выбор конструктивно-режимных параметров и показателей работы устройств и оборудования для получения гранул, основное влияние оказывают свойства исходного сырья и компонентов, а решающее значение имеют объемные, поверхностные и сдвиговые.

Первые включают в себя физико-механические (размеры, форма, состояние поверхности и внутреннюю структуру сырья). Их оценку проводят по наличию плотности, пористости, влажности и т.д.

Вторые включают способность и особенности их взаимодействия с рабочими органами машины и оборудования, посредством такого явления, как трение (внешнее и внутреннее), связанные с общим перемещением и относительным движением частиц. Их оценку проводят по значениям коэффициента трения (внешнего и внутреннего).

Третьи включают в себя сдвиговые реологические свойства, такие как способность к сопротивлению деформации, разрушению и т.д. Их оценку проводят по значениям напряжений нормального и касательного, предельного напряжения сдвига, вязкости, степени релаксации (уменьшения внутренних напряжений).

Проведенный анализ позволяет установить исходные требования к разрабатываемому технологическому процессу и техническим средствам по его реализации с относительно меньшими затратами труда и средств, а также требуемыми показателями качества работы. К таким требованиям отнесены:

- 1) обеспечение требуемой производительности, обусловленной численностью поголовья птицы;
- 2) получение качественных продуктов, в виде пасты и гранул на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций, различного диаметра с показателями однородности, степени измельчения и прочности (крошимости) не ниже требуемых;
- 3) обеспечение относительно низких показателей по энергоемкости и металлоемкости;
- 4) выполнение нескольких операций в результате реализации процесса;
- 5) иметь возможность получения не менее двух видов продуктов - пасты и гранулята, на основе соево-тыквенной, картофельно-зерновой и других видов композиций, путем оперативной перенастройки технического средства.

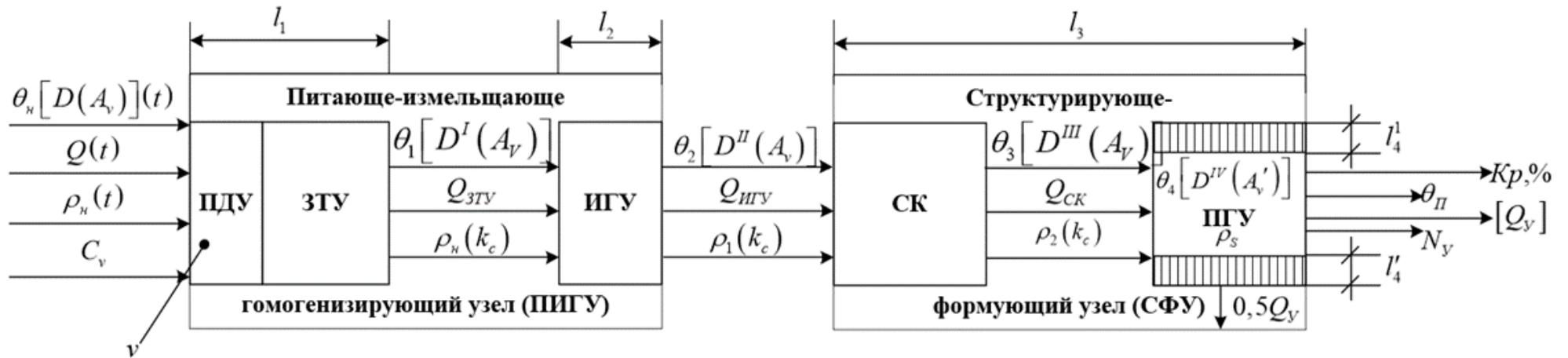
На рисунке 2.1 представлена классификация способов, позволяющая наметить пути по разработке перспективных технических решений в искомом направлении;

На рисунке 2.2 структурно-функциональная схема пастоизготовителя-гранулятора;

На рисунке 2.3 – схема обоснования конструктивно-режимных параметров процесса трансформации кормового потока в виде смеси исходного сырья, на основе соево-тыквенной и картофельно-зерновой композиции с измельчающим аппаратом решетчато-ножевого типа.



Рисунок 2.1 – Схема классификации способов и технических средств по приготовлению структурированно-формованных продуктов



ПДУ – приемно-дозировующий узел; ЗТУ – захватывающе-транспортирующий узел; ИГУ – измельчающе-гомогенизирующий узел; СК – структурирующая камера; ПГУ – прессующе-гранулирующий узел;

$$Q(t) \leq Q_{ПДУ} \leq Q_{ЗТУ} \leq Q_{ИГУ} \leq Q_{СВ} \leq \frac{Q_{III}}{Q_{ГУ}} = [Q_y]$$

$[Q_y]$ – требуемая (заданная) производительность кг/с; N_y – мощность, кВт, θ_{II} – однородность пасты, %;

Kp – крошимость гранул, %;

Рисунок 2.2 – Структурно-функциональная схема пастоизготовителя-гранулятора

2.2 Разработка математической модели оценки процесса получения продуктов в виде пасты и гранул

На первом этапе исследований, на основе соответствующего анализа потоковой системы принимаем, что процесс трансформации продукта с точки зрения его оптимальности, может быть охарактеризован следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} \text{- для пастоизготовления:} \\ \mathcal{E}_{\text{пш}} = 100 \cdot N_{\text{пш}} / \theta \cdot \lambda \cdot Q_{\text{пш}} \rightarrow \min; \\ \text{при } \theta = f \{ \lambda [\rho (k_c)] \} \geq [\theta]; \\ \text{- для гранулирования:} \\ \mathcal{E}_G = N_G / Q_G \rightarrow \min; \\ \text{при } Kp = f(\theta, \lambda) \leq [Kp] \end{array} \right\}, \quad (2.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пш}}$, \mathcal{E}_G – показатели удельной энергетической эффективности процессов, кВт·ч/кг;

$N_{\text{пш}}$, N_G – мощность по принятым процессам, кВт;

λ – степень измельчения, ед.;

$Q_{\text{пш}}$, Q_G – производительность устройства на пастоизготовлении и гранулировании, кг/ч;

ρ – плотность продукта, кг/м³;

k_c – коэффициент сжимаемости продукта;

θ , Kp – показатели однородности смеси и крошимости гранул, соответствующие зоотехническим требованиям – $[\theta]$, %, $[Kp]$, %.

Необходимость и целесообразность создания устройства, в виде пастоизготовителя-гранулятора обусловлена фактом того, чтобы данное техническое средство позволяло удовлетворять не только текущую потребность птицы в определенном продукте – пастообразном, но и обеспечивать производство гранул, путем оперативной перенастройки режимов работы.

При этом, производство гранул, позволяет обеспечить их определенный запас, а также увеличить степень использования технологического обо-

рудования, которое в определенные периоды времени простаивает.

Данный подход позволяет повысить показатели эффективности работы технических средств системы кормления водоплавающей птицы.

Анализ системы уравнений (2.1), с наложенными на нее ограничениями и принятой в качестве математической модели оценки работы устройства, указанного назначения, показывает, что все приведенные в ней зависимости подлежат раскрытию по их внутреннему содержанию и физической сути.

Так, зависимость $Kp = f(\theta) \rightarrow \min$ носит общий вид, а потому на основе определённых подходов, необходимо установить внутреннюю взаимосвязь параметров, характеризующих количественную и качественную стороны составляющих показателей – $Kp, \%$ и $\theta, \%$.

Взаимосвязь между крошимостью – Kp и однородностью – θ , в кормовых системах, создаваемых на основе совокупности мучного и тыквенного сырья, а также картофельного и зернового, вполне очевидна – крошимость гранул всегда меньше, чем выше однородность распределения частиц в объеме единичной гранулы.

При этом, также известным является тот факт, что чем меньший размер имеют частицы и более плотной является их так называемая «укладка» в определенном объеме, тем более однородным и более плотным (менее крошимым) оказывается любое прессованно-формованное изделие.

На основе изложенного можно записать, что

$$\Delta Kp_i = -\psi \cdot Kp \cdot \Delta \theta, \quad (2.2)$$

где ΔKp – снижение крошимости;

ψ – коэффициент пропорциональности;

$\Delta \theta$ – элементарный прирост однородности распределения частиц в определенном объеме продуктовой композиции.

При этом, произведение $\psi \cdot \Delta \theta$, при размерности ψ в $(\%)^{-1}$ показывает долю влияния $\Delta \theta$ на снижение доли показателя ΔK_i от достигнутого текущего значения K_{pi} .

Разделив обе части равенства (2.2) на $\Delta\theta$ получаем, что

$$\frac{dKp}{d\theta} = -\psi \cdot Kp_i \quad (2.3)$$

Полученное равенство есть дифференциальное уравнение, в котором знак минус показывает, что зависимость является убывающей.

Разделив также обе части равенства (2.3) на ΔKp и перейдя к пределу при ΔKp , получаем $-\frac{d\theta}{dKp} \cdot \psi \cdot Kp_i = 1$

или

$$\frac{d\theta}{dKp} = -\frac{1}{\psi \cdot Kp_i} \quad (2.4)$$

Интегрирование данного уравнения дает

$$\theta = -\frac{1}{\psi} \ln Kp_i + C_1 \quad (2.5)$$

С учетом того, что постоянная интегрирования $C_1 = \frac{1}{\psi} \ln C$ можно записать

$$\theta = \frac{1}{\psi} \ln \frac{C}{Kp_i} \quad (2.6)$$

При $C = Kp_K$, где Kp_K – конечное значение показателя крошимости получаем

$$\theta = \frac{1}{\psi} \ln \frac{Kp_K}{Kp_i} \quad (2.7)$$

Решением равенства (2.7) относительно показателя Kp , является следующее уравнение

$$Kp_i = Kp_K \cdot e^{-\psi\theta} \quad (2.8)$$

Анализ зависимости (2.8) показывает, что при $\theta \rightarrow \max$ (100 %) $e^{-\psi\theta} = \frac{1}{e^{\psi\theta}} \rightarrow 0$, а $Kp_i \rightarrow Kp_K \approx 0$, т.е. она имеет экспоненциально-убывающий характер, параметры которых необходимо установить экспериментально.

На следующем этапе теоретических исследований, необходимо установить зависимость $\theta = f(\rho) \rightarrow \max$ (система уравнений (2.1)).

Показатель однородности определяется через такие статистические характеристики, как дисперсия – $D(A_V)$, а также среднеквадратическое отклонение случайной величины – $\sigma = \sqrt{D(A_V)}$.

В нашем случае, кормовой поток можно представить, как стационарную случайную функцию колебаний содержания, так называемого, «контрольного компонента», обозначенного символом A_V , в котором его «разброс» описывается корреляционной функцией – $K_{A_V}(\tau)$ [12].

При этом, пастоизготовитель-гранулятор, далее – устройство, как техническая система (рис. 2.2) осуществляет трансформацию продукта в виде непрерывного кормового потока, который в обоих режимах характеризуется подачей или пропускной способностью, кг/с

$$Q_y = V \cdot \rho_i / t_i, \quad (2.9)$$

где V – объем обрабатываемого продукта, м³;

ρ_i – плотность продукта на соответствующем участке, кг/м³;

t_i – время рабочего процесса на соответствующем участке, с.

Принятой оценкой качества смеси является ее однородность, которая на каждом из четырех принятых участков (рис. 2.2) определяется как:

$$\theta = 1 - \left[\sqrt{D^i(A'_V)} \right] / Q_y, \quad (2.10)$$

где $D^i(A'_V)$ – дисперсия (кг/с)²;

A'_V – символ, определяющий, что оценка проводится по наличию контрольного компонента A в единичном объеме – V .

Зависимость изменения плотности – ρ , от коэффициента сжимаемости – k_c установим, используя следующий подход. С учетом того, что с увеличением значения этого коэффициента, плотность увеличивается в исходном уравнении (2.3) знак «минус» заменяется на «плюс».

В этой связи, закон изменения плотности имеет вид:

$$\rho_i = \rho_n \cdot e^{\beta_1 \cdot k_{ci}}, \quad (2.11)$$

где ρ_n – начальные (исходные) значения плотности на каждом из принятых участков потока, длиной l_i ;

β – эмпирический коэффициент.

При этом, согласно определению, данному в источнике [112], коэффициент сжимаемости равен отношению изменения коэффициента пористости – $\Delta \varepsilon_1$ к величине действующего давления – P .

Следует отметить, что в рассматриваемом устройстве (рис. 2.2), на каждом из четырех участков длиной $l=l_i$ пористость продуктов изменяется в зависимости от приложенного давления $P=P_i$ на каждом из участков длиной l_i .

При аналитическом рассмотрении процесса изменения значений плотности продукта при воздействии на него, соответственно управляемых и неуправляемых факторов, полагаем, что скорость приращения значений коэффициента сжимаемости – k_c , относительно пористой системы взаимно связанных частиц, постоянна и, тогда его дифференциальное уравнение имеет вид

$$\frac{dk_c}{dt} = \varphi k_c, \quad (2.12)$$

где φ – эмпирический коэффициент, характеризующий условия трансформации продукта при нахождении его в относительно замкнутой системе.

Данное уравнение имеет решение в виде следующей зависимости

$$k_c = k_{cH} \cdot e^{\varphi t}, \quad (2.13)$$

где k_c , k_{cH} – текущее и начальное значения показателя сжимаемости продукта.

При действии определенных факторов, обусловленных свойствами и показателями исходного продуктового потока, оказывается соответствующее влияние на прирост показателя – коэффициента сжимаемости – k_c .

С учетом данного факта, дифференциальное уравнение имеет вид

$$\frac{dk_c}{dt} = \varphi \cdot k_c \cdot (k_{c_K} - k_c), \quad (2.14)$$

где $\varphi \neq 0$, а $k_{c_K} > k_c$; а k_{c_K} – конечное значение показателя – коэффициента сжимаемости.

При таких условиях уравнение, характеризующее относительную скорость прироста значений данного коэффициента, имеет вид

$$k_c^{-1} \cdot \frac{dk_c}{dt} = \varphi (k_{c_K} - k_c) \quad (2.15)$$

Соответствующие преобразования дают следующие выражения

$$\begin{aligned} dk_c / [k_c (k_{c_K} - k_c)] &= \varphi \cdot dt \quad \text{или} \\ \int dk_c / [k_c (k_{c_K} - k_c)] &= \varphi t + C \end{aligned} \quad (2.16)$$

и, тогда

$$\int dk_c / [(dk_{c_K} - k_c)] = k_{c_K}^{-1} \int [k_c^{-1} + (k_{c_K} - k_c)]^{-1} = k_{c_K}^{-1} \cdot \ln k_c (k_{c_K} - k_c) \quad (2.17)$$

Решением данного уравнения является следующее равенство

$$k_{c_K}^{-1} \cdot \ln k_c (k_{c_K} - k_c)^{-1} + k_c^{-1} \cdot \ln k_{c_H} = \varphi t, \quad (2.18)$$

где составляющая $k_c^{-1} \cdot \ln k_{c_H}$ равна C (уравнение (2.16)).

Соответствующее преобразование зависимости (2.18) дает, что

$$k_c (k_{c_K} - k_c)^{-1} = e^{k_{c_K} \cdot \varphi t} \quad (2.19)$$

или

$$k_{c_H} \cdot k_c = (k_{c_K} - k_c) \cdot e^{k_c \cdot \varphi t}, \quad (2.20)$$

а также

$$k_c = k_{c_H} + e^{k_{c_K} \cdot \varphi t} = k_c \cdot e^{k_c \cdot \varphi t} \quad (2.21)$$

или

$$k_c = k_{c_K} + e^{k_c \cdot \varphi t} \cdot (k_{c_H} + e^{k_c \cdot \varphi t})^{-1} \quad (2.22)$$

Дальнейшие преобразования уравнения (2.22), дают зависимость, характеризующую закон изменения коэффициента сжимаемости за весь цикл

трансформации продукта $t_u = \sum_{i=1}^4 l_i / v_{cp}$, где l_i – длина пути на каждом из структурных элементов системы (рис. 2.2); v_{cp} – скорость перемещения продукта

$$k_{c_i} = k_{c_k} \cdot \left\{ 1 + k_{c_H} \cdot \exp \left[-k_{c_k} \cdot \varphi \left(\sum_{i=1}^4 l_i / v_{cp} \right) \right]^{-1} \right\} \quad (2.23)$$

Анализ данной зависимости показывает, что значение k_c изменяется по экспоненте. При этом, на его величину оказывает влияние длина каждого из принятых участков (рисунок 2.2), а также скорость продольного перемещения продукта в устройстве.

Данную зависимость можно принять в качестве математической модели опосредованной оценки трансформации продукта в принятой потоковой системе.

Анализ зависимости (2.23) показывает, что при значении правой составляющей, после знака плюс, равном нулю, показатель $k_c = k_{c_k}$ стремится к своему предельному значению.

В рассматриваемой системе (рисунок 2.2), предложенное устройство (рисунок 2.3) работает в непрерывном режиме по двум схемам:

- в режиме пастоизготовления;
- в режиме гранулирования.

При этом, в бункер 1 устройства подается продуктовая композиция с какой-то начальной однородностью смеси – θ_H , % – $[D(A_V)]$, (рисунки 2.2 и 2.3), которая определяется согласно формулам

$$\theta_H = 100 - \left[100 \cdot \frac{\sigma}{Q_V} \right] = 100 - \left[100 \cdot \frac{\sqrt{D(A_V)}}{Q_V} \right] \rightarrow 100 \% \quad (2.24)$$

или

$$\theta_H = 1 - \frac{\sigma}{Q_V} = 1 - \frac{\sqrt{D(A_V)}}{Q_V} \rightarrow 1, \quad (2.25)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

$D(A_V)$ – дисперсия отклонений контрольного компонента;

Q_V – средняя масса пробы, взятой из расчета за 1 секунду.

Данным показателем оценивается качество смеси, состоящей из двух или более компонентов. Для нашего случая, это двухкомпонентная смесь на основе мучного и высоковлажного – корнеклубнеплодного (ККП), содержащего углеводы, минеральные вещества и витамины.

При этом, согласно принятой схеме, предварительно измельченные высоковлажные ККП в составе с мучным компонентом, полученным на основе зерновых или зерно-бобовых культур с однородностью, равной $\theta_H(t)$, подаются в бункер-питатель – 1 устройства (рисунок 2.2), объемом V , м^3 с производительностью равной $Q(t)$, кг/с , для создания, так называемого компенсационного объема V_K , м^3 .

Захватывающей частью винта – 4 устройства, смесь подается в непрерывном режиме, в начале в измельчающе-гомогенизирующий узел (ИГУ) – 5 устройства, а затем, в так называемую, структурирующую камеру – 6 формирующе-гранулирующего узла – 7 устройства.

В результате реализации данного процесса, в непрерывном режиме, происходит трансформация смеси по консистенции, в направлении дополнительного разрушения частиц ККП, перераспределения влаги со стороны ККП к мучному компоненту, с последующим получением пастообразной гомогенной массы с соответствующим значением влажности – от начальной $W_H = 80\%$ и до конечной $W_K = 40\%$, которая зависит от соотношения мучного – (A_V) и корнеклубнеплодного – (B) компонентов.

Согласно принятой схеме, в бункер ПДУ (рисунок 2.2) поступает поток предварительно полученной композиции с определенным содержанием, например, компонента, равным $A_V(t)$, плотностью – ρ_n , кг/м^3 , однородностью, равной $\theta_H(t)$ и подачей $Q_M(t) = Q_{ЗГУ}(t)$.

На выходе из ПИГУ (рисунок 2.2), трансформированный поток характеризуется следующими показателями:

$$\theta_H [D(A_V)] < \theta [D'(A_V)] \geq [\theta] \quad (2.26)$$

и

$$Q_V(t) = Q_{3TV}(t) \quad (2.27)$$

При данных условиях реализации рабочего процесса устройства, его дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\frac{V \cdot \rho_H}{Q_V(t)} \cdot \frac{dA'_V(t)}{dt} + A'_V(t) = A_V(t) \quad (2.28)$$

При условии, что $Q_{3TV} = Q_V$ данное уравнение может быть представлено как:

$$\frac{M}{[Q_V]} \cdot \frac{dA'_V(t)}{dt} + A'_V(t) = A_V(t) , \quad (2.29)$$

где M – масса подаваемого продукта, кг, равная $V \cdot \rho$, при которой $\frac{V \cdot \rho_H}{[Q_V]} = t$,

где t , равно времени трансформации потока по однородности состава и свойств, а $[Q_V]$ – заданная (требуемая) производительность устройства, кг/с.

Данное уравнение в операторной форме имеет вид [12]

$$[t \cdot p + 1] \cdot A'_V(p) = A_V(p), \quad (2.30)$$

а передаточная функция $W(p)$, принятой на исследование системы со стационарным случайным процессом $A_V(t)$, описываемым корреляционной функцией $K_{A_V}(\tau)$:

$$W(p) = \frac{A'_V(t)}{A_V(t)} = (t \cdot p + 1)^{-1} \quad (2.31)$$

Данный стационарный процесс, пройдя соответствующие стадии трансформации, также является стационарным, а потому характеризуется спектральной плотностью – $S_A(\omega)$ и дисперсией $D(A_V) = \sigma^2(A_V)$, где $\sigma(A_V)$ – среднеквадратическое отклонение содержания компонента A_V в объеме принятой пробы [12].

Для спектральной плотности [12] имеем, что

$$S'_{A_V}(\omega) = [W(j \cdot \omega)]^2 \cdot S_{A_V}(\omega) = \left[\frac{1}{t \cdot j \cdot \omega + 1} \right]^2 \cdot S_{A_V}(\omega) = \frac{S_{A_V}(\omega)}{t^2 \cdot \omega^2 + 1} \quad (2.32)$$

Для корреляционной функции случайного стационарного процесса [12]:

$$K'_{A_V}(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S'_{A_V}(\omega) \cdot \cos \omega \cdot \tau \cdot d\omega = 2 \int_0^{\infty} \frac{S_{A_V}(\omega)}{t^2 \cdot \omega^2 + 1} \cdot \cos \omega \cdot \tau \cdot d\omega \quad (2.33)$$

где τ – интервал корреляции.

Дисперсию $D'(A'_V)$ на выходе из ЗТУ определим, приняв в уравнении (2.33), $\tau = 0$ и, тогда

$$D'(A'_V) = 2 \int_0^{\infty} \frac{S_{A_V}(\omega)}{t^2 \cdot \omega^2 + 1} = \sigma'^2(A'_V) \quad (2.34)$$

Представим данное уравнение через корреляционную функцию $K'_{A_V}(\tau)$ исходного процесса $A_V(t)$, путем замены $S_{A_V}(\omega)$ на значение $\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} K_{A_V}(\tau) \cdot \cos \omega \cdot \tau \cdot d\tau$ и, тогда

$$D'(A'_V) = \sigma^2(A'_V) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \left\{ \frac{1}{t^2 \cdot \omega^2 + 1} \int_0^{\infty} K_{A_V}(\tau) \cdot \cos \omega \cdot \tau \cdot d\tau \right\} \cdot d\omega \quad (2.35)$$

Преобразуем данное уравнение к следующему виду:

$$D'(A'_V) = 2\pi^{-1} \int_0^{\infty} \left\{ K_{A_V}(\tau) \int_0^{\infty} \frac{\cos \omega \cdot \tau}{t^2 \cdot \omega^2 + 1} \cdot d\omega \right\} \cdot d\tau \quad (2.36)$$

С учетом того, что второй интеграл в уравнении (2.36) соответствует табличному [34], имеем его решение в виде $\frac{\pi}{2\beta} \cdot e^{-a\beta}$.

Подставив данное значение в уравнение (2.36), получаем выражение, характеризующее дисперсию выходного (преобразованного) потока:

$$D'(A'_V) = \frac{[Q_V]}{V_1 \cdot \rho_n \cdot k_c} \cdot \int_0^{\infty} K_{A_V}(\tau) \cdot e^{\frac{\tau \cdot [Q_V]}{V_1 \cdot \rho_n \cdot k_c}} \cdot dA_V, \quad (2.37)$$

где $[Q_V]$ – заданная производительность устройства, кг/с;

V_1 – объем продукта в ЗТУ, м³;

ρ_n – начальная плотность продукта, кг/м³;

k_c – коэффициент сжимаемости, определяемый по формуле (2.22).

Для экспоненциальной корреляционной функции входного потока на

выходе устройства имеем [12]

$$K'(\tau) = \frac{D(A_V) \left(e^{-\alpha|\tau|} - t \cdot \alpha \cdot e^{-\frac{|\tau|}{t}} \right)}{1 - t^2 \cdot \alpha^2}, \quad (2.38)$$

где α, β – параметры корреляционной функции, учитывающие характер ее убывания и колебания.

При $t = 0$, уравнение (2.38) имеет вид

$$K'(\tau) = D_H(A_V) \cdot e^{-\alpha|\tau|}, \quad (2.39)$$

т.е. корреляционная функция выходного потока $K'(\tau)$ равна дисперсии входного потока – $D_H(A_V)$.

На рис. 2.3 представлен вид корреляционной функции, согласно зависимости (2.39)

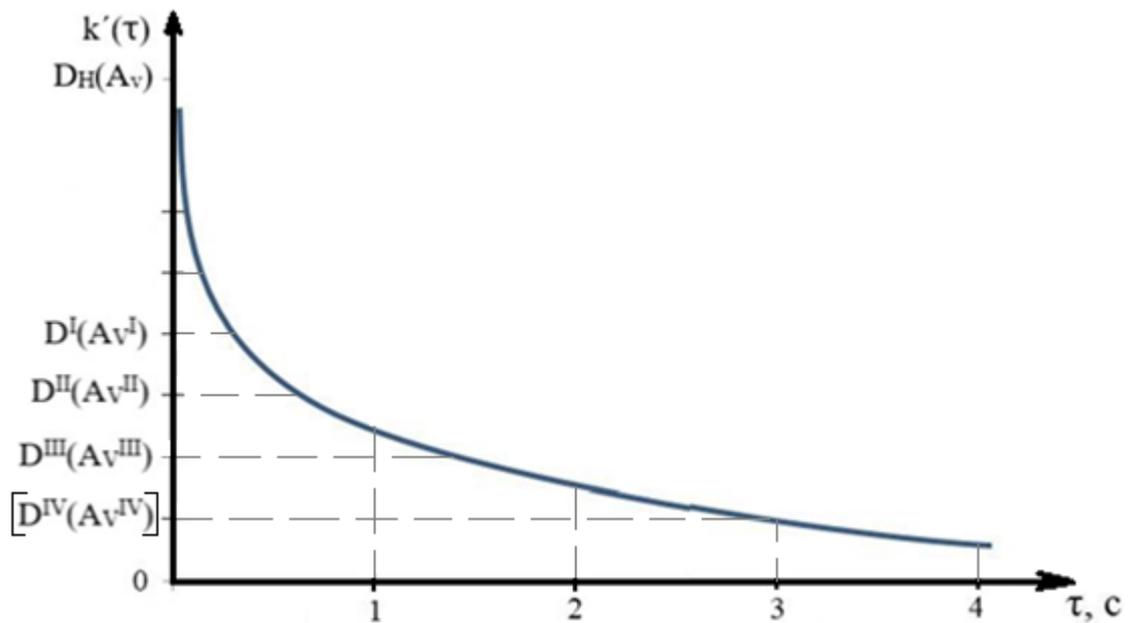


Рисунок 2.3 - К обоснованию вида корреляционной функции при интервале корреляции $\tau = l_i / v_i$, с. (рис. 2.2)

В соответствии с рис. 2.3. преобразование уравнения (2.39) дает

$$D'(A'_V) = \frac{D_H(A_V)}{1 + \alpha \left(V_1 \cdot \rho_n \cdot k_{c_i} / Q_{3TY} \right)}, \quad (2.40)$$

где α – показатель, характеризующий интенсивность относительного перераспределения составляющих композиции (смеси) с учетом их влажности, имеющий размерность c^{-1} .

Тогда, для однородности смеси - Θ_I , на конце участка l_1 (для трансформирующей способности ЗТУ) имеем, что

$$\theta_1 = 1 - \frac{\sqrt{D'(A'_V)}}{Q_{ЗТУ}} < 1 \quad (2.41)$$

Для значения дисперсии $D''(A''_V)$ в конце участка l_2 (для трансформирующей способности ИГУ) получаем:

$$D''(A''_V) = \frac{D'(A'_V)}{1 + \alpha(V_2 \cdot \rho_1 \cdot k_{c_1} / Q_{ИГУ})} \quad (2.42)$$

и

$$\theta_2 = 1 - \frac{\sqrt{D''(A''_V)}}{Q_{ИГУ}} < 1 \quad (2.43)$$

Аналогично запишем для конца участков l_3 и l_4

$$D'''(A'''_V) = \frac{D''(A''_V)}{1 + \alpha(V_3 \cdot \rho_2 \cdot k_c / Q_{СК})}; \quad (2.44)$$

$$\theta_3 = 1 - \frac{\sqrt{D'''(A'''_V)}}{Q_{СК}} < 1; \quad (2.45)$$

$$D^{IV}(A^{IV}_V) = \frac{D'''(A'''_V)}{1 + \alpha(V_4 \cdot \rho_3 \cdot k_c / Q_{ИГУ})}; \quad (2.46)$$

$$\theta_4 = 1 - \frac{\sqrt{D^{IV}(A^{IV}_V)}}{Q_{ИГУ}} \rightarrow 1 \quad (2.47)$$

Для треугольной корреляционной функции [12]

$$K'(\tau) = \frac{D(A_V)}{2 \cdot t} \left[|t - \tau| + |t + 1| - 2|\tau| + t \left(e^{-|t-\tau| \cdot \frac{1}{t}} + e^{-|t+\tau| \cdot \frac{1}{t}} - 2e^{-|\tau| \cdot \frac{1}{t}} \right) \right] \quad (2.48)$$

При $t = 0$ и $|\tau| \leq t = V \cdot \rho_H / Q_V$ уравнение (2.48) соответствует выражению

$$K'(\tau) = D(A_V) \cdot \left(1 - \frac{|\tau| \cdot Q_V}{V_1 \cdot \rho_H \cdot k_c} \right) \quad (2.49)$$

где $D(A_V)$ – дисперсия входного потока; V_1 – объем перерабатываемой порции за один рабочий цикл устройства, м³; $|\tau|$ – интервал корреляции, с.

При $\tau = 0$ дисперсия на выходе ЗТУ (конец участка l_1) определится как:

$$D'_{\Delta}(A'_V) = D_{\Delta}(A_V) \left\{ 1 - (V_1 \cdot \rho_n \cdot k_c / Q_{3TV})^{-1} \cdot \left[1 - e^{-\frac{1}{(V_1 \cdot \rho_n \cdot k_c / Q_{3TV})}} \right] \right\}, \quad (2.50)$$

где $D_{\Delta}(A_V)$ – дисперсия входного потока.

Для однородности смеси в конце участка l_1 (рисунки 2.2 и 2.3)

$$\theta_{\Delta_1} = 1 - \frac{\sqrt{D'_{\Delta}(A'_V)}}{Q_{3TV}} < 1; \quad (2.51)$$

Для значений дисперсии в конце участков l_2, l_3, l_4 соответственно:

$$D''_{\Delta}(A''_V) = \frac{D'(A'_V)}{1 + \alpha(V_2 \cdot \rho_1 \cdot k_c / Q_{ИГУ})}; \quad (2.52)$$

$$\theta_{\Delta_2} = 1 - \frac{\sqrt{D''_{\Delta}(A''_V)}}{Q_{ИГУ}} < 1; \quad (2.53)$$

$$D'''_{\Delta}(A'''_V) = \frac{D''(A''_V)}{1 + \alpha(V_3 \cdot \rho_2 \cdot k_c / Q_{СК})}; \quad (2.54)$$

$$\theta_{\Delta_3} = 1 - \frac{\sqrt{D'''_{\Delta}(A'''_V)}}{Q_{СК}} < 1; \quad (2.55)$$

$$D^{IV}_{\Delta}(A^{IV}_V) = \frac{D'''(A'''_V)}{1 + \alpha(V_4 \cdot \rho_3 \cdot k_c / Q_{ИГУ})} \geq [D^{IV}_{\Delta}(A^{IV}_V)]; \quad (2.56)$$

$$\theta_{\Delta_4} = 1 - \frac{\sqrt{D^{IV}_{\Delta}(A^{IV}_V)}}{Q_{ИГУ}} \rightarrow 1 \geq [\theta_{\kappa}]. \quad (2.57)$$

где $[\Theta]$ – допустимая по зоотребованиям однородность смеси, равная 95,0 %.

Анализ полученных моделей, в виде уравнений (2.40 – 2.47) и (2.50 – 2.57) показывает, что дисперсия колебаний качественного состава продукта, подлежащего трансформации с помощью винта, ножей и посредством СК, уменьшается, а однородность состава повышается, что характеризует, так называемую, смешивающую способность устройства $\gamma = D_{\Delta}(A_V) / D^{IV}(A^{IV}_V)$.

В соответствии с формулами (2.56) и (2.57) проведены расчеты, исходя из известного значения дисперсии, которая при $[\Theta] = 95\%$ равна, путем решения следующего равенства –

$$[D^{IV}(A^{IV}_V)] = 25,0 \cdot 10^{-6} \text{ (кг/с)}^2, [95\%] = \left(1 - \frac{\sqrt{25 \cdot 10^{-6}}}{0,1 \text{ кг/с}} \right) \cdot 100\%, \text{ где } 0,1 = Q_{ИГУ},$$

кг/с.

Затем, по формулам (2.54), (2.52) и (2.50) были определены значения остальных дисперсий на соответствующих участках l_i . Получены их числовые значения, а также график теоретической зависимости $\theta = f\left(\sum_{i=1}^4 l_i\right)$ приведены на рисунке 2.4.

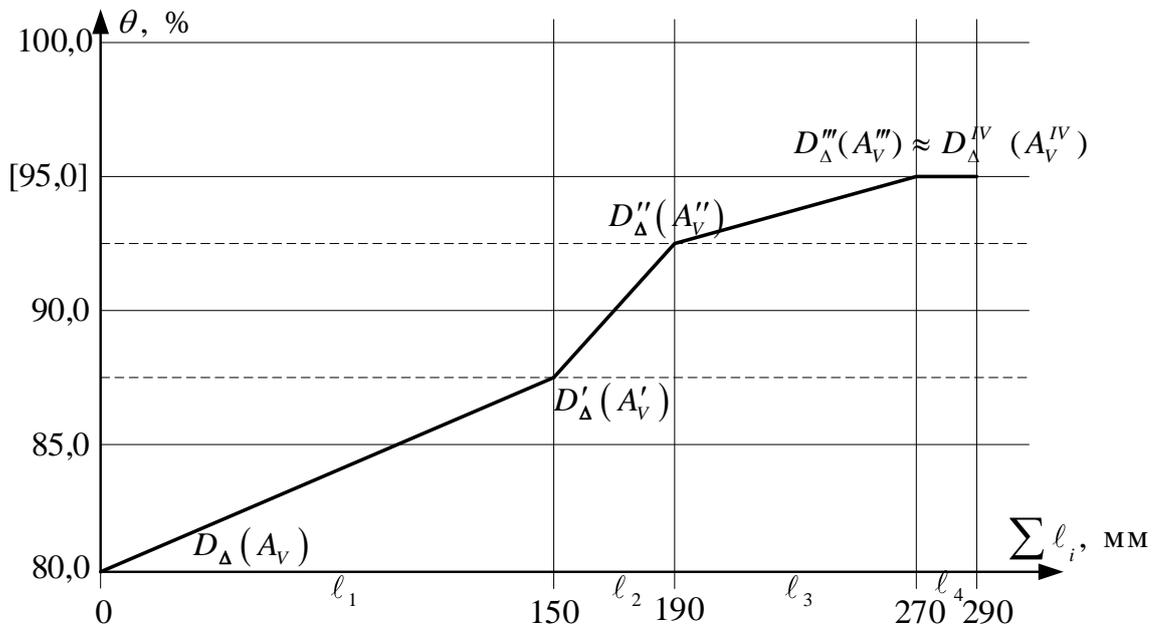


Рисунок 2.4 – График теоретической зависимости $\theta = f\left(\sum_{i=1}^4 l_i\right)$ при соответствующих значениях дисперсии $D_\Delta(A_V)$:

$$D_\Delta(A_V) = 4,00 \cdot 10^{-4} (\kappa z / c)^2; \quad D'_\Delta(A'_V) = 156,25 \cdot 10^{-6} (\kappa z / c)^2;$$

$$D''_\Delta(A''_V) = 56,25 \cdot 10^{-6} (\kappa z / c)^2; \quad D'''_\Delta(A'''_V) \approx D''''_\Delta(A''''_V) = 25 \cdot 10^{-6} (\kappa z / c)^2$$

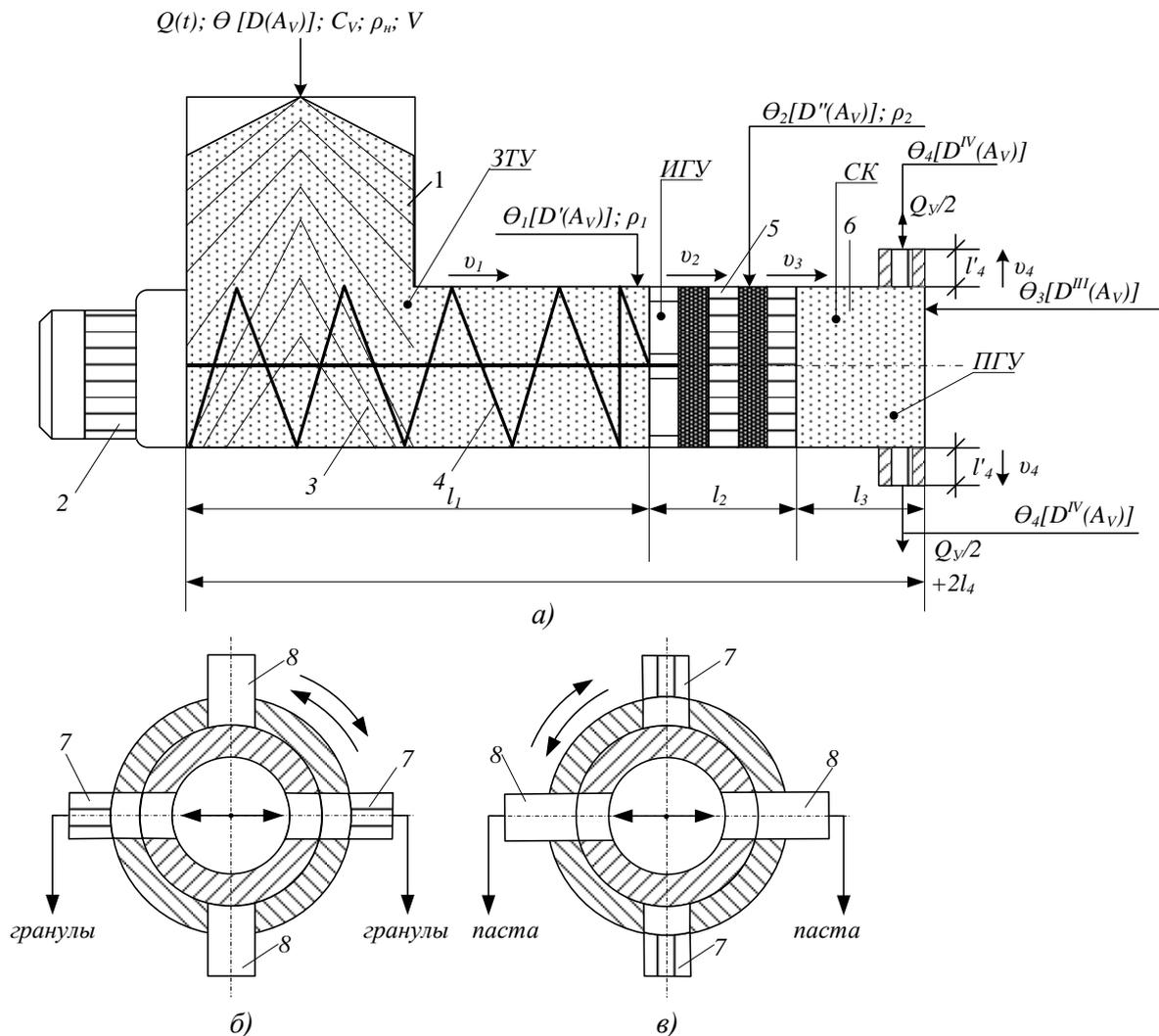
По полученным данным, для $D_\Delta(A_V) = 4,00 \cdot 10^{-4} (\kappa z / c)^2$ и $D''''_\Delta(A''''_V) = 25 \cdot 10^{-6} (\kappa z / c)^2$ установлено, что смешивающая способность данного устройства равна $\gamma_D = 4,00 \cdot 10^{-4} / 25 \cdot 10^{-6} = 16,0$ по дисперсии.

Таким образом, на основании проведенных расчетов, установлено, что требуемое значение однородности смеси в [95 %] может быть достигнуто при ее исходном значении на подаче в устройство, равном 80 %. Уменьшить требования к значению однородности смеси во входном потоке возможно, путем увеличения значений l_1 и l_2 (рисунок 2.4) в конструкции пастоизготовителя-гранулятора или выполнить бункер – 1 (рисунок 2.5) в виде смесителя.

2.3 Теоретическое обоснование производительности, технологических и конструктивно-режимных параметров пастоизготовителя-гранулятора

Теоретическое обоснование параметров загрузочно-транспортирующего узла устройства.

На рисунке 2.5 представлена схема к обоснованию параметров предложенного устройства.



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

Рисунок 2.5 – Схема к обоснованию конструктивно-режимных параметров процесса выравнивания колебаний качественного состава входного потока на основе белково-витаминно-минеральной композиции (соевый мучной компонент +тыква + Са или картофель + фуражное зерно);

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

Пропускная способность на каждом из принятых участков l_i (рисунок 2.2 и 2.5) определяется из условия неразрывности потока:

$$[Q_V] \leq Q_{ЗТУ} \leq Q_{ИГВ} \leq Q_{СВ} \leq Q_{ПН} \leq Q_{ГВ} \quad (2.58)$$

Для каждого из структурных элементов устройства справедливо следующее условие:

$$F_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \leq F_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 \leq F_3 \cdot \rho_3 \cdot v_3 \leq F_4 \cdot \rho_4 \cdot v_4, \quad (2.59)$$

где $F_1 - F_4$ – площади поперечного сечения на соответствующих участках $l_1 - l_4$, м²;

$\rho_1 - \rho_4$ – плотность продукта на соответствующих участках, кг/м³;

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

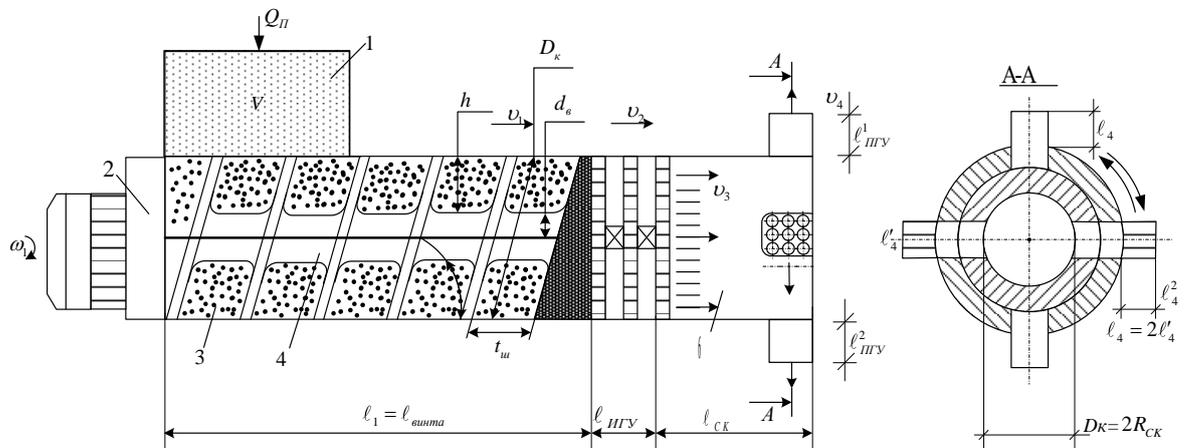
Для обоснования производительности устройства и его параметров используем следующие подходы.

Для захватывающе-транспортирующего узла ПГ взаимосвязь параметров определяется формулой общего вида, в соответствии с рисунком 2.6:

$$Q_{ЗТУ} = F_g \cdot \rho_1 \cdot v_1, \quad (2.60)$$

где F_g – площадь поперечного сечения продукта, транспортируемого винтом, принятого за кольцо, м².

При этом, ρ_1 определяется согласно формуле (2.11) с учетом выражения (2.24), а скорость движения продукта v_1 принимаем равной $v_{ср}$, значение которой можно получить, используя следующий подход.



1 – бункер; 2 – привод; 3 – корпус винта; 4 – винт; 5 – решетчато-ножевой аппарат (измельчающе-гомогенизирующий узел); 6 – структурирующий узел (компрессионная камера); 7 – пастогранулирующий узел

Рисунок 2.6 – Конструктивно-технологическая схема пастоизготовителя-гранулятора

Для обоснования значения скорости перемещения смеси компонентов, в пределах принятых участков l_1, l_2, l_3 и l_4 ее трансформации, запишем уравнение кинетики смешивания в следующем виде:

$$[D(A_V)]^{1/2} = [D_{\kappa'}(A_V)] + \{[D_{\text{н}}(A_V)]^{1/2} - [D(A_V)]\} \cdot e^{-t_i/k_i}, \quad (2.61)$$

где $D(A_V)$ – текущее значение дисперсии;

$D_{\text{н}}(A_V)$ и $D_{\kappa'}(A_V)$ – начальное и конечное значение дисперсии колебаний потока;

t_i – продолжительность трансформации потока на соответствующем участке;

k_i – коэффициент, характеризующий интенсивность трансформации потока на соответствующем участке и имеющий размерность времени, с.

Значение показателя $D(A_V)$ в идеале должно стремиться к нулю, а потому:

$$D(A_V) = \psi D_{\kappa'}(A_V) \leq [D(A_V)], \quad (2.62)$$

где ψ – эмпирический коэффициент, равный 1,05 – 1,10 [48].

$[D(A_V)]$ – допускаемое значение дисперсии.

Преобразование уравнения (2.62) относительно продолжительности трансформации – t_i на соответствующих участках l_i , с учетом уравнения (2.47) приняв, что $D_{\kappa}(A_V) = D^{IV}(A_V^{IV})$, а $t_i = \sum_{i=1}^4 l_i / v_{\text{cp}}$, где v_{cp} – средняя скорость перемещения продукта рабочими органами пастоизготовителя-гранулятора, м/с дает его следующий вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^4 l_i}{v_{\text{cp}}} = k_{t_i} \cdot \ln \frac{\{[D(A_V)]^{1/2} - [D_{\kappa'}(A_V)]^{1/2}\}}{(\psi - 1) \cdot [D_{\kappa'}(A_V)]^{1/2}} \quad (2.63)$$

Решая данное равенство относительно параметра скорости получаем, что:

$$v_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^4 l_i \cdot (\psi - 1) \cdot [D_{\kappa'}(A_V)]^{1/2}}{k_{t_i} \cdot \ln\{[D(A_V)]^{1/2} - [D_{\kappa'}(A_V)]^{1/2}\}} \quad (2.64)$$

В развернутом виде имеем

$$Q_{ЗТУ} = 0,78(D_K^2 - d_B^2) \cdot \rho_H \cdot e^{\beta \cdot k_{CK}} \{1 + k_{CH} \cdot \exp[-k_{CK} \cdot \varphi(\sum_{i=1}^4 l_i/v_{cp})]\}^{-1} \times \\ \times \frac{\sum_{i=1}^4 l_i \cdot (\psi - 1) \cdot [D_K'(A_V)]^{1/2}}{k_{ti} \cdot \ln\{[D(A_V)]^{1/2} - [D_K'(A_V)]^{1/2}\}} \quad (2.65)$$

Анализ данной зависимости показывает, что при значениях параметров $D_K = 30-120$ мм и $d_B = 40$ мм подача $Q_{ЗТУ}$ находится в пределах 90 – 630 кг/ч.

При этом, определенное значение на процесс подачи оказывает величина средней продольной скорости движения продукта – v_{cp} , определяемой по формуле (2.64), которая должна находиться в пределах 0,09 – 0,11 м/с.

Однако, существенное значение на подачу ЗТУ оказывает величина технологического параметра – ρ , кг/м³, которая в реальных условиях работы устройства колеблется в широких пределах.

На рис. 2.7 представлены зависимости производительности устройства – Q_y от диаметра винта D_k , $Q_y = f(D_k)$.

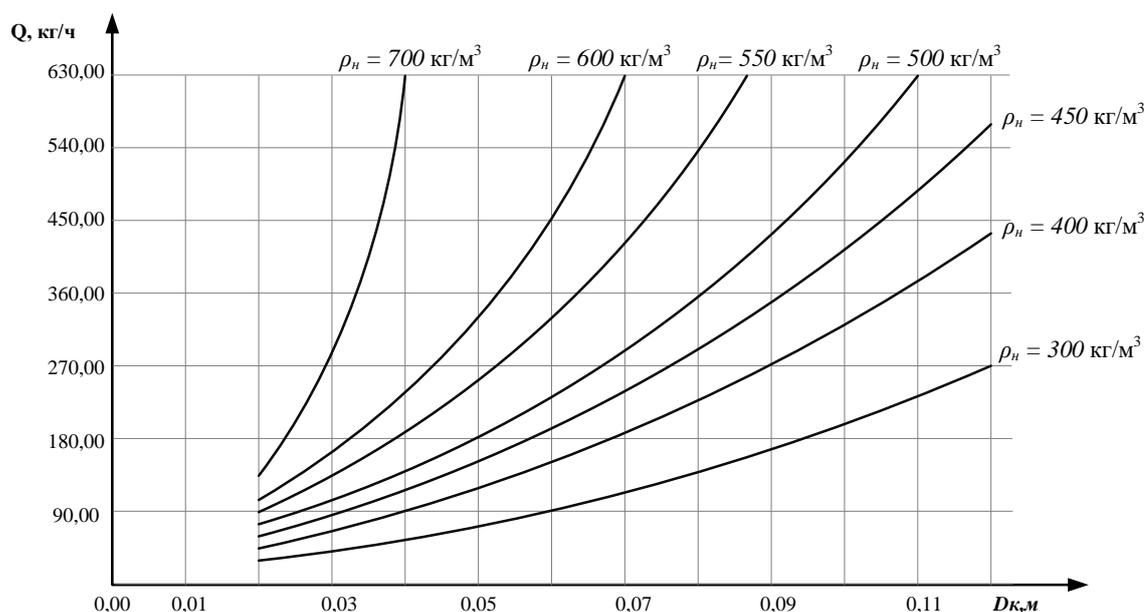


Рисунок 2.7 – Зависимости производительности устройства от диаметра винта $Q_y = f(D_k)$ при $v_{cp} = 0,09 - 0,11$ м/с.

Анализ зависимости (2.65) также показывает, что варьирование скоростью – v_{cp} , с целью увеличения производительности, ограничивается качеством перемешивания компонентов и наложенными на него ограничениями по однородности (система уравнений 2.1).

Для установления зависимости, характеризующей силу – P_C , создаваемую винтом, используем теорему о взаимности работ [111]

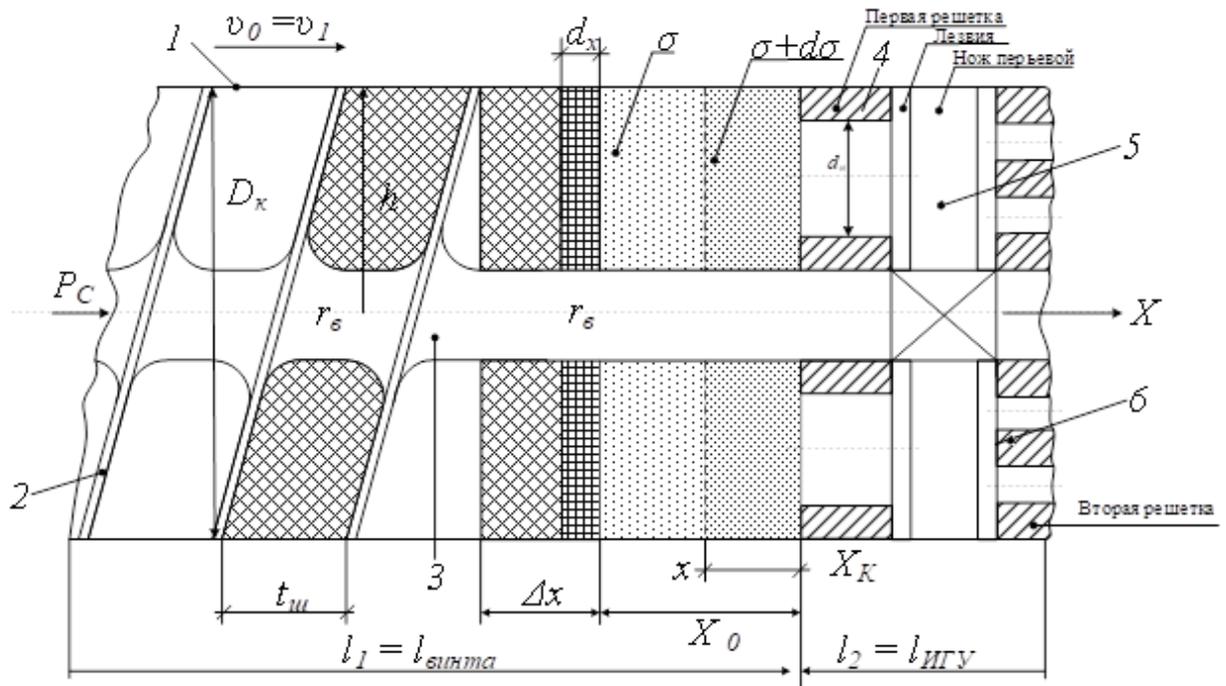
$$P_C \cdot \Delta H = P_o^e \cdot \Delta V, \quad (2.66)$$

где P_C – сила, действующая со стороны винта, Н;

ΔH – перемещение продукта, равное $\Delta X + X$ (рисунок 2.8);

P_o^e – давление, создаваемое винтом, $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$;

ΔV – изменение объема продукта при уплотнении продукта, равное $\Delta V = V_n - V_k$, где V_n, V_k – начальный и конечный объемы продукта, м^3 .



1 – корпус; 2 – винт; 3 – вал винта; 4 – первая решетка;

5 – двухлезвийный перьевой нож; 6 – вторая решетка

Рисунок 2.8 – Схема к обоснованию конструктивно-режимных параметров процесса сжатия продукта в зоне конца винта и нахождения первой решетки

При этом, согласно рисунку 2.6 имеем, что

$$V_n = S_k \cdot X_0 = 2\pi(R_k^2 - r_s^2) \cdot X_0; \quad (2.67)$$

$$V_k = S_k \cdot X_k = 2\pi(R_k^2 - r_s^2) \cdot X_k, \quad (2.68)$$

где S_k – площадь продукта в виде кольца, размещенного между концом винта и первой решеткой, м^2 ;

R_k – радиус корпуса, в котором размещен винт, м;

r_s – радиус вала винта, м.

С учетом данных выражений изменение объема ΔV составит:

$$\Delta V = 6,28 \left[X_0 (R_k^2 - r_g^2) - X_k (R_k^2 - r_g^2) \right] = 6,28 (R_k^2 - r_g^2) (X_0 - X_k) \quad (2.69)$$

Решая совместно уравнения (2.66) и (2.69) относительно параметра, характеризующего давление - P_δ^g , создаваемое винтом:

$$P_\delta^g = \frac{P_C \cdot (X_0 - X_k)}{\Delta V} = \frac{P_C \cdot \cancel{(X_0 - X_k)}}{6,28 \cdot (R_k^2 - r_g^2) \cdot \cancel{(X_0 - X_k)}} = 0,16 P_C / (R_k^2 - r_g^2) \quad (2.70)$$

В данном уравнении два неизвестных P_δ^g и P_C . Для исключения одного из неизвестных параметров - P_C или P_δ^g представим изменение объема ΔV продукта, как [111]

$$\Delta V = V_n - V_k = V_k \cdot \varepsilon (1 - 2\mu) \quad (2.71)$$

или

$$\Delta V = (P_C \cdot X_0) \cdot (1 - 2\mu) / E, \quad (2.72)$$

где ε – коэффициент, характеризующий относительную деформацию для продукта;

μ – коэффициент Пуассона, $\mu = (0,29 - 0,31)$ [111].

E – модуль Юнга, Па (модуль упругости первого рода).

Тогда, с учетом характеристик продукта имеем, что

$$P_\delta^g = \frac{P_C (X_0 - X_k)}{V_k \cdot \varepsilon (1 - 2\mu)} = \frac{P_C (X_0 - X_k)}{X_k \cdot S_k \cdot \varepsilon (1 - 2\mu)}, \quad (2.73)$$

где $\frac{X_0 - X_k}{X_k} = \frac{X_0}{X_k} - 1$.

Отношение X_0/X_k есть степень уплотнения продукта - k_y и, тогда, имеем, что:

$$P_\delta^g = 0,1600 P_C \cdot (k_y - 1) \left[(R_k^2 - r_g^2) \cdot \varepsilon (1 - 2\mu) \right]^{-1} \quad (2.74)$$

По данным И.В. Сыроева [55] значение такого давления составляет

$$P_\delta^g = (0,1500 - 0,2800) \text{ МПа.}$$

С учетом этих значений для параметра P_C получаем:

$$P_C = 1,75 \cdot (R_k^2 - r_g^2) \cdot \varepsilon (1 - 2\mu) \cdot [k_y - 1]^{-1} \quad (2.75)$$

Затраты энергии в единицу времени, равной 1 секунде (мощность) на выполнение рассмотренного выше рабочего процесса захватывающе-транспортирующего узла, определили с учетом зависимостей (2.75) и (2.64)

$$N_{1(в)} = P_C \cdot v_{cp} = \frac{1,75 \cdot (R_k^2 - r_g^2) \cdot \varepsilon (1 - 2\mu)}{(k_y - 1)} \times \\ \times \frac{t_{ш} \cdot k_B (\psi - 1) \cdot [D_k'(A'V)]^{1/2}}{k_{t1} \cdot \ln \{ [D(AV)]^{1/2} - [D_k'(A'V)]^{1/2} \}} \quad (2.76)$$

где $t_{ш}$ – шаг витков вала, м; k_B – количество витков.

Анализ зависимостей (2.75) и (2.76) и проведенные расчеты показывают, что при значениях $k_y = 3,0-3,2$ (для смесей на основе измельченных тыквы и картофеля), параметр P_C находится в пределах 4,9-5,0 кН, а показатель $N_{1(в)}$ равен 0,5 кВт.

Теоретическое обоснование параметров питающе-измельчающего гомогенизирующего узла устройства.

Пропускная способность ИГУ определяется с учетом выполнения условия поточности (2.58), согласно формуле Моисеенко Г.С. [55]

$$Q_{ИГУ} = 0,125 \cdot d_0^2 \cdot Z_0 \cdot h \cdot \rho_2 \cdot \omega_g \cdot Z \geq [Q_V], \quad (2.77)$$

где d_0, Z_0 – диаметр и число отверстий в последней решетке ИГУ, м;

h – величина перемещения продукта через решетку за один оборот ножа, м (по Сысоеву $h = 0,00200$ м, [103]);

ρ_2 – плотность продукта в камере ИГУ, кг/м³;

ω_g – угловая скорость винта и ножей, с⁻¹;

Z – число перьев ножей.

Однако, с нашей точки зрения, рациональным подходом к определению производительности ИГУ предложенной конструкции, является подход с учетом такого параметра как скорость перемещения продукта в измельчающей камере:

$$Q_{ИГУ} = F_2 \cdot \rho_2 \cdot v_{cp} \quad (2.78)$$

При этом, площадь F_2 характеризуется взаимосвязью таких параметров, как диаметр отверстия d_{pk} последней решетки и числом отверстий – Z_{OK} :

$$F_2 = F_{pk} = 0,785d_{pk}^2 \cdot Z_{OK} \quad (2.79)$$

В то же время плотность продукта – ρ_2 можно определить с учетом коэффициента сжимаемости – формулы (2.11) и (2.23), а значение скорости принять $v_2 = v_{cp}$, которая характеризуется зависимостью (2.64), при замене в

ней сомножителя $\sum_{i=1}^4 l_i$ на l_2 , который равен

$$l_2 = h_p \cdot Z_p + h_{II} (Z_p - 1), \quad (2.80)$$

где h_p – толщина решетчатого ножа, м; Z_p – число решетчатых ножей;

h_{II} – толщина перьевых ножей, м; Z_{II} – число перьевых ножей.

С учетом данных фактов, получаем формулу производительности, для ИГУ, в развернутом виде

$$Q_{ИГУ} = 0,785d_{pk}^2 \cdot Z_{OK} \cdot \rho_n \cdot e^{\beta \cdot k_c} \times \\ \times \frac{[h_p \cdot Z_p + h_{II} (Z_p - 1)] (\psi - 1) \cdot [D_k'(A_V)]^{1/2}}{k_{t_2} \cdot \ln\{[D(A_V)]^{1/2} - [D_k'(A_V)]^{1/2}\}} \quad (2.81)$$

Приняв, что:

$$Q_{ИГУ} \geq Q_{ЗТУ} \quad (2.82)$$

определим диаметр отверстий d_{pk} в последней решетке:

$$d_{pk} = \sqrt{Q_{ЗТУ} / 0,785 \cdot Z_{OK} \cdot \rho_n \cdot e^{\beta \cdot k_c} \cdot \frac{l_2 (\varphi - 1) \cdot [D_k'(A_V)]^{1/2}}{k_{t_2} \cdot \ln\{[D(A_V)]^{1/2} - [D_k'(A_V)]^{1/2}\}}}, \quad (2.83)$$

где $Q_{ЗТУ}$ – определяется по формуле (2.65), а l_2 – по формуле (2.81).

Анализом полученной зависимости (2.83) и проведенными расчетами установлено, что при диаметре отверстий последней решетки $d_{pk} = 0,0005$ м и количестве отверстий $Z_{OK} = 25$ пропускная способность ИГУ составляет 0,1 кг/с. При этом, существенное влияние на пропускную способность оказывает параметр – ρ , кг/м³, значения которого в реальных условиях подвержены значительным колебаниям.

Для обоснования мощности, на выполнение рабочего процесса ИГУ применительно к нашему случаю, запишем известное уравнение кинетики

[55], характеризующее процесс трансформации продукта, путем интенсивного разрушения частиц в композиции, с одновременным перераспределением воды в продуктовой системе, с целью получения однородной пасто- или тестообразной массы

$$K_{\kappa} = K_{\text{н}} \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}, \quad (2.84)$$

где $K_{\text{н}}$ – число исходных крупных частиц, поступающих к решетчатому аппарату (РНА) устройства;

K_{κ} – число мелких частиц, получаемых с помощью РНА на участке длиной l_2 (рисунки 2.2 и 2.3) за время t_2 ;

α_u, μ_u, t_2 – параметры, характеризующие процесс получения частиц на выходе из ИГУ.

Запишем уравнение баланса частиц до и после РНА из расчета нагрузки на живое сечение первой и последней решеток:

$$\frac{K_{\text{н}}}{F_{P_{\text{н}}}} = \frac{K_{\kappa}}{F_{P_{\kappa}}}, \quad (2.85)$$

где $F_{P_{\text{н}}}, F_{P_{\kappa}}$ – площадь, характеризующая массовую нагрузку на отверстия решеток, м^2 .

Количество частиц до и после трансформации, представим через единичные объемы исходной – $V_{\text{ед.н}}$ и конечной $V_{\text{ед.к}}$ продуктовой смеси, с учетом уравнения (2.84):

$$\frac{\sum_{i=1}^{K_{\text{н}}} V_{\text{ед.н}}}{V_{\text{ед.н}} \cdot F_{P_{\text{н}}}} = \frac{\sum_{i=1}^{K_{\kappa}} V_{\text{ед.к}}}{V_{\text{ед.н}} \cdot F_{P_{\text{н}}} \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}} \quad (2.86)$$

Выразив площадь живого сечения решеток через их диаметры – $d_{\text{н}}$ и d_{κ} имеем, что

$$\left. \begin{aligned} -F_{P_{\text{н}}} &= \frac{\pi d_{\text{н}}^2 \cdot Z_{\text{н}}}{4} = 0,785 Z_{\text{он}} \cdot d_{P_{\text{н}}}^2; \\ -F_{P_{\kappa}} &= \frac{\pi d_{\kappa}^2 \cdot Z_{\kappa}}{4} = 0,785 Z_{\text{ок}} \cdot d_{P_{\kappa}}^2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.87)$$

где $Z_{\text{он}}, Z_{\text{ок}}$ – число отверстий в первой и последней решетках.

С учетом того, что

$$V_{ед.нэ} = \lambda_k^3 \cdot V_{ед.кэ}, \quad (2.88)$$

где λ_k – степень измельчения (конечная), а

$$V_{ед.нэ} = a^3 \text{ и } V_{ед.кэ} = 0,523 \cdot d_э^3 \quad (2.89)$$

Здесь a – ребро куба, за который приняты исходные частицы, а $d_э$ – эквивалентный диаметр конечных частиц, принятых за шар.

Подставив значения, согласно уравнениям (2.86, 2.87 и 2.89) в выражение (2.88) и решая его относительно параметра λ_k получим:

$$\begin{aligned} \lambda_k^3 &= \frac{e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{K_n \cdot V_{ед.к}} = \frac{V_{ед.н} \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{V_{ед.к}} \\ \lambda^3 &= \frac{a^3 \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{0,523 \cdot d_{э}^3} \\ \lambda &= \left\{ \frac{1,91 \cdot a^3 \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{d_{э}^3} \right\}^{0,33}, \end{aligned} \quad (2.90)$$

где $\alpha_u = \lg \lambda_k / \lg(t_2 + 1)$, согласно данным [55].

В уравнениях (2.90) параметр t_2 определяется как

$$t_2 = \frac{l_2}{v_{cp}} \leq \frac{V \cdot \rho_1 \cdot e^{\beta \cdot k_c}}{[Q_y]}, \quad (2.91)$$

где $[Q_y]$ известная (требуемая) производительность устройства, кг/с.

С целью получения расчетной зависимости по определению мощности используем известную зависимость [55]:

$$N_2 = A_{изм.} \cdot Q_{ИГУ}, \quad (2.92)$$

где $A_{изм.}$ – удельная работа, затрачиваемая на процесс дезинтеграции исходной композиции, кДж/кг, а $Q_{ИГУ} \geq [Q_y]$.

Величина затрат энергии на выполнение работы ИГУ определим с учетом формулы профессора С.В. Мельникова [55]:

$$A_{изм.} = C_1 \cdot \lg \lambda_k^3 + C_2 (\lambda_k - 1), \quad (2.93)$$

где C_1 и C_2 – эмпирические коэффициенты.

Относительно определения неизвестных эмпирических коэффициентов C_1 и C_2 , приведем методику, которая заключается в том, что:

- во-первых представим зависимость (2.93), с учетом (2.94), как

$$\frac{N_{\text{Э}}}{Q_{\text{ИГУ}}} = C_1 \cdot \lg \lambda_k^3 + C_2 (\lambda_k - 1),$$

где $N_{\text{Э}}$ и $Q_{\text{ИГУ}}$ – значения показателей, определенные в эксперименте.

Согласно данным, приведенным в работе д.т.н., профессора Мельникова С.В. [55], имеем, что для ячменя $C_1 = (10-13) \cdot 10^3$ Дж/кг, а $C_2 = (6-9) \cdot 10^3$ Дж/кг.

Соотношение между C_1 и C_2 составляет по среднему значению $C_2 = 0,643 \cdot C_1$;

- во-вторых, имеем, что

$$C_1 = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_{\text{ИГУ}} [\lg \lambda_k^3 + 0,643(\lambda - 1)]}, \text{ а } C_2 = 0,643 \cdot C_1$$

где λ , $N_{\text{Э}}$ и $Q_{\text{ИГУ}}$ – устанавливаются в результате эксперимента.

Проведя соответствующие подстановки значений из формулы (2.90) в формулу (2.93) получаем:

$$N_{2(\text{ИГУ})} = \left\{ C_1 \lg \left[\frac{1,91 \cdot a^3 \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{d_{i3}^3} \right] + C_2 \left(\left[\frac{1,91 \cdot a^3 \cdot e^{\alpha_u \cdot \ln(t_2+1) - \mu_u t_2}}{d_i^3} \right]^{0,33} - 1 \right) \right\} \cdot Q_{\text{ИГУ}} \quad (2.94)$$

где $Q_{\text{ИГУ}}$ определяется по зависимости (2.81)

Анализ зависимости (2.94) и проведенные расчеты показывают, что на затраты энергии при измельчении-гомогенизации с помощью предложенного ИГУ на грубоизмельчённых смесях, на основе тыквы и картофеля, оказывают их исходные размеры, обусловленные параметром – a , мм, а также количество ступеней измельчения, которое для предлагаемого устройства равно 4.

Данные параметры опосредованно представлены количеством решеток РНА и лезвий перьевых ножей, диаметром отверстий решеток, а также количеством этих отверстий, оказывающих определяющее значение на конечный размер частиц – d , мм.

С учетом данного факта, при d конечном, определяемом требованиями

для пасты, равном 0,3 мм, начальные размеры частиц должны быть не более – 10,0 мм. При данных обстоятельствах и $Q_{ИГУ} \geq Q_{ЗТУ} = 0,1$ кг/с мощность находится в пределах 1,0-1,05 кВт.

Теоретические аспекты по обоснованию конструктивно-режимных параметров структурирующе-формирующего узла пастоизготовителя-гранулятора

Согласно рисунку 2.9 структурирующая камера (СК) в составе СФУ устройства представляет собой полый цилиндр диаметром, равным $2R_{СК}$ и поперечным сечением, равным $F_{СК} = \pi R_{СК}^2$ и длиной l_3 .

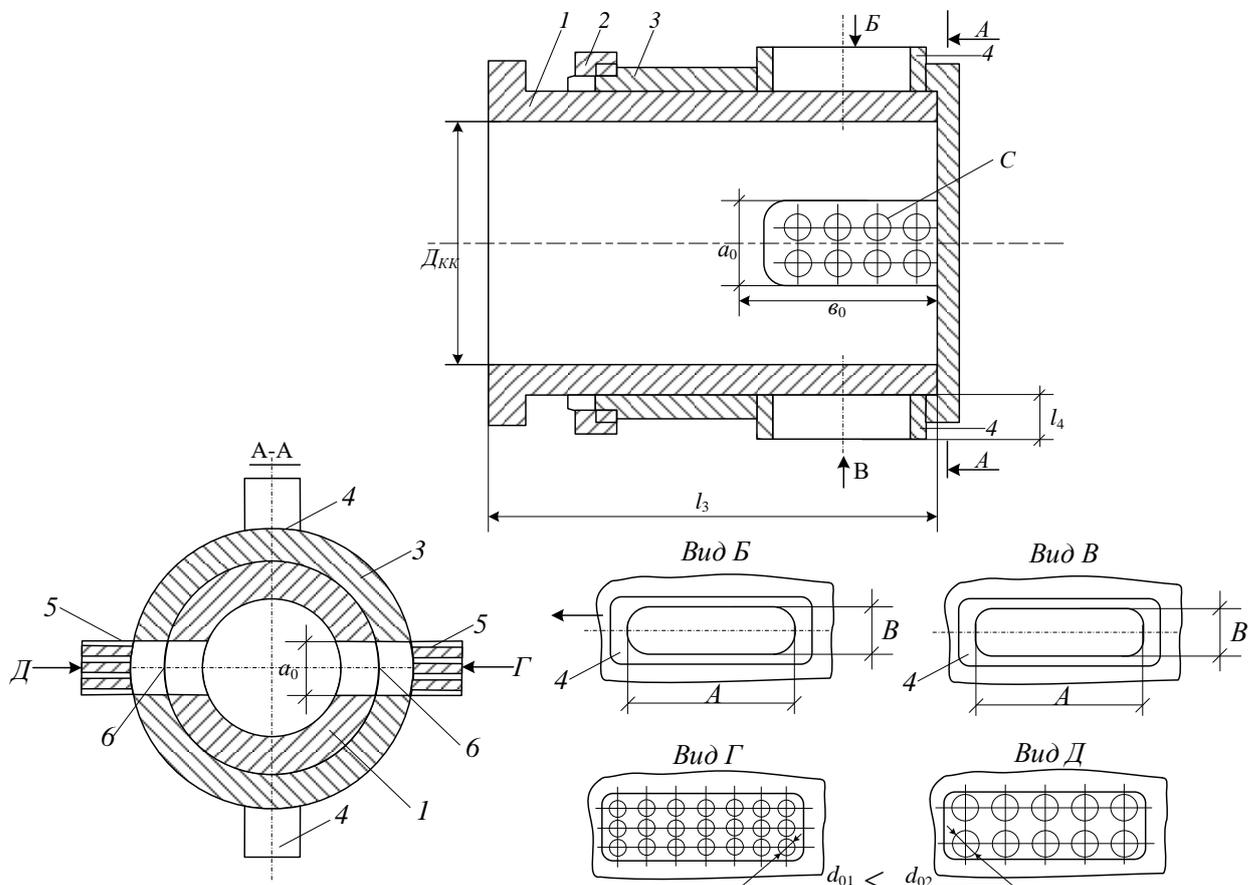


Рисунок 2.9 – Схема к определению параметров СФУ

Согласно условиям (2.58) и (2.59) имеем, что:

– для массовой подачи:

$$Q_{СК}^M = \pi \cdot R_{СК}^2 \cdot \rho_3 \cdot v_3, \quad (2.95)$$

где ρ_3 – определяется с учетом формул (2.11) и (2.23), а v_3 – согласно формуле

$$(2.64) \text{ с заменой сомножителя } \sum_{i=1}^4 l_i \text{ на } l_3.$$

Схема структурно-формирующего узла приведена на рисунке 2.9.

В то же время для определения объемной подачи, имеем, что:

$$Q_{ск}^V = \pi R_{ск}^2 \cdot v_3, \quad (2.96)$$

где v_3 определим, используя следующие подходы.

Данная конструкция обеспечивает прямолинейное перемещение массы продукта с некоторой скоростью - v_3 . При этом, на массу воздействует сила P_C посредством которой происходит ее уплотнение. В результате пористость массы значительно уменьшается, при изменении объема продукта на величину – ΔV_3 .

При данных условиях работа A_V , совершаемая от действия силы P_C на участке размером $l_3 - l_2$ (рисунок 2.9) при $l_2 = 0$ равна

$$A_V = \int_{l_2=0}^{l_3} P_C(l_i) dl \quad (2.97)$$

Примем, что совершаемая работа A_V прямопропорциональна времени перемещения – t продукта, массой $G_3 = \pi R_{ск}^2 \cdot l_3 \cdot \rho_3$, где ρ_3 – ее плотность на участке - l_3 , кг/м³:

$$A_V = \varphi \cdot t, \quad (2.98)$$

где φ – коэффициент пропорциональности.

Необходимо отметить, что данный коэффициент имеет размерность затрат энергии в единицу времени Н·м/с, а это не что иное, как мощность.

С учетом данного факта получаем:

$$\int_{l_2=0}^{l_3} P_C(l_i) dl = \varphi \cdot t \quad (2.99)$$

Дифференцирование этого уравнения дает:

$$P_C(l) = \varphi(dt/dl) \quad (2.100)$$

Соотношение dt/dl представляет собой скорость перемещения продуктовой массы в СК и, тогда, $dt/dl = 1/(dl/dt) = v_3^{-1}$.

В итоге имеем, что

$$P_C(l) = \varphi/v_3 \quad (2.101)$$

При этом,

$$P_C(l) = G \cdot (dv/dt) \quad (2.102)$$

На основании этого получаем равенство

$$G \cdot (dv_3/dt) = \varphi/v_3 \quad (2.103)$$

Преобразование данного уравнения дает

$$G \cdot v_3^2/2 = \varphi t + C \quad (2.104)$$

При $v_3 = v_n$ и $t = t_n$ значение коэффициента равно

$$C = G \cdot v_n^2/2 \quad (2.105)$$

и, тогда:

$$v_3 = \left[\frac{2\varphi \cdot t_3}{G} + v_n^2 \right]^{0,5} \quad (2.106)$$

Давление, создаваемое в объеме структурирующей камеры, определили по аналогии с подходом, рассмотренным выше, определив площадь поперечного сечения как площадь диска, а не кольца.

С учетом формул (2.66) и (2.73) и рисунка 2.8 имеем, что:

$$P_\partial^\kappa = \frac{P_C(X_0 - X_\kappa)}{\Delta V} = \frac{P_C' \cdot (X_0 - X_\kappa) \cdot E}{P_C' \cdot X_0 (1 - 2\mu)}, \quad (2.107)$$

где $\frac{X_0 - X_\kappa}{X_0} = \left(1 - \frac{1}{k_y}\right)$.

И, тогда:

$$P_{\partial}^{\kappa} = \frac{(1 - k_y^{-1}) \cdot E}{(1 - 2\mu)} \quad (2.108)$$

Мощность на участке длиной, равной l_3 определяются как

$$N_{3(CK)} = P_{\partial}^{\kappa} \cdot Q_{CK}^V \quad (2.109)$$

С учетом формул (2.96), (2.106) и (2.108) получаем:

$$N_{3(CK)} = \frac{\pi R_{CK}^2 (1 - k_y^{-1}) \cdot E \left[\frac{2\varphi \cdot t_3}{G} + v_H^2 \right]^{0.5}}{(1 - 2\mu)} \quad (2.110)$$

Особенностью конструкции СФУ является то, что камера (СК) в процессе выгрузки пасты или получения гранул, посредством специально выполненных, так называемых, «окон» взаимодействует или с патрубками – 4, или с матрицами – 5 (рисунок 2.9).

В этой связи необходимо обосновать параметры и мощность процессов «выдавливания» пасты и формования гранул.

Для структурирующе-формующего узла (СФУ) устройства, работающего в режиме пастоизготовителя, взаимосвязь между параметрами определяется:

– при массовой подаче

$$Q_{ПИ}^M = 2F_4^{\Pi} \cdot \rho_4^{\Pi} \cdot v_4^{\Pi} = [Q_Y^M], \quad (2.111)$$

где F_4^{Π} – площадь поперечного сечения, так называемого, «пастового сопла» бокового патрубка, м²;

ρ_4^{Π} – плотность пасты в патрубке, кг/м³;

v_4^{Π} – скорость движения пасты, м/с;

$[Q_Y]$ – требуемая для конкретного поголовья производительность пастоизготовителя-гранулятора – ПГ.

Согласно рисунку 2.9 площадь F_4^{Π} определяется как $F_4^{\Pi} = A \times B$, где A и B – сумма соответствующих сторон бокового патрубка (щели).

При этом можно принять, что $\rho_4^{\Pi} = \rho_3$, а скорость v_4^{Π} определяется как:

$$v_4^{\Pi} = \frac{[Q_Y^M]}{F_4^{\Pi} \cdot \rho_4^{\Pi}} \quad (2.112)$$

– при объемной подаче:

$$Q_{\text{III}}^V = 2F_{\text{III}}^{\Pi} \cdot v_4^{\Pi} = [Q_Y^V]$$

или

$$Q_{\text{III}}^V = 2A \cdot B \cdot v_4^{\Pi} \quad (2.113)$$

и, тогда

$$A = 0,5 [Q_Y^V] \cdot B \cdot v_4^{\Pi} \quad (2.114)$$

Для ПГ, работающего в режиме получения гранул:

- для массовой подачи:

$$\begin{aligned} Q_{\Gamma Y}^M &= 2F_{\Gamma Y}^{\Gamma Y} \cdot \rho_4^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} = \frac{2\pi}{4} \cdot \rho_4^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} \cdot d_0^2 \cdot Z_o^{\Gamma Y} = \\ &= 1,57 d_0^2 \cdot Z_o^{\Gamma Y} \cdot \rho_4^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} \end{aligned} \quad (2.115)$$

где d_0^2 – диаметр отверстия в матрице, длиной – l_4 , м;

$Z_o^{\Gamma Y}$ – число отверстий (каналов) в матрице;

$\rho_4^{\Gamma Y}$ – плотность гранул, кг/м³;

$v_4^{\Gamma Y}$ – скорость движения гранул в каналах матрицы, м/с.

Для объемной производительности имеем, что

$$Q_{\Gamma Y}^V = 2 \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot Z_o^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} = [Q_{\Gamma Y}^V] \quad (2.116)$$

или

$$Q_{\Gamma Y}^V = 1,57 \cdot d_0^2 \cdot Z_o^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} \quad (2.117)$$

Количество каналов в матрице определили путем совместного решения выражений (2.96) и (2.117) относительно параметра $Z_o^{\Gamma Y}$

$$\pi R_{\text{ск}}^2 \cdot v_3 = 1,57 \cdot d_0^2 \cdot Z_o^{\Gamma Y} \cdot v_4^{\Gamma Y} \quad (2.118)$$

$$Z_o^{\Gamma Y} = \frac{\pi R_{\text{ск}}^2 \cdot v_3}{1,57 \cdot d_0^2 \cdot v_4^{\Gamma Y}} = \frac{2R_{\text{ск}}^2 \cdot v_3}{d_0^2 \cdot v_4^{\Gamma Y}} \quad (2.119)$$

Решение равенства (2.19) относительно параметра d_0 дает:

$$d_0 = \sqrt{\frac{2R_{CK}^2 \cdot \nu_3}{Z_0^{GY} \cdot \nu_4}} \quad (2.120)$$

Мощность на выдавливание пасты через патрубки с учетом формул (2.108) и (2.113) равна:

$$N_u^{\Pi} = P_{\delta}^K \cdot Q_{\Pi\Pi}^V = \frac{2 \cdot A \cdot B (1 - k_y^{-1}) \cdot E \cdot \nu_4^{\Pi}}{(1 - 2\mu)} \quad (2.121)$$

Мощность на выдавливание гранул из каналов, с учетом формул (2.108) и (2.117) равна:

$$N_u^{GY} = \frac{1,57 \cdot d_0^2 \cdot Z_0^{GY} \cdot \nu_4^{GY} (1 - k_y^{-1})}{(1 - 2\mu)} \quad (2.122)$$

Анализ полученных зависимостей (2.108), (2.110), (2.114) и (2.117) и проведенные расчеты показывают, что на мощность по данным процессам, существенное влияние оказывают физико-механические показатели и свойства сырья, а также параметры, величина которых определяется по зависимостям (2.119) и (2.120).

При этом, мощность по процессу выдавливания пасты находится на уровне: $N_{CK} + N_u^{\Pi} = 0,23 - 0,25$ кВт, а по процессу формирования гранул в пределах $N_{CK} + N_u^{GY} = 0,50 - 0,60$ кВт, в зависимости от плотности продукта – измельченного - пасто- и тестообразного.

При этом, в формуле (2.115) неизвестным параметром является плотность – ρ_4 .

Примем, что прирост плотности – ρ_3 в СК подчиняется следующей зависимости:

$$d\rho_3/dt = \gamma \cdot \rho_3, \quad (2.123)$$

где t – продолжительность уплотнения продукта, путём его сжатия в каналах матрицы, длиной l_4 и диаметром d_0 , с;

γ – показатель удельной скорости прироста плотности продукта, c^{-1} .

При достижении плотности продукта $\rho_3 = \rho_{max}$ на участке l_3 (рисунок 2.9) ее прирост определится по зависимости

$$d\rho_i/dt = \gamma \cdot \rho_3 \left[1 - (\rho/\rho_{max}) \right] \quad (2.124)$$

Данное уравнение, при начальных условиях $t = t_n$ и $\rho = \rho_n$ имеет вид:

$$\rho_3 = \frac{\rho_{max} \cdot e^{\gamma t_n}}{(\rho_{max}/\rho) - 1 + e^{\gamma t_n}} \quad (2.125)$$

Согласно конструктивным особенностям СФУ (рисунок 2.9) он может работать в режиме – I – получения гранул, а также в режиме II – пастоизготовителя.

С этой целью в СК выполнены два продольных окна – б, через которые уплотненный продукт попадает в отверстия двух матриц – 5 (режим I), вид з и д, рисунок 2.6 или же в щели патрубков – 4 (режим II, вид б и в).

На данном этапе работы устройства поток продукта меняет направление на 90° и делится на два потока. При получении гранул эти два потока разделяются на дополнительные потоки, количество которых, равно количеству отверстий в формующих матрицах – 5 (рисунок 2.8, вид з и д). При этом диаметры отверстий и, соответственно, получаемых гранул могут быть различны, если это обусловлено производственной необходимостью.

Такая пространственная трансформация потока изменяет условия получения гранул, с точки зрения повышения их плотности в отверстиях матрицы.

Во-первых, их плотность резко возрастает в зависимости и длины каналов-отверстий – $l_{ко}$, а также их диаметра – d_0 , в результате появления внутренних напряжений;

Во-вторых, на выходе из отверстий значения этих напряжений «падают» в результате такого явления, как релаксация [55].

Вполне очевидным является тот факт, что при действии силы P_C , определяемой по формуле (2.108) на площадь $\pi d_{K1/4}^2$, меньшей чем $\pi d_{K2/4}^2$, напряжения – σ_1 будут больше чем σ_2 , то есть, при прочих равных условиях

$$\sigma_1 = \frac{4P_C}{\pi d_{K1}^2} > \sigma = \frac{4P_C}{\pi d_{K2}^2} \quad (2.126)$$

Следовательно, при этом, длина канала-отверстия – $l_{ко}$ формирующей матрицы – 5 должна быть меньше.

Таким образом, вполне очевидно также, что для данных условий, характерной является зависимость следующего вида:

$$\rho_4 = \rho_3 \cdot e^{l_{ко}/d_0}, \quad (2.127)$$

где $l_{ко} = l_4$ (рисунок 2.9).

С учетом данного подхода получаем, что

$$\rho_4 = \left[\frac{\rho_{\max 3} \cdot e^{\gamma t_n}}{(\rho_{\max 3} / \rho) - 1 + e^{\gamma t_n}} \right] \cdot \exp(l_{ко} / d_0) \quad (2.128)$$

Решая уравнение (2.128) относительно $(l_{ко} / d_{к0})$ имеем

$$(l_{ко} / d_0) = \ln \left\{ \left[\frac{\rho_{\max} \cdot e^{\gamma t_n}}{(\rho_{\max} / \rho) - 1 + e^{\gamma t_n}} \right] / \rho_4 \right\}, \quad (2.129)$$

где $\rho_4 \geq [\rho_4]$ – требуемая плотность гранул, кг/м³.

При известных значениях d_0 (определены требованиями) имеем, что:

$$l_{ко} = \ln \left\{ \left[\frac{\rho_{\max} \cdot e^{\gamma t_n}}{(\rho_{\max} / \rho) - 1 + e^{\gamma t_n}} \right] / \rho_4 \right\} / d_0 \quad (2.130)$$

В то же время, на выходе из отверстий матрицы напряжение в гранулах снижается с интенсивностью

$$d\rho_{\max} = q \cdot \rho \cdot dt, \quad (2.131)$$

где $q = d\rho_{\max} / \rho \cdot dt$ – относительная потеря плотности в результате релаксации напряжений в сформированных гранулах.

При этом, уменьшение плотности составит

$$\Delta\rho_{\max} = q \int_0^t \rho \cdot d\tau \quad (2.132)$$

С учетом данного факта, можно записать, что

$$\frac{d\rho}{dt} = \gamma\rho \left\{ 1 - \left[\rho / \left(\rho_{\max} - q \int_0^t \rho \cdot d\tau \right) \right] \right\} \quad (2.133)$$

Зависимость (2.133) при $t = t_n$ и $\rho = \rho_n$ преобразуется к следующему виду

$$\rho(t') = \frac{\gamma \cdot q^{-1}}{(\gamma \cdot q^{-1}) - 1} \left[\frac{(\gamma \cdot q^{-1}) - 1}{\gamma} \cdot C_1 + C_2 \cdot e^{t'} \right]^{\frac{\gamma \cdot q}{1 - (\gamma \cdot q)}} \cdot \frac{C_2 \cdot e^{t'}}{\rho_n}, \quad (2.134)$$

где $\rho(t') = \rho / \rho_n$, а $t' = \gamma \cdot t$

$$C_1 = \frac{\gamma}{\gamma \cdot q^{-1}} \cdot \rho_n^{1 - (\gamma \cdot q^{-1})} \cdot [\rho_{\max} / \rho_n]^{-\gamma \cdot q^{-1}} \cdot [(\rho_{\max} / \rho_n)] + (1 - (\gamma \cdot q^{-1})) / \gamma \cdot q^{-1};$$

$$C_2 = \frac{(\gamma \cdot q^{-1}) - 1}{\gamma \cdot q^{-1}} \cdot \rho \cdot \rho_{\max}^{-\gamma \cdot q^{-1}}.$$

При этом, напряжения, а, следовательно, и плотность уменьшаются до момента времени, равного

$$t' = \ln \left\{ \frac{[1 - (\gamma \cdot q^{-1})^2]}{\gamma} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right\} \quad (2.135)$$

При уменьшении плотности, подчиняющейся линейному закону, когда $\rho(t') = \rho_4 - \gamma \cdot \rho_4$, получаем, что

$$\frac{d\rho}{dt} = \gamma \cdot \rho_4 \left[1 - \frac{\rho_4}{\rho_4 - q\rho_4} \right] \quad (2.136)$$

Уравнение (2.136) преобразуется к следующему виду

$$\frac{[\rho_4 / \rho(t')]^{q+1} \cdot [\rho_4 - (q+1) \cdot \rho(t')]}{\rho_4 - (q+1) \cdot \rho_4} = e^{\gamma(\gamma+1)t'} \quad (2.137)$$

Зависимость (2.137) характеризует степень релаксации напряжений во влажных гранулах.

Анализ зависимости (2.137) показывает, что для исключения процесса релаксации в готовых гранулах необходимо фактически удалить посредством создаваемого давления влагу из структурной сетки готового продукта. Это возможно только при значительном увеличении длины каналов-отверстий, в которых за счет сил трения произойдет нагрев продукта и испарение из него влаги (по типу процесса экструзии).

Таким образом, наиболее рациональным способом повышения прочности гранул посредством снижения их крошимости является сушка.

С учетом всего изложенного выше, с учетом полученных формул (2.76), (2.94) (2.110), а также (2.121) и (2.122) мощность на привод составит:

– для пастоизготовителя:

$$N_{\Sigma(\text{ПИ})} = (N_{1(\text{В})} + N_{2(\text{ИГУ})} + N_{3(\text{СК})} + N_{\text{И}}^{\text{П}} + N_{\text{ХХ}})/\eta, \quad (2.138)$$

– для гранулятора:

$$N_{\Sigma(\text{Г})} = (N_{1(\text{В})} + N_{2(\text{ИГУ})} + N_{3(\text{СК})} + N_{\text{И}}^{\text{Г}} + N_{\text{ХХ}})/\eta, \quad (2.139)$$

где $N_{\text{ХХ}}$ – мощность холостого хода;

η – КПД привода.

Для энергоемкости по пастоизготовителю, с учетом зависимостей (2.139) и (2.65) получаем, что:

$$- \quad N_{\text{уд}(\text{ПИ})} = N_{\Sigma(\text{ПИ})}/Q_{\text{ЗТУ}}, \quad (2.140)$$

$$- \quad N_{\text{удГ}} = N_{\Sigma(\text{Г})}/Q_{\text{ЗТУ}}, \quad (2.141)$$

$$N_{\text{уд}(\text{ПИ})} = (1,50-2,10)/(342-360) = 0,00440-0,0058 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг},$$

$$N_{\text{уд}(\text{Г})} = (2,10-2,20)/(342-360) = 0,00611-0,00614 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}.$$

где $Q_{\text{ЗТУ}}$ определяется по формуле (2.65)

Для установления оптимальных значений параметров, входящих в состав формул (2.140) и (2.141) необходимо проведение эксперимента.

Выводы по главе 2.

1. На основе принятой рабочей гипотезы и подходов по реализации инновационных технологических и технических решений обоснована структурно-функциональная схема малогабаритного пастоизготовителя-гранулятора винтового типа, работа которого основана на принципе прямопоточного действия.

При этом, качество получаемой с его помощью пасты по однородности – $\theta, \%$ распределения компонентов и гранулометрическому составу, а гранул

по крошимости – $K_p, \%$ должны отвечать предъявляемым зоотехническим требованиям.

2. На основе принятых теоретических подходов получена математическая модель оценки технических решений по удельной энергетической эффективности с учетом качественных показателей по однородности – $\theta, \%$ пастовой смеси, степени её измельчения – λ для процесса пастоизготовления и крошимости – $K_p, \%$ для гранулирования, в виде системы уравнений и наложенными на нее ограничениями по указанным качественным показателям.

Теоретическим анализом подтверждены гипотезы и получены зависимости, характеризующие влияние коэффициента сжимаемости – k_c исходного сырья на ее плотность – ρ в камере ПГ, а также плотности – ρ – на однородность пасты – $\theta, \%$ и, в конечном итоге, однородности состава гранул на их крошимость – $K_p, \%$.

Решение данных задач проведено посредством использования математического аппарата случайных функций, а также принятого подхода, в соответствии с которым, при действии уплотняющего давления – P совокупность воздушных пор в смеси уменьшается по экспоненциальному закону, за счет заполнения пустот водной средой, являющейся основой для получения продуктов пасто- и тестообразной физической формы.

С использованием свойств корреляционных функций, а также с учетом длины участков l_i , на которых осуществляется трансформация исходного сырья и получением зависимостей, характеризующих дисперсию – $D_{(AV)}$ и однородность смеси – $\theta, \%$, обоснована общая длина камеры ПГ, которая должна быть не менее 290 мм. Установлено, что при данной длине камеры и начальной неоднородности композиционной смеси $\theta = 80\%$ будет обеспечено качество пастообразного продукта с однородностью не менее $[\theta] \leq 95\%$ при смешивающей способности ПГ, равной $\gamma_D = 16$;

3. С позиций теории о взаимности работ, выявлены зависимости, характеризующие процесс уплотнения исходного сырья на принятых участках

его физической трансформации посредством давления – P_{δ}^e , силы P_c и давления в СК – P_{δ}^k ;

4. Составлением уравнения материального баланса, по наличию частиц до и после измельчения, а также гомогенизации сырьевой смеси, получены расчетные зависимости, характеризующие степень измельчения и гомогенизации сырья в многоступенчатом измельчающем аппарате – λ и входящие в состав формулы по определению мощности – $N_{2ИГУ}$.

5. На основании принятых подходов получены зависимости, характеризующие подачу ПГ на отдельных его участках трансформации:

- захватывающе-транспортирующем – $Q_{ЗТУ}$;
- измельчающе-гомогенизирующего – $Q_{ИГУ}$;
- структурирующе-формующего узла – $Q_{СК}^M$ и $Q_{СК}^V$;
- гранулирующего узла – $Q_{ГУ}^M$ и $Q_{ГУ}^V$.

Полученные формулы при известных (требуемых) значениях производительности позволяют определить основные параметры ПГ и, в частности, диаметр винта – D_K с учетом плотности – ρ исходного сырья при $v_{CP} = 0,09-0,11$ м/с, для диапазона подачи $Q_y = 90-540$ кг/ч. С учетом установленных зависимостей, характеризующих мощность на пастоизготовлении и гранулировании, а также производительность устройства, получены расчетные формулы для определения его энергоемкости по процессам приготовления пасты и гранул. В пределах указанного диапазона производительности устройства, энергоемкость по приготовлению пасты находится в пределах $N_{уд(ПИ)} = 15,0 - 21,0$ кВт·с/кг, (0,00440 – 0,0058 кВт·ч/кг), а по гранулам $N_{уд(Г)} = 21,0-22,0$ кВт·с/кг, (0,00611 – 0,00614 кВт·ч/кг) и следует закону убывающей экспоненты, в зависимости от производительности устройства.

Установлено также, что значения определенной части параметров – N , θ , Q , λ , Kp , могут быть определены только посредством проведения соответствующего эксперимента.

Глава 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и организация экспериментальных исследований

Программой эксперимента предусматривалось решение следующих задач в пять последовательно реализуемых 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 четвёртом – 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:

- 1) смешивающе-выравнивающей способности пастоизготовителя-гранулятора при осуществлении им трансформации соево-тыквенной и картофельно-зерновой композиций по прямопоточной схеме;

- 2) измельчения и смешивания исходных композиций с определением степени усреднения влаги между влажным и условно сухим компонентами;

- 3) получения пасты на основе соево-тыквенной и картофельно-зерновой композиций, с определением однородности распределения компо-

нентов и степени измельчения;

4) получения влажных и сухих гранул различного диаметра с определением показателя крошимости.

При этом устанавливались зависимости следующего вида:

- по процессу смешивания компонентов влажной и условно сухой физической формы на участках l_i (рисунок 2.2):

$$\theta_i = f(l_i; \omega; \rho; \dots) \rightarrow \max, \quad (3.1)$$

где l_i – длина соответствующего из участков l_{1-4} ;

ω – угловая скорость винта;

ρ – плотность на каждом из l_{1-4} участков;

– по процессам измельчения, гомогенизации и гранулирования (рисунок 2.2):

а) для энергоемкости:

$$N_i = (\lambda_k; W; C_p) \rightarrow \min; \quad (3.2)$$

б) для однородности пасты:

$$\theta = f(\lambda_k; W; C_F) \rightarrow \max; \quad (3.3)$$

в) для крошимости гранул

$$Kp = f(C_k; \lambda_k; \chi) \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

где λ_k – степень измельчения, ед.;

W – влажность сырья, %;

C_p – соотношение площадей структурирующей камеры и щелей в выходных патрубках, ед.;

C_k – содержание кальцийсодержащего ингредиента, %;

C_F – соотношение между длиной канала – l_0 и его диаметром d_0 , ед.

3.2 Комплект оборудования и пилотная установка для проведения экспериментальных исследований

Комплект оборудования для проведения экспериментальных исследо-

ваний включал совокупность оборудования, изготовленного по блочно-модульной схеме (рисунок 3.1).

В качестве измельчителя для грубого измельчения тыквы и картофеля использовалось устройство дискового типа (рисунок 3.2), а смесителя – смеситель лопастного типа периодического действия (рисунок 3.3).



Рисунок 3.1 – Общий вид пилотной установки



Рисунок 3.2 – Общий вид измельчителя с приводом (блочно-модульное исполнение)



Рисунок 3.3 – Общий вид смесителя с приводом (блочно-модульное исполнение)

На рисунке 3.4 приведен вид установки, содержащей винт и многоступенчатый измельчающе-гомогенизирующий аппарат.



Рисунок 3.4 – Общий вид измельчающе-гомогенизирующего аппарата

В качестве сменных гранулирующих матриц, с различной длиной и диаметром каналов, использовались матрицы ступенчатого исполнения (рисунок 3.5).

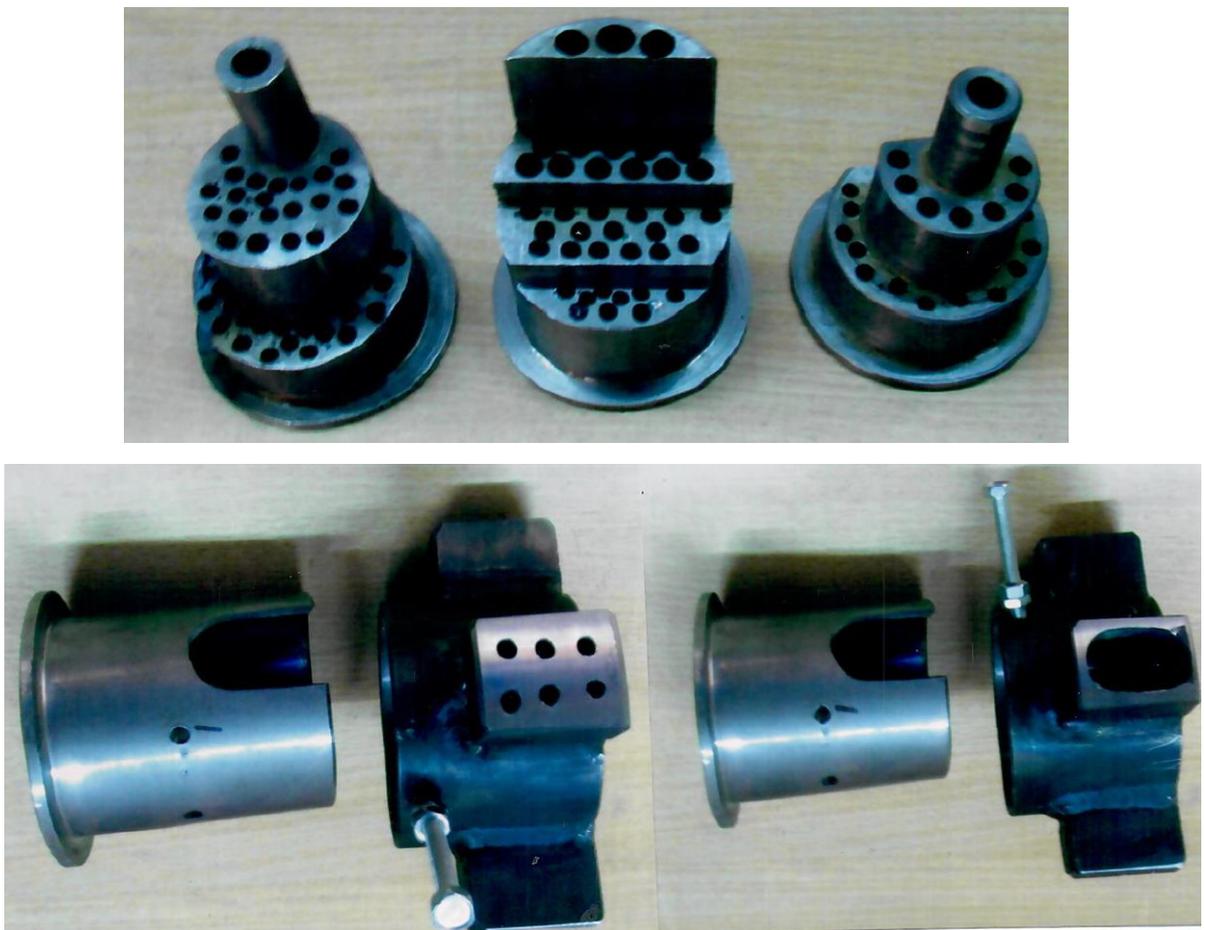


Рисунок 3.5 – Общий вид матриц различной конфигурации

Общий вид пастоизготовителя-гранулятора представлен на рисунке 3.6 (а – режим пастоизготовления; б – режим гранулирования).

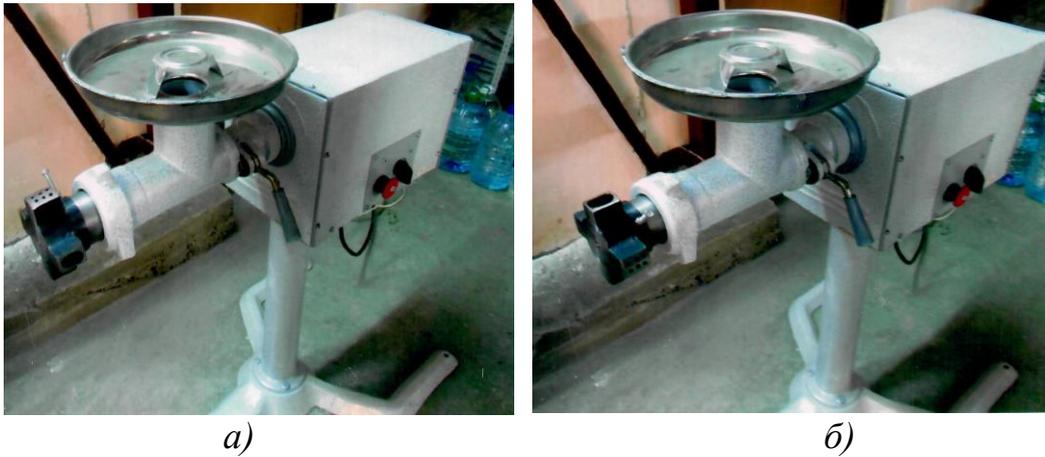


Рисунок 3.6 – Общий вид экспериментального пастоизготовителя-гранулятора: а) режим получения пасты; б) режим получения гранул

На рисунках 3.7 и 3.8 представлен общий вид измерительного оборудования и лабораторной сушильной установки для гранул.



Рисунок 3.7 – Общий вид измерительного оборудования

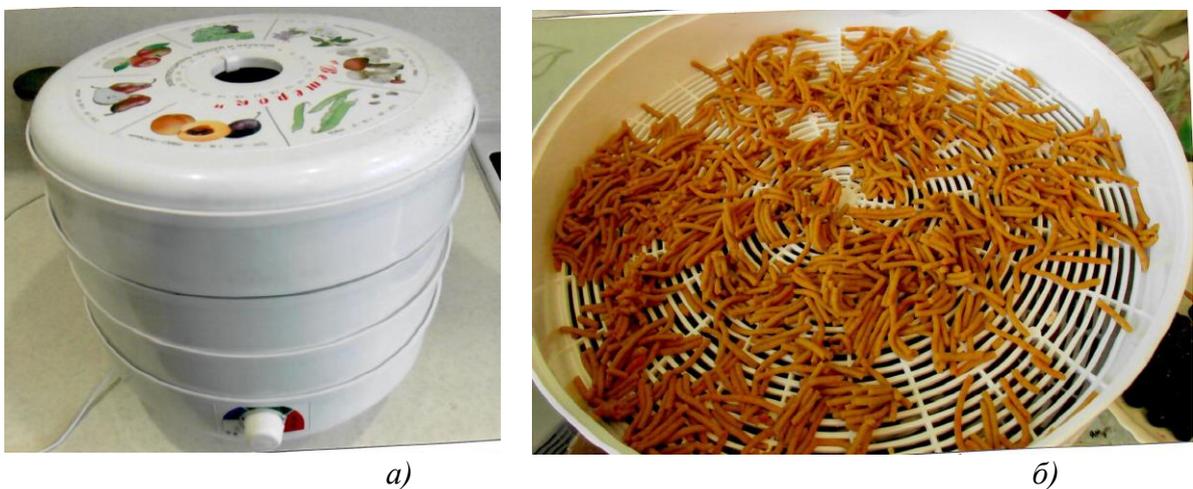


Рисунок 3.8 – Общий вид лабораторной сушильной установки

3.3 Методика проведения эксперимента

На этапе экспериментальных исследований, в качестве объектов исследований, при определении физико-механических показателей использовались тыква сортов «Стофунтовая», «Витаминная» и др., свекла, морковь, картофель, зеленая масса из разнотравья, соево-овсяной смеси в фазе молочно-восковой спелости овса, комбикорм на основе зерновых культур, а также соевая мука необезжиренная термообработанная.

Повторность опытов выбиралась равной трем, при которой ошибка не превышает $\pm 3\sigma$, где σ – среднеквадратическое отклонение, при надежности опытов $p = 0,9$.

В основу исследований положены методики, изложенные в работах Алёшкина В.Р., Веденяпина Г.В., Доспехова Б.А., Завалишина Ф.С., Зенкова Р.Л., Краснова Д.А., Кукты Г.М., Кулаковского И.В., Мельникова С.В. и других ученых [2, 11, 19, 20, 27, 29, 34, 35, 39, 47, 50, 54, 55, 63, 70, 96, 104, 107].

Методика определения влажности исходных компонентов и их композиций.

При определении влажности использовали прямой способ, путем высушивания образцов с помощью сушильного шкафа СЭШ-3М и установлением соотношения между массой испарённой влаги к массе навески до сушки.

При этом, расчет проводили:

– для компонента

$$W_0 = \frac{(m_n - m_k) \cdot 100}{m_k}, \quad (3.5)$$

где m_n, m_k – масса пробы до и после сушки, г;

– для многокомпонентной композиции:

$$W_m = \sum_{i=1}^n (W_{o_i} \cdot \alpha_i) / 100, \quad (3.6)$$

где W_{oi} – влажность i -го компонента, %;

α_i – массовая доля i -го компонента;

n – количество компонентов.

Методика определения насыпной плотности исходного сырья и готового продукта.

Плотность сырья и продуктов определяли путем использования мерной емкости, вместимостью $0,03 \text{ м}^3$ с последующим взвешиванием пробы и проведением расчетов согласно выражению:

$$\rho_{\Pi} = m_{\Pi} \cdot V_{\Pi}^{-1}, \quad (3.7)$$

где m_{Π} – масса пробы, кг;

V_{Π} – объем пробы, равный $0,03 \text{ м}^3$.

Методика определения однородности гранулометрического состава и степени измельчения.

Размеры корнеклубнеплодов (ККП) и тыквы устанавливали на 50 корнях (плодах), измельченного зерна – на решетном классификаторе, среднюю пробу измельченной зеленой массы принимали массой – $0,5 \text{ кг}$ из общей пробы, равной $4,0 \text{ кг}$.

Среднюю пробу для ККП определяли по зависимости, установленной во ВНИИ МОЖе:

$$g_{\Pi} = t_{\text{ср.вз.}} \cdot v^{2,95} \cdot 7433^{-1} \quad (3.8)$$

где $t_{\text{ср.вз.}}$ – средневзвешенный размер частиц, мм;

v – коэффициент вариации размера частиц, %.

расчетная масса пробы составила $0,5 \text{ кг}$.

При разборке проб использовали классификатор с промывкой проточной водой.

Для оценки измельченного продукта по однородности гранулометрического состава рассчитывали среднеквадратическое отклонение σ размера частиц и коэффициент вариации v по следующим формулам:

$$\sigma = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (l_i - l_{cp})^2 \cdot g_i \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n g_i \right]^{-1} \right\}^{0,5}, \quad (3.9)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{l_{cp}} \cdot 100 \% \quad (3.10)$$

где l_i, l_{cp} – средние размеры частиц соответственно, фракции и навески, мм.

g_i – масса частиц каждой фракции, г;

n – число фракций.

Степень измельчения определяли по формулам [55]:

$$\lambda_l = l_n / l_k, \quad (3.10^*)$$

$$\lambda_\phi = D_n / d_k, \quad (3.10^{**})$$

где l_n, l_k – соответственно начальная и конечная длина частиц, мм;

D_n, d_k – соответственно начальный и конечный диаметры частицы, мм.

Методика определения однородности смеси компонентов в композициях.

Показатель однородности смеси в композициях определяли в исходном состоянии – на подаче и, в конечном, – на выходе из пастоизготовителя-гранулятора.

С целью определения качества перераспределения частиц в объеме смеси в ее состав вводился так называемый «контрольный компонент» в виде пластмассовых шариков красного цвета $\varnothing = 1,0$ мм – до 5,0 %.

Количество проб составляло 30 [55], что достаточно для принятой доверительной вероятности $p = 0,90$, а их масса – 200 грамм, равная разовой выдаче птице.

Однородность – θ смеси оценивали с помощью предварительно определенного в ходе эксперимента коэффициента вариации – ν , согласно выражению:

$$\theta = 1 - \nu, \quad (3.11)$$

где

$$\nu = [\sigma] \cdot [\bar{x}]^{-1} \cdot 100 \%, \quad (3.12)$$

а

$$\sigma = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot [n-1]^{-1} \right\}^{0,5} \quad (3.13)$$

где \bar{x} – среднеарифметическая величина концентрации контролируемого компонента в пробах, $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot n^{-1}$;

n – количество анализируемых проб;

x_i – концентрация контрольного компонента в пробах по количеству частиц и массе.

Методика определения коэффициента сжимаемости композиционных смесей.

Коэффициент сжимаемости определяли по формуле [112]

$$k_{сж} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P}, \quad (3.14)$$

где ε_1 и ε_2 – начальное и конечное значения пористости композиций;

P – действующее давление, Па.

Значения ε_1 и ε_2 определяли по формуле

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\Pi} - \rho_{СК}}{\rho_{СК}}, \quad (3.15)$$

где ρ_{Π} – плотность продукта в пробе, кг/м³;

$\rho_{СК}$ – плотность «скелета» продукта, кг/м³.

Значения $\rho_{СК}$ определяли пикнометрическим методом [55], а ρ_{Π} – по методике, изложенной в работе [48].

Методика определения крошимости влажных и высушенных гранул.

Крошимость влажных гранул определяли путем сбора их разрушенных частиц с последующим взвешиванием, а сухеных – характеризующую их прочность, определяли путем размещения навески массой 1000 грамм в барабане Ø 350 мм и длиной 600 мм, изготовленном из листовой стали. Барабан вращали со скоростью 25 об/мин в течение 4,0 минут. После этого просеивали навеску на сите Ø 1,0 мм [55].

Содержание крошки определяли как:

$$Kp = \frac{M_{кр}}{1000} \cdot 100 \% \quad (3.16)$$

где $M_{кр}$ – масса крошки, грамм.

Прочность гранул определяли согласно выражению:

$$Pr = 100 - Kp \quad (3.17)$$

Методика определения производительности пастоизготовителя-гранулятора.

Производительность предложенного устройства определяли путем взятия навески за время равное $t = 300$ секунд в трехкратной повторности с последующим проведением расчетов по формуле

$$Q_y = M_H / t_H \quad (3.18)$$

Частоту вращения ротора электродвигателя изменяли с помощью преобразователя частоты типа SJ100-022HFE фирмы «HITACHI» (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Общий вид частотного преобразователя SJ100-022HFE фирмы «HITACHI»

Пробы взвешивались на весах ВЛТК-500.

Методика определения затрат энергии (мощности) на выполнение исследуемых процессов.

Мощность – N_0 , затрачиваемую на выполнение процессов с помощью предложенного пастоизготовителя-гранулятора определяли с помощью комплекта измерительного типа К-505.

При расчётах учитывали мощность холостого хода N_{xx} . Замеры прово-

дили в трехкратной повторности с последующим определением среднеарифметической величины показателя.

Энергоемкость процесса определяли по формуле:

$$N_{\text{э}} = \frac{N_0 - N_{\text{xx}}}{Q_y} \quad (3.19)$$

Методика планирования многофакторного эксперимента.

При проведении экспериментальных исследований использовался метод планирования многофакторного эксперимента, посредством которого получали уравнения регрессии после соответствующей математической обработки [1, 21, 56, 67, 68, 97, 106].

3.4 Результаты эксперимента по обоснованию параметров пастоизготовителя-гранулятора

Результаты по определению физико-механических свойств исходного сырья и компонентов

Экспериментальные исследования проводили согласно методикам, изложенным в подразделах 3.1-3.3.

На первом этапе экспериментальных исследований определялись физико-механические свойства и показатели соевой муки, приготовленной на основе семян сои сорта «Соната», картофеля «Адретта», тыквы сорта «Стофунтовая», зерна пшеницы и мела (порошок).

Результаты по определению физико-механических свойств данных продуктов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Физико-механические показатели исходного сырья и продуктов

Исходное сырье и продукты	Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Угол естественного откоса, град	Эквивалентный диаметр, мм
1	2	3	4	5
Необезжиренная термообработанная соевая мука	6,2-8,0	430-440	42-43	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5
Картофель сорта «Адретта»	75-78	620-730	28-43	80,0
Тыква сорта «Стофунтовая»	80-86	650-680	25-30	300-500
Зерно пшеницы	13-15	500-600	25-37	5,0-5,5
Мел в порошковой форме	12-14	450-460	43-45	0,10

Анализ данных, представленных в таблице 3.1, показывает, что значения физико-механических показателей используемого сырья и продуктов варьирует в широком диапазоне.

Данный факт необходимо учитывать при проектировании и конструировании технических средств принятого назначения.

Обоснование параметров процесса получения пастообразного продукта с помощью предложенного устройства.

При проведении экспериментальных исследований по изучению процесса получения пасты, с учетом проведенного теоретического анализа (глава 2) была выделена следующая совокупность значимых факторов:

- 1) α_1/λ_k – степень измельчения, ед.;
- 2) α_2/W – влажность пасты, %;
- 3) α_3/C_F – соотношение площадей структурирующей камеры и выходных профильных отверстий, ед.

В качестве критериев оптимизации определены:

- энергоемкость процесса получения пасты – $N_{y\partial}$, кВт·с/кг;
- однородность смеси в составе пасты – θ , %.

Таким образом, в неявном виде функциональные зависимости могут быть представлены как:

$$\Delta_1/N_{y\partial} = f(\lambda_k; W; C_F) \rightarrow \min ;$$

$$\Delta_2/\theta = f(\lambda_k; W; C_F) \rightarrow \max .$$

Эксперимент проводился при начальной однородности смеси в композиции, равной $\theta = 80$ %, согласно положениям, установленным анализом формул (2.57) и (2.58).

Для установленных факторов приняты три уровня их варибельности (таблица 3.1*).

Таблица 3.1* – Параметры и их значения

Факторы	λ_k , ед.	W , %	C_F , ед.
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значения по +	35,000	90,000	5,600
Значение по 0	30,000	80,000	5,300
Значение по -	25,000	70,000	5,000

Определение коэффициентов полинома осуществлялось согласно ортогональному центрально-композиционному плану второго порядка – таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Стандартный план и результаты эксперимента по изучению энергоёмкости

Номер опыта	α_1/λ_k , ед.	α_2/W , %	α_3/C_F , ед.	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	$N_{y0}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}} / \Delta_1$
1	+1	+1	+1	0,269700	0,269700	0,269700	19,00000
2	-1	+1	+1	0,269700	0,269700	0,269700	21,30000
3	+1	-1	+1	0,269700	0,269700	0,269700	19,10000
4	-1	-1	+1	0,269700	0,269700	0,269700	19,80000
5	+1	+1	-1	0,269700	0,269700	0,269700	20,80000
6	-1	+1	-1	0,269700	0,269700	0,269700	17,40000
7	+1	-1	-1	0,269700	0,269700	0,269700	19,50000
8	-1	-1	-1	0,269700	0,269700	0,269700	17,80000
9	1,21540	0	0	0,746900	-0,730300	-0,730300	17,50000
10	-1,21540	0	0	0,746900	-0,730300	-0,730300	16,90000
11	0	1,21540	0	-0,730300	0,746900	-0,730300	18,40000
12	0	-1,21540	0	-0,730300	0,746900	-0,730300	16,50000
13	0	0	1,21540	-0,730300	-0,730300	0,746900	16,50000
14	0	0	-1,21540	-0,730300	-0,730300	0,746900	16,70000
15	0	0	0	-0,730300	-0,730300	-0,730300	15,80000

С помощью ортогонального планирования получены оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией, путем соответствующего подбора звездного плеча η (для 3^x факторов $\eta = 1,2154$) [1] и специальным преобразованием квадратичных переменных α_i^2

$$\eta'_i = \alpha_i^2 - d, \quad (3.20)$$

где d – поправка, зависящая от числа факторов [1], для 3^x факторов $d = 0,7303$.

Значимость коэффициентов регрессии, в соответствии с критерием Стьюдента для трех степеней свободы и 95% уровне составила $t = 0,765$ [1].

Общий вид функции для выбранной матрицы имеет следующий вид:

$$\Delta = b_0 + b_1\alpha_1 + b_2\alpha_2 + b_3\alpha_3 + b_{13}\alpha_1\alpha_3 + b_{23}\alpha_2\alpha_3 + b_{123}\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + b_{11}\alpha_1^2 + b_{22}\alpha_2^2 + b_{33}\alpha_3^2 \quad (3.21)$$

Таблица 3.3 – К проверке значимости коэффициентов уравнения - Δ

Коэффициенты	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	18,196	0,0329	46,94
b_1	0,258	0,045	1,22
b_2	0,421	0,045	1,98
b_3	0,316	0,045	1,49
b_{12}	0,013	0,062	0,05
b_{13}	-1,013	0,062	-4,08
b_{23}	0,062	0,062	0,25
b_{123}	-0,413	0,062	-1,66
b_{11}	1,419	0,113	4,22
b_{22}	1,588	0,113	4,72
b_{33}	1,013	0,113	3,01

Из таблицы 3.3 следует, что значимыми коэффициентами являются $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{13}, b_{123}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$.

Уравнение в кодированном виде:

$$\Delta_1 = 18,196000 - 0,258\alpha_1 + 0,421\alpha_2 + 0,316\alpha_3 - 1,013\alpha_1\alpha_3 - 0,413\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,419\alpha_1^2 + 1,588\alpha_2^2 + 1,013\alpha_3^2 \rightarrow \min \quad (3.22)$$

Адекватность данного уравнения проверена по критерию – F (Фишера).

В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 1$ и 95%-ном уровне значимости $F = 19,4000$.

Дисперсия адекватности определялась по методике [1], а значения выходного параметра, приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значение дисперсии адекватности по величине критерия Δ_1

Номер опыта	Δ_1		
	Δ_u	$\hat{\Delta}_u$	$(\Delta_u - \hat{\Delta}_u)^2$
1	2	3	4
1	19,00000	20,61500	2,60920657700
2	21,30000	20,10500	1,42829234300

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4
3	19,10000	16,60400	6,23154043300
4	19,80000	16,08700	13,78528650200
5	20,80000	17,96500	8,03785164000
6	17,40000	17,44800	0,00233681500
7	19,50000	13,94700	30,83417520000
8	17,80000	13,43100	19,09167172000
9	17,50000	17,34000	0,02562420500
10	16,90000	16,71200	0,03530232100
11	18,40000	19,46800	1,13976905200
12	16,50000	14,58400	3,66938701100
13	16,50000	18,64000	4,58131885500
14	16,70000	15,41200	1,65988773900
15	15,80000	17,02600	1,67103268800

Значение критерия равно: $F = 17,4700$ и, поэтому уравнение (3.22) адекватно описывает процесс в пределах принятой области.

Для уравнения регрессии в раскодированном виде имеем:

$$\begin{aligned}
 N_{y\theta} = & 718,97200 - 11,43600\lambda_{\kappa} - 6,8700W - 163,97300C_F + \\
 & + 0,14600\lambda_{\kappa}W + 1,52500\lambda_{\kappa}C_F + 0,82500WC_F - 0,02700\lambda_{\kappa}WC_F + \\
 & + 0,05700\lambda_{\kappa}^2 + 0,015009W^2 + 11,252C_F^2 \rightarrow \min
 \end{aligned} \quad (3.23)$$

При построении поверхностей откликов (программа SigmaPlot v.11.0) изменялось значения двух факторов (приложение 5, рисунки 8П – 13П).

Для оценки процесса получения пасты по однородности состава θ , % факторы также имели три уровня варьирования (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Параметры и их значения

Факторы	λ_{κ} , ед.	W, %.	C_F , ед.
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значения по +	35	90	5,6
Значение по 0	30	80	5,3
Значение по -	25	70	5,0

При определении значений коэффициентов полинома также использован план второго порядка (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Стандартный план и результаты эксперимента по определению однородности - θ , %

Номер опыта	α_1/λ_K	α_2/W	α_3/C_F	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	θ , %
							Δ_2
1	+1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	90,20000
2	-1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	87,00000
3	+1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	86,90000
4	-1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	89,40000
5	+1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	89,00000
6	-1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	89,90000
7	+1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	88,00000
8	-1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	86,30000
9	1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	87,40000
10	-1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	85,90000
11	0	1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	86,00000
12	0	-1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	90,20000
13	0	0	1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	92,40000
14	0	0	-1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	91,20000
15	0	0	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	95,00000

Критерий Стьюдента равен, $t = 0,765000$, следовательно коэффициенты значимы

Таблица 3.7 – К проверке значимости коэффициентов для - θ , %

Коэффициенты	Проверка коэффициентов по критерию Стьюдента		
	Значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	89,024	0,064	178,02
b_1	0,303	0,088	1,02
b_2	0,036	0,088	0,12
b_3	0,161	0,088	0,54
b_{12}	0,387	0,1204	1,12
b_{13}	-0,012	0,1204	-0,04
b_{23}	-0,463	0,1204	-1,33
b_{123}	1,038	0,1204	2,99
b_{11}	-2,869	0,2207	-6,11
b_{22}	-1,887	0,2207	-4,02
b_{33}	0,618	0,2207	1,31

По данным таблицы 3.7 выделены значимые коэффициенты среди которых: $b_0, b_1, b_{12}, b_{23}, b_{123}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$.

Уравнение в кодированном виде:

$$\Delta_2 = 89,02400 + 0,303\alpha_1 + 0,387\alpha_1\alpha_2 - 0,463\alpha_2\alpha_3 + 1,038\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - 0,618\alpha_1^2 - 1,887\alpha_2^2 + 0,618\alpha_3^2 \rightarrow \max \quad (3.24)$$

Критерий Фишера равен $F = 19,4000$, что говорит о его адекватности. Значения параметра, в соответствии с уравнением (3.28), приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – К расчету дисперсии адекватности $\theta = f(\lambda_\kappa; W; C_F) \rightarrow \min$

Номер опыта	Δ_2		
	Δ_u	Δ_u	Δ_u
1	90,20000	87,35600	8,08821808600
2	87,00000	88,85200	3,43045588400
3	86,90000	93,16100	39,20019431100
4	89,40000	92,55400	9,94954811700
5	89,00000	87,90300	1,20399049600
6	89,90000	87,29600	6,78071408900
7	88,00000	91,60500	12,99513408900
8	86,30000	90,99800	22,07271685100
9	87,40000	90,59700	10,22217528300
10	85,90000	89,86000	15,6801090800
11	86,00000	87,97900	3,91533821600
12	90,20000	92,47800	5,19066940800
13	92,40000	91,17400	1,50265290900
14	91,20000	89,28300	3,67545315200
15	95,00000	90,22900	28,4958876500

Критерий Фишера равен: $F = 16,2700$, значит уравнение адекватно описывает процесс.

Уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$\theta = -870,67400 + 35,65600\lambda_\kappa + 14,6200W + 105,60100C_F - 0,35900\lambda_\kappa W - 0,35900\lambda_\kappa C_F - 2,2300C_F + 0,069200\lambda_\kappa W C_F - 0,11500\lambda_\kappa^2 - 0,01900W^2 + 6,86200C_F^2 \rightarrow \max \quad (3.25)$$

Поверхности отклика, согласно программе SigmaPlot v.11.0, при изменениях по двум факторам приведены на рисунках 14П – 19П (приложение 5).

Для определения рациональных значений параметров решена компромиссная задача для двух полученных уравнений, которые представлены независимыми функциями. При этом, диапазон значений факторов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$,

должен обеспечить одновременно минимальное значение Δ_1 и максимальное значение Δ_2 . Нахождение компромисса реализовано посредством программ «Sigma Plot 11.0» и «Компас 3D VI4 LT» способом наложения сечений поверхностей откликов функций и Δ_1 и Δ_2 при одних и тех же факторах в одном масштабе.

Результатом компромиссного решения является область значений факторов, удовлетворяющих значениям функции Δ_1 и Δ_2 .

Приемлемым значением Δ_1 на основании проведенного факторного анализа является $\Delta_1 = 16,2$ кВт·с/кг; приемлемым значением Δ_2 на основании проведенного факторного анализа является $\Delta_2 = 95$ %, согласно рисунку 3.10.

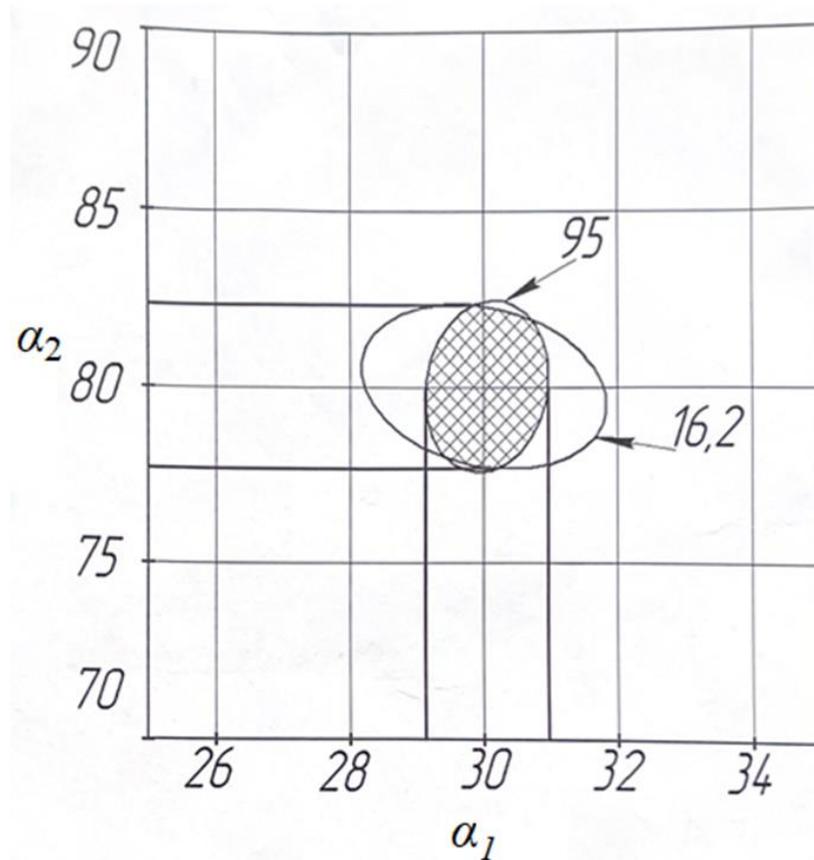


Рисунок 3.10 – Компромиссное решение – «Области рациональных значений α_1 и α_2 »

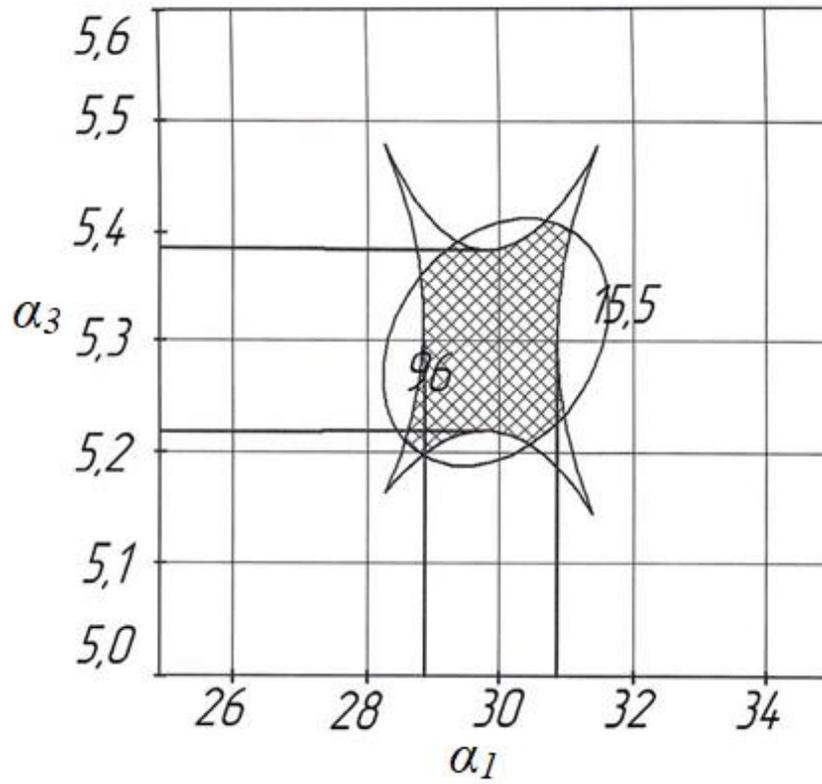
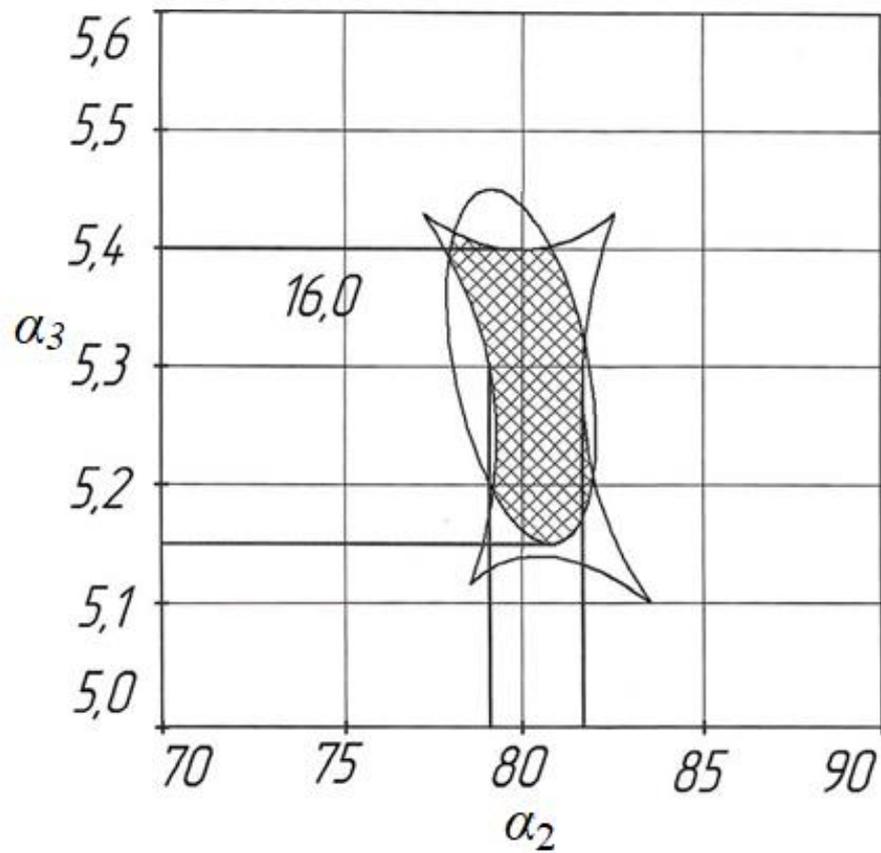


Рисунок 3.11 – К определению области рациональных значений

 α_1 и α_3 Рисунок 3.12 – К определению области рациональных значений α_2 и α_3

Согласно рисункам 3.11 – 3.12 оптимальными значениями параметров являются:

- $\lambda_k = 29 - 31$ ед.;
- $W = 78 - 82$ %;
- $C_F = 5,15 - 5,4$ ед.

Обоснование параметров процесса получения гранулята по энергоёмкости.

На данном этапе исследования рабочего процесса – ПГ, в качестве значимых факторов выбраны следующие:

- 1) α_1/ω_6 – угловая скорость винта, c^{-1} ;
- 2) α_2/χ – соотношение между длиной канала матрицы l_0 и его диаметром – d_0 , ед.;
- 3) α_3/λ_k – степень измельчения, ед.

В качестве исходного сырья использовались следующие композиции:

- 1) измельченная тыква+соевая мука+мел в порошковидной форме;
- 2) измельченный картофель+зерно пшеницы (1 : 1).

В качестве критериев оптимизации приняты:

$\Delta_3 / N_{y\partial_1}$ $\Delta_4 / N_{y\partial_2}$ – энергоёмкость получения гранул, соответственно для первого и второго рецепта, кВт·с/кг.

Уравнения общего вида представлены следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_3 / N_{y\partial_1} = f(\omega_6; \chi; \lambda_k) \rightarrow \min$$

Принятые факторы также, имели три уровня их варибельности (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Параметры и их значения

Факторы	ω_6, c^{-1}	$\chi, \text{ед.}$	$\lambda_k, \text{ед.}$
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значения по +	21,500	15,00	35,00
Значения по 0	18,500	10,00	30,00
Значения -	15,500	5,00	25,00

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональ-

ный центрально-композиционный план второго порядка (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Стандартный план и результаты экспериментов по определению энергоёмкости – $N_{y\partial 1}$

Номер опыта	α_1	α_2	α_3	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	$N_{y\partial 1} / \Delta_3,$ $\frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$
1	+1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	23,00000
2	-1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	24,20000
3	+1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	22,10000
4	-1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	22,00000
5	+1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	23,80000
6	-1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	20,40000
7	+1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	22,40000
8	-1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	20,00000
9	1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	20,50000
10	-1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	19,80000
11	0	1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	21,40000
12	0	-1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	19,90000
13	0	0	1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	19,70000
14	0	0	-1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	19,500000
15	0	0	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$

Критерий Стьюдента равен: $t = 0,76500$ [1], в связи, с чем коэффициенты уравнения значимы.

Таблица 3.11 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке - Δ_3

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	21,147	0,03267	55,33
b_1	0,507	0,04473	2,4
b_2	0,614	0,04473	2,9
b_3	0,451	0,04473	2,13
b_{12}	-0,037	0,06125	-0,15
b_{13}	-0,863	0,06125	-3,49
b_{23}	0,163	0,06125	0,66
b_{123}	-0,288	0,06125	-1,16
b_{11}	1,324	0,11227	3,95
b_{22}	1,663	0,11227	4,96
b_{33}	0,952	0,11227	2,84

Значимые коэффициенты – $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{23}, b_{123}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$.

Уравнение в кодированном виде:

$$\Delta_3 = 21,147 + 0,507\alpha_1 + 0,6137\alpha_2 + 0,451\alpha_3 - 0,863\alpha_1\alpha_3 - 0,288\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,324\alpha_1^2 + 1,663\alpha_2^2 + 0,952\alpha_3^2 \rightarrow \min \quad (3.26)$$

Критерий Фишера равен: $F = 19,400$, а это значит, что уравнение адекватно.

Числовые значения для Δ_3 представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – К расчету дисперсии адекватности для критерия – Δ_3 , кВт·с/кг

Номер опыта	Δ_3		
	Δ_u	$\hat{\Delta}_u$	$(\Delta_u - \hat{\Delta}_u)^2$
1	23,00000	24,36100	1,85353624200
2	24,20000	23,17400	1,05337773400
3	22,10000	19,63400	6,08130903800
4	22,00000	18,62100	11,42078656600
5	23,80000	21,38100	5,85378426100
6	20,40000	20,36700	0,00108200800
7	22,40000	16,82700	31,05368135100
8	20,00000	15,81400	17,52274169100
9	20,50000	20,61600	0,01354933700
10	19,80000	19,38500	0,17249613900
11	21,40000	22,76700	1,86997609800
12	19,90000	17,23400	7,10966558900
13	19,70000	21,70600	4,02435365200
14	19,50000	18,29500	1,45203487500
15	18,20000	20,00100	2,25161290300

Критерий Фишера равен: $F = 17,019$, а это значит, что уравнение адекватно.

Уравнение в раскодированном виде:

$$N_{y\partial_1} = 94,73600 - 7,400\omega_g - 3,33500\chi - 1,8400\lambda_k + 0,11500\omega_g\chi - 0,01900\omega_g\chi + 0,070900\chi\lambda_k - 0,003800\omega_g\chi\lambda_k + 0,14700\omega_g^2 + 0,06700\chi^2 + 0,037400\lambda_k^2 \rightarrow \min \quad (3.27)$$

При нахождении геометрического места точек в 3^x мерной системе координат откликов (программа SigmaPlot v.11.0) изменениями подвергались два фактора, приложение 5 (рисунки 20П – 25П).

Функция $\Delta_4 / N_{y\partial_2}$ нелинейна, поэтому для факторов принято три уровня их вариабельности (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Параметры и их значения

Факторы	$\omega_6, \text{с}^{-1}$	$\chi, \text{ед.}$	$\lambda_k, \text{ед.}$
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значения по +	21,500	15,00	35,00
Значения по 0	18,500	10,00	30,00
Значения по -	15,500	5,00	25,00

Для определения коэффициентов был принят также план второго порядка (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Стандартный план и результаты эксперимента по определению энергоёмкости – $N_{y\partial_2}$

Номер опыта	α_1	α_2	α_3	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	$N_{y\partial_2} / \Delta_4, \frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}}$
1	+1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	25,50000
2	-1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	26,10000
3	+1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	24,40000
4	-1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	24,80000
5	+1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	25,70000
6	-1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	22,30000
7	+1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	24,60000
8	-1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	22,80000
9	1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-0,730300$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	22,50000
10	-1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-0,730300$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	21,60000
11	0	1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	23,60000
12	0	-1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	21,80000
13	0	0	3,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	22,00000
14	0	0	-1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	21,40000
15	0	0	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	20,40000

Таблица 3.15 – К проверке значимости коэффициентов – Δ_4

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	23,26700	0,040700	54,3300
b_1	0,48300	0,055700	2,0500
b_2	0,47400	0,055700	2,0100
b_3	0,5600	0,055700	2,3700
b_{12}	0,17500	0,076300	0,6300
b_{13}	-0,77500	0,076300	-2,8100
b_{23}	0,22500	0,076300	0,8100
b_{123}	-0,22500	0,076300	-0,8100
b_{11}	1,48200	0,139800	3,9700
b_{22}	1,92200	0,139800	5,1400
b_{33}	1,24500	0,139800	3,3300

Значимые коэффициенты – $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{13}, b_{23}, b_{123}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$.

Уравнение в кодированном виде:

$$N_{y\partial_2} = 23,26700 + 0,48300\alpha_1 + 0,47400\alpha_2 + 0,5600\alpha_3 - 0,77500\alpha_1\alpha_3 + \\ + 0,22500\alpha_2\alpha_3 - 0,22500\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,48200\alpha_1^2 + 1,92200\alpha_2^2 + \\ + 1,24500\alpha_3^2 \rightarrow \min \quad (3.28)$$

Критерий Фишера равен $F = 19,400$, что говорит об адекватности уравнения.

Таблица 3.16 – К расчету дисперсии адекватности по показателю – $\Delta_4 / N_{y\partial_2}$

Номер опыта	Δ_4		
	Δ_u	$\hat{\Delta}_u$	$(\Delta_u - \hat{\Delta}_u)^2$
1	25,50000	27,30500	3,25917087900
2	26,10000	25,63100	0,21960538800
3	24,40000	21,80600	6,72931504100
4	24,80000	20,83900	15,68650704800
5	25,70000	22,98800	7,35549082300
6	22,30000	22,02100	0,07763356600
7	24,60000	18,19600	41,01249185000
8	22,80000	17,229000	31,03188301600
9	22,50000	22,5010	0,00000099700
10	21,60000	21,32600	0,07492195200
11	23,60000	24,82600	1,50243241700
12	21,80000	19,00200	7,83136628900
13	22,00000	24,10700	4,4413086300
14	21,40000	19,72000	2,82294298100
15	20,40000	21,91400	4,05474536100

Критерий Фишера равен: $F = 18,793$, а это значит, что уравнение адекватно.

Уравнение в раскодированном виде:

$$N_{y\partial_2} = 115,55700 - 5,28300\omega_g - 3,37800\chi - 2,566400\lambda_k + \\ + 0,0900\omega_g\chi - 0,02200\omega_g\chi + 0,064500\chi\lambda_k - 0,00300\omega_g\chi\lambda_k + \\ + 0,16500\omega_g^2 + 0,07700\chi^2 + 0,0500\lambda_k^2 \rightarrow \min \quad (3.29)$$

При построении поверхностей откликов как геометрического места точек согласно программе SigmaPlot v.11.0 их значения меняли по двум факторам, приложение 5 (рисунки 26П – 31П).

Обоснование параметров процесса получения гранул по критерию крошимости.

На данном этапе эксперимента, в качестве значимых факторов, выбраны следующие факторы:

- 1) α_1 / C_K – содержания мела в композиции, %;
- 2) α_2 / λ_k – степень измельчения, ед.;
- 3) α_3 / χ – соотношение между длиной канала – l_0 и его диаметром – d_0 (l_0/d_0), ед.

В качестве критерия оптимизации принята крошимость гранулята:

Δ_5 / Kp_1 ; Δ_6 / Kp_2 – крошимость гранул, соответственно по первому и второму рецепту, %.

Уравнения общего вида представлены следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_{5-6} / Kp = f(C_K; \lambda_k; \chi) \rightarrow \min$$

Функции критериев нелинейны, поэтому факторы приняты на трех уровнях (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Параметры и их значения

Факторы	C_K , %	λ_k , ед.	χ , ед.
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значение по +	15,00	35,00	8,00
Значение по 0	10,00	30,00	6,00
Значение по -	5,00	25,00	4,00

Коэффициенты определены с помощью плана (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Стандартный план эксперимента и результаты по определению – Δ_5

Номер опыта	α_1	α_2	α_3	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	Kp_1 , %
							Δ_5
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	7,50000
2	-1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,70000
3	+1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,10000
4	-1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,50000
5	+1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,00000
6	-1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,30000

1	2	3	4	5	6	7	8
7	+1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,20000
8	-1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,80000
9	1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	8,90000
10	-1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	8,00000
11	0	1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	9,30000
12	0	-1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	6,90000
13	0	0	1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	6,80000
14	0	0	-1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	5,90000
15	0	0	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	-0,730300	4,00000

Критерий Стьюдента $t = 0,76500$ [1], что говорит о значимости коэффициентов.

Таблица 3.19 – Значимость коэффициентов для Δ_5/Kp_1

Коэффициенты	Проверка по критерию Стьюдента		
	Значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	7,94900	0,022200	23,5900
b_1	-0,40200	0,030400	-2,3100
b_2	0,25700	0,030400	1,4700
b_3	-0,03700	0,030400	-0,2100
b_{12}	-0,18800	0,041700	-0,9200
b_{13}	0,03800	0,041700	0,1800
b_{23}	0,16300	0,041700	0,800
b_{123}	0,26300	0,041700	-1,2900
b_{11}	1,60100	0,076400	5,7900
b_{22}	1,36400	0,076400	4,9400
b_{33}	0,1800	0,076400	0,6500

В соответствии со значимыми коэффициентами уравнение в кодированном виде:

$$\Delta_5 = 7,94900 - 0,402\alpha_1 + 0,257\alpha_2 - 0,188\alpha_1\alpha_2 + 0,163\alpha_2\alpha_3 - 0,263\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,601\alpha_1^2 + 1,364\alpha_2^2 \quad (3.30)$$

Адекватность по критерию Фишера, который при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 1$ и 95%-ном уровне значимости равен $F = 19,4$ [1].

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, приведены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Дисперсия по выходному параметру Δ_5/Kp_1

Номер опыта	Δ_5		
	Δ_u	$\hat{\Delta}_u$	$(\Delta_u - \hat{\Delta}_u)^2$
1	7,50000	9,56700	4,27172593300
2	9,70000	9,20000	0,24989268200
3	8,10000	5,15300	8,68701337600
4	8,50000	5,95700	6,46645424700
5	8,00000	8,11000	0,01218613700
6	9,30000	8,91500	0,14834635100
7	8,20000	4,86700	11,10648187400
8	9,80000	5,67200	17,04193020900
9	8,90000	6,54500	5,54664206600
10	8,000000	7,52300	0,22791127300
11	9,30000	9,00500	0,08730643100
12	6,90000	5,06300	3,37477081300
13	6,80000	7,20700	0,16572202700
14	5,90000	6,86000	0,92232734300
15	4,00000	7,03400	7,29216498700

Значения показателя - $F = 17,89100$, а это значит, что уравнение (3.30) адекватно.

Уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$\begin{aligned}
 Kp_1 = & 72,85800 - 2,08100C_K - 3,56100\lambda_k - 2,06300\chi + \\
 & + 0,02400C_K\lambda_k + 0,15800C_K\chi + 0,06900\lambda_k\chi - 0,0052500C_K\lambda_k\chi + \quad (3.31) \\
 & + 0,06400C_K^2 + 0,05500\lambda_k^2 \rightarrow \min
 \end{aligned}$$

Поверхности по Kp_1 , % (программа SigmaPlot v. 11.0) построены по двум факторам, приложение 5 (рисунки 32П, 33П, 3.13, 34П, 35П).

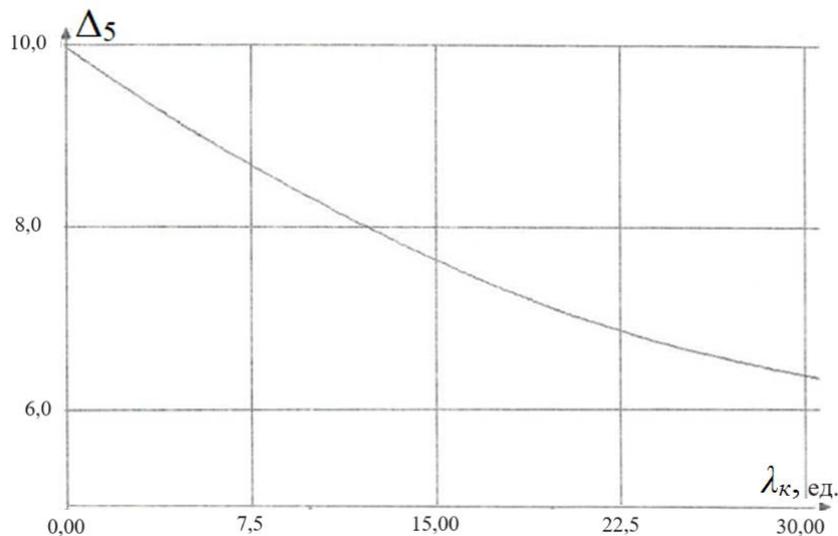


Рисунок 3.13 – График функции Kp_1 в зависимости от $\alpha_1 - C_K$ (при $\lambda_k = 30$ ед.)

$$Kp_1 = 15,159 - 1,361C_K + 0,0651C_K^2 \rightarrow \min \quad (3.32)$$

Для отклика $\Delta_6/Kp_2 \rightarrow \min$, факторы и значения их уровней приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Параметры и их значения

Факторы	$C_K, \%$	$\lambda_K, \text{ед.}$	$\chi, \text{ед.}$
Параметры	α_1	α_2	α_3
Значения по +	15,00	35,00	8,00
Значение по 0	10,00	30,00	6,00
Значения по -	5,00	25,00	4,00

Стандартный план эксперимента представлен (таблица 3.22).

Таблица 3.22 – Стандартный план эксперимента по крошимости $Kp_2, \%$

Номер опыта	α_1	α_2	α_3	$\alpha'_1 = \alpha_1^2 - d$	$\alpha'_2 = \alpha_2^2 - d$	$\alpha'_3 = \alpha_3^2 - d$	$Kp_2, \%$
							Δ_6
1	+1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,00000
2	-1	+1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,20000
3	+1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,90000
4	-1	-1	+1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,00000
5	+1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	9,30000
6	-1	+1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,40000
7	+1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,40000
8	-1	-1	-1	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	$269,7 \cdot 10^{-3}$	8,50000
9	1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	7,10000
10	-1,21540	0	0	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	7,70000
11	0	1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	9,90000
12	0	-1,21540	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	9,80000
13	0	0	1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	5,70000
14	0	0	-1,21540	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$746,9 \cdot 10^{-3}$	5,80000
15	0	0	0	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	$-730,3 \cdot 10^{-3}$	3,00000

Данные по проверке значимости коэффициентов, приведены в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – К проверке значимости коэффициентов для показателя Δ_6/Kp_2

Коэффициенты	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Значение	$S^2 \{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2 \{b_i\}}}$
b_0	7,9200	0,053700	14,6800
b_1	-0,011200	0,073500	-0,4100
b_2	0,0200	0,073500	0,0700
b_3	0,03500	0,073500	0,1300
b_{12}	-0,1300	0,100600	-0,0400
b_{13}	-0,26300	0,100600	-0,8300
b_{23}	-0,18800	0,100600	-0,5900
b_{123}	-0,26300	0,100600	-0,8300
b_{11}	1,100	0,184500	2,5600
b_{22}	2,75900	0,184500	6,4200
b_{33}	-0,01600	0,184500	-0,0400

Значимыми коэффициентами являются следующее – $b_0, b_{13}, b_{123}, b_{11}, b_{22}$.

Уравнение в кодированной форме:

$$\Delta_6 = 23,267 - 0,83\alpha_1\alpha_3 - 0,263\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 1,1\alpha_1^2 + 2,759\alpha_2^2 \rightarrow \min \quad (3.33)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера [1].

Значения выходного показателя, вычисленные по уравнению, приведены в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – К расчету дисперсии адекватности по показателю Δ_6/Kp_2

Номер опыта	Δ_6		
	Δ_u	$\hat{\Delta}_u$	$(\Delta_u - \hat{\Delta}_u)^2$
1	8,00000	10,13600	4,56400371700
2	9,20000	9,71100	0,26151032200
3	8,90000	3,92800	24,71587765400
4	9,00000	4,15300	23,49416437600
5	9,30000	9,45100	0,02273802800
6	8,40000	9,67500	1,62618603900
7	8,40000	3,89200	20,31906521300
8	8,50000	4,11700	19,21278171200
9	7,10000	6,66500	0,18881509100
10	7,70000	6,93800	0,58027524500
11	9,90000	10,18000	0,07825003300
12	9,80000	3,42400	40,6536138900
13	5,70000	6,82400	1,26299753100
14	5,80000	6,78000	0,96016832100
15	3,00000	6,80200	13,703743100

Значение критерия Фишера равно: $F = 17,125$, а это значит, что уравнение адекватно.

Уравнение в раскодированном виде:

$$Kp_2 = 119,5200 - 1,66800C_K - 6,93700\lambda_k - 1,31300\chi + \\ + 0,031500C_K\lambda_k + 0,13100C_K\chi + 0,0525\lambda_k\chi - 0,005300C_K\lambda_k\chi + \\ + 0,04400C_K^2 + 0,1100\lambda_k^2 \rightarrow \min \quad (3.34)$$

Построение поверхностей осуществлено с помощью (программы SigmaPlot v.11.0), при изменениях двух факторов (приложение 5, рисунки 3.14, 36П – 39П).

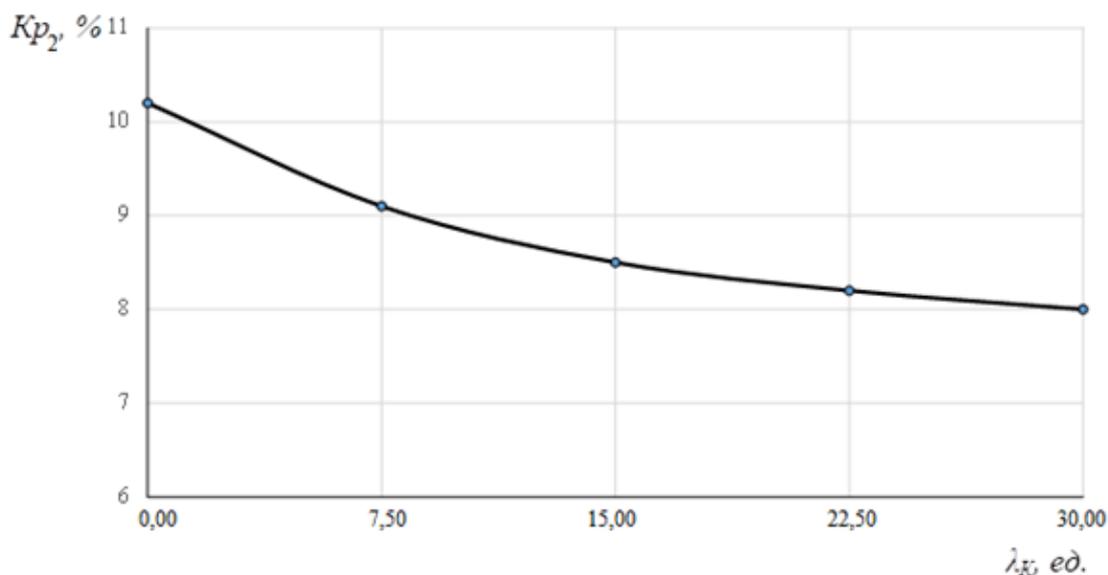
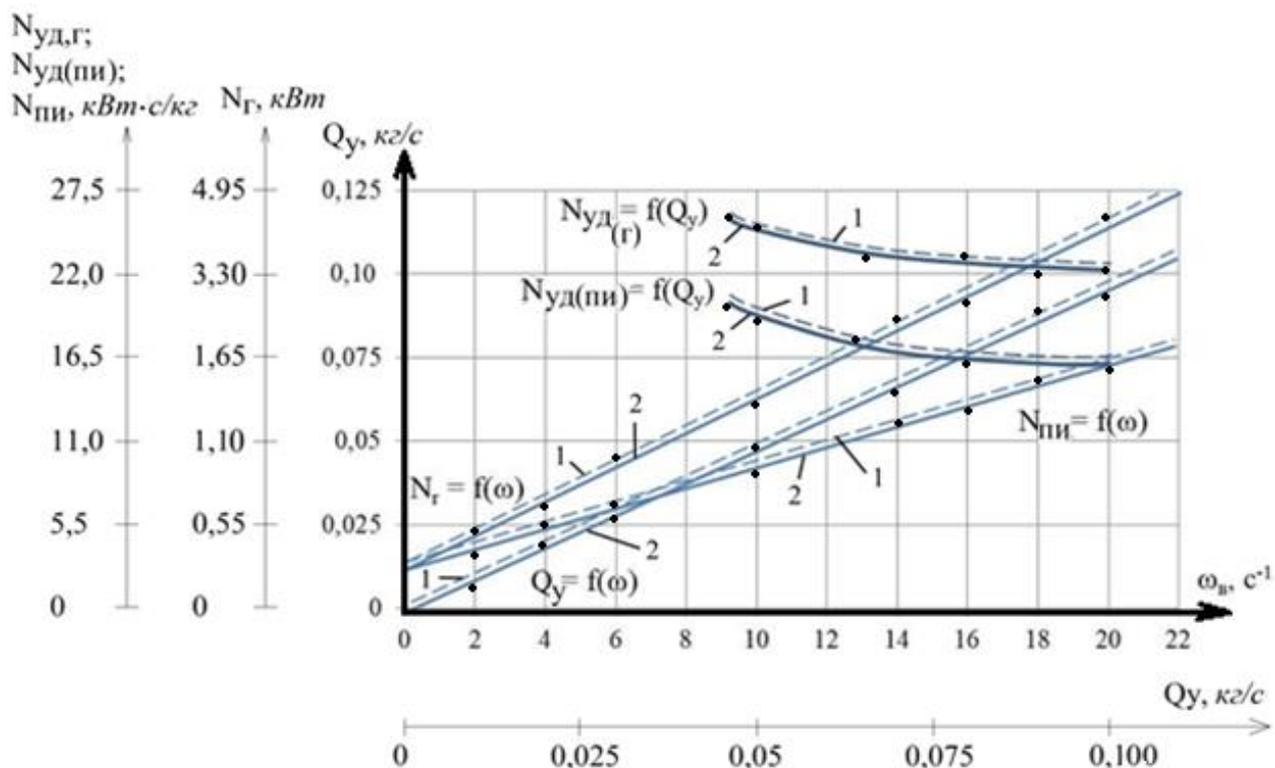


Рисунок 3.15 – График зависимости Kp_2 от λ_k (при $C_K = 10,00$ %)

$$Kp_2 = 107,24400 - 6,62200\lambda_k + 0,01100\lambda_k^2 \quad (3.35)$$

На рисунке 3.15 представлены зависимости, характеризующие производительность мощность ПГ от угловой скорости ω_b , а также энергоемкости $N_{уд(ПИ)}$ и $N_{уд(Г)}$ от производительности устройства.

Анализ зависимостей $N_{уд(ПИ)} = f(Q_y)$ и $N_{уд(Г)} = f(Q_y)$, приведенных на рис. 3.15. показывает, что энергоемкость устройства на получении пасты в диапазоне производительности Q_y от 0,04 кг/с до 0,1 кг/с снижается с $19,25 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$ до $16,2 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$, а на получении гранул – с $27,5 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$ до $22 \frac{\text{кВт}\cdot\text{с}}{\text{кг}}$.



1 – теоретические – по формулам (2.111), (2.114), (2.115), (2.122), (2.140) и (2.141)

2 – экспериментальные

Рисунок 3.15 – Зависимости производительности Q_y и мощности N_G от ω_b , $N_{yд(г)}$ и $N_{yд(пи)}$ от Q_y на приготовлении пасты и гранул

– для $\delta_{Q_y} = \left(1 - \frac{0,095}{0,1}\right) \cdot 100\% = \pm 5,0\%$; для $\delta_{N_G} = \left(1 - \frac{1,86}{2,0}\right) \cdot 100\% = \pm 7,0\%$;

– для $\delta_{N(пи)} = \left(1 - \frac{1,50}{1,62}\right) \cdot 100\% = \pm 7,4\%$; для $\delta_{N_{yд(г)}} = \left(1 - \frac{21,0}{22,0}\right) \cdot 100\% = \pm 5,3\%$;

– для $\delta_{N_{yд(пи)}} = \left(1 - \frac{15,1}{16,5}\right) \cdot 100\% = \pm 8,5\%$

В результате проведенного эксперимента для зависимости (2.94) определены численные значения коэффициентов C_1 и C_2 , входящих в нее, при следующих установленных значениях параметров:

$$N_{пи}^э = 1,62 \text{ кВт}; \lambda_K = 30 \text{ ед.}; Q_{пгy} = 0,1 \text{ кг/с (360 кг/ч)}.$$

$$\frac{N_{пи}^э}{Q_{пгy}} = C_1 \cdot \lg \lambda_K^3 + C_2 (\lambda_K - 1),$$

где $C_2 = 0,643 \cdot C_1$ как было установлено ранее.

При этом имеем, что

$$C_1 = \frac{N_{\text{ПИ}}^{\text{э}}}{Q_{\text{ИГУ}}[\lg \lambda_{\text{к}}^3 + 0,643(\lambda - 1)]} = \frac{1,62}{0,1[\lg \cdot 27 \ 000 + 0,643(30 - 1)]} =$$

$$= \frac{16,2}{(4,43 + 0,643 \cdot 29)} = \frac{16,2}{23,077} = 702,0 \text{ Дж/кг};$$

$$C_2 = 0,643 \cdot 70,2 = 451,4 \text{ Дж/кг}.$$

Согласно данным д.т.н. профессора Мельникова С. В. [55], для ячменя можно принять $C_1=10,0 \cdot 10^3$ Дж/кг и $C_2=6,0 \cdot 10^3$ Дж/кг. Тогда для достигнутых значений $\lambda=30$ ед. и $Q=0,1$ кг/с определим мощность, необходимую для измельчения зерна без картофельной составляющей с помощью используемого решетчато-ножевого аппарата:

$$N = (10,0 \cdot 10^3 \cdot 4,43 + 6,0 \cdot 10^3 \cdot 18,6) \cdot 0,1 \text{ кг/с} = 15,6 \text{ кВт}$$

Таким образом, для измельчения ячменя, в составе картофельно-зерновой композиции, требуется мощность в 9,63 раза ($\gamma = \frac{15,6 \text{ кВт}}{1,62 \text{ кВт}} = 9,63$) меньше, чем при измельчении сухого зерна с помощью решетчато-ножевого аппарата.

Обусловлено это тем, что измельчающий аппарат решетчато-ножевого типа обладает режуще-перетирающе-смешивающей способностью.

При воздействии ножей на картофельно-зерновую композицию влага перераспределяется от картофельного компонента к измельчаемому зерновому.

При влажности картофеля, равной 80,0% и ячменя, равной 10,0% усредненная влажность составит 45,0%. При такой влажности затраты энергии на измельчение зерна значительно снижаются.

Таким образом, в результате технологического подхода путем использования зерна в композициях с влажным компонентом (картофельным, тыквенным, рыбным и т.д.) обеспечивается существенное снижение затрат энергии на измельчение такого зерна с помощью аппарата решетчато-ножевого типа.

На рисунке 3.16 представлена зависимость, характеризующая качество гранул по показателю их крошимости - $K_p, \%$ от однородности пастовой кар-

тофельно-зерновой композиции – θ , %, согласно которой с увеличением показателя θ , % – крошимость – K_p снижается по экспоненте и достигает значения $K_p = 8,0\%$ при $\theta = 98\%$.

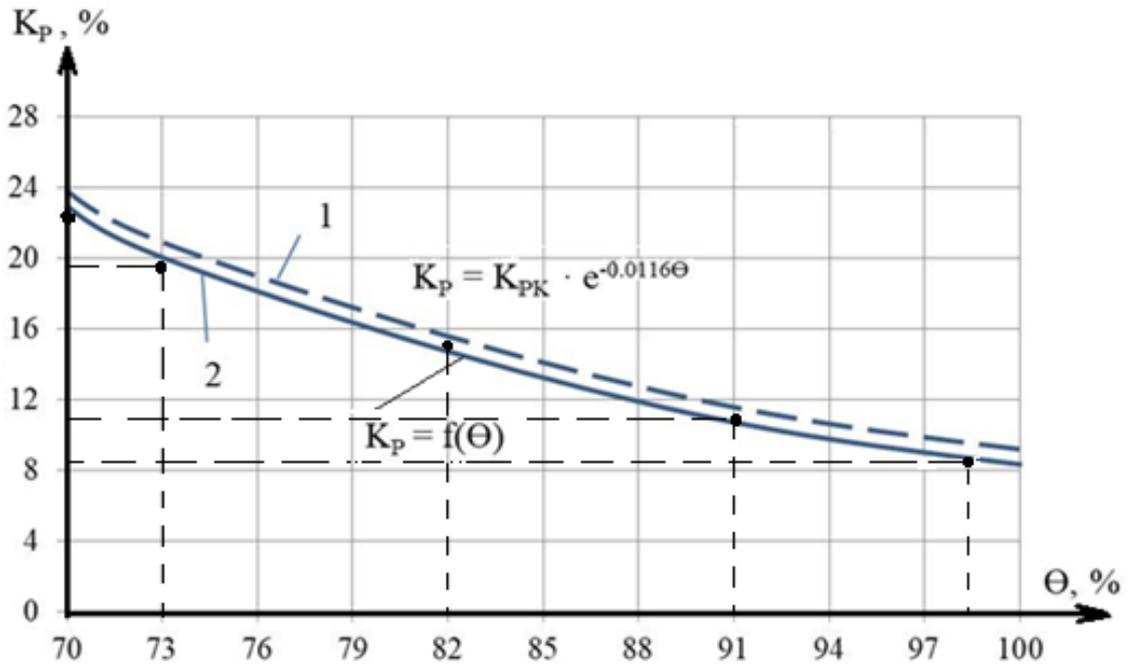


Рисунок 3.16 – Зависимости крошимости гранул K_p , %, от однородности пастовой картофельно-зерновой композиции θ , %.

$$\delta_{кр} = \left(1 - \frac{7,6}{8,0}\right) \cdot 100\% = \pm 5,0 \%$$

1 – теоретическая по формуле (2.8);

2 – экспериментальная.

Выводы по главе 3:

1. В результате проведенных опытов и обработки экспериментальных данных по процессу получения пасты, установлено, что оптимальными значениями параметров являются:

- степень измельчения – $\lambda_K = 29-31$ ед.;
- влажность – $W = 78-82$ %;
- соотношение площадей камеры и отверстий – $C_K = 5,15 - 5,4$ ед. при значениях $N_{y\partial(III)} = 16,2$ кВт·с/кг (0,0045 кВт·ч/кг) с расхождением расчетных и экспериментальных данных по энергоемкости $\delta_{N_{y\partial(III)}} = \pm 8,5$ %, с однородностью пасты $\theta = 95,0$ %, при исходной $\theta = 80,0$ %.

2. При этом, установлено, что энергоемкость предложенного устройства на пастоизготовлении на 37,7% ниже, чем у аналога (без первого неподвижного фигурного ножа) (0,0062 кВт·ч/кг). Снижение энергоемкости обусловлено интенсивным перераспределением картофельного сока между частицами зерна и насыщением их этим соком, за счет давления, создаваемого подающим винтом.

3. Для полученной пастовой картофельно-зерновой композиции, согласно расчетам по рабочей формуле д.т.н., профессора Мельникова С.В., при $\lambda = 30$ ед., $Q_{ПН}=0,1$ кг/с и $N_{ПН}=1,62$ кВт определены значения коэффициентов C_1 и C_2 , характеризующих удельную работу измельчения зерна в картофельно-зерновой композиции, которые равны $C_1=702$ Дж/кг и $C_2=451,4$ Дж/кг;

4. Проведенным анализом полученных данных установлено, что оптимальными значениями факторов по процессу получения гранул на основе картофельно-зерновых композиций являются следующие:

- угловая скорость винта – $\omega_g = 17-21$ с⁻¹;
- 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 значениях энергоемкости $N_{y\partial_1} = 21,0 - 21,5$ кВт·с/кг (0,00580-0,00597 кВт·ч/кг) с расхождением теоретических и экспериментальных данных по энергоемкости $N_{y\partial(G)} = \pm 5,3 \%$, при крошимости сушеных гранул $Kp = \pm 8,0 \%$.

5. При этом, установлено, что энергоемкость предложенного устройства на получении гранул в 2,55 раза ниже, чем у аналога (0,0176 кВт·ч/кг) - дискового гранулятора (метод сухого прессования предварительно дробленого фуражного зерна) за счет влажного прессования.

6. На разработанный пастоизготовитель-гранулятор ВНИИ ГПЭ выдан патент РФ на изобретение № 2804103 согласно приложению 7.

7. На разработанный способ приготовления витаминно-кальциевой добавки для гусей ВНИИ ГПЭ выдан патент РФ на изобретение № 2805870, согласно приложению 9.

Глава 4 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОЦЕНКА ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Условия проведения производственной проверки и оценка технико-экономической эффективности основных результатов исследований

Производственная проверка основных результатов исследований проводилась в условиях крестьянского (фермерского) хозяйства ИП Радаева В.Г. с последующим внедрением в хозяйствах Белогорского и Серышевского муниципальных округов Амурской области (приложение б).

В качестве исходного базового рациона для водоплавающей птицы (уток) принят рецепт ПК 22-3-89 [102], разработанный Белорусской ЗОСП с заменой шрота соевого и дрожжей кормовых на обезжиренную термообработанную соевую муку.

Следует отметить, что в рецептуру данного вида корма предусмотрено добавление лизина в количестве 900-2500 грамм на одну тонну и метионина от 1900 до 6000 грамм на тонну.

При этом, данные незаменимые аминокислоты содержатся в соевой муке.

Для гусей за основу принят рецепт ПК33-3-89, разработанный ВНИИ ТиП для продуктивности птицы выше 35 %, с заменой соевого шрота также на обезжиренную термообработанную соевую муку.

Дополнительно, для данного рациона предусмотрено включение метионина до 1600 грамм на одну тонну.

Кроме этого, рецептурой предусмотрено и для уток, и для гусей жир кормовой, а также мел до 5,0 % [102].

При этом, использовалась соевая мука, приготовленная в условиях

ООО «Соевые технологии» с. Тамбовка Амурской области.

Общий вид сырья, на основе которого готовились кормовые продукты водоплавающей птице приведён в приложениях 1-4.

Параметры и режимы работы оборудования устанавливались на значениях, которые были установлены в процессе проведения эксперимента.

По результатам проведенной производственной проверки разработаны технологическая и конструктивно-технологическая схемы линии по производству пасты и гранулята водоплавающей птице (гуси и утки) (рисунок 4.1 и 4.2).



I – режим приготовления пастообразного продукта;

II – режим получения гранулята

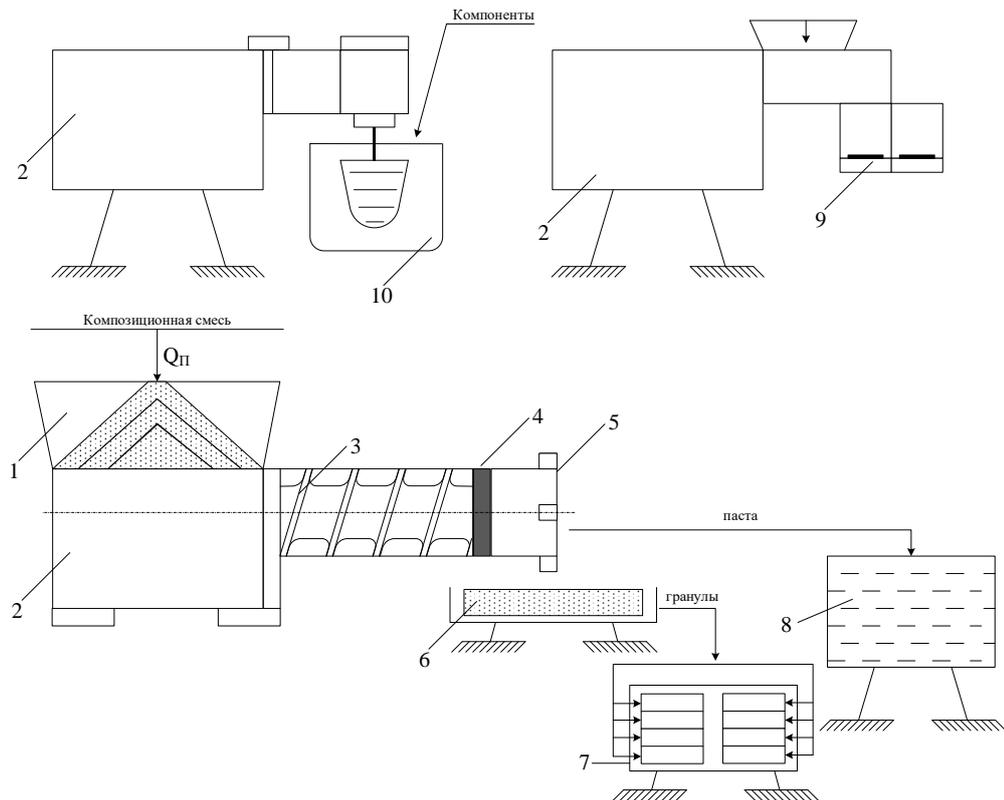
Рисунок 4.1 – Технологическая схема приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице

В качестве оборудования для сушки использовался шкаф сушильный «Универсал» со следующей технической характеристикой:

- напряжение питания, В – 380/220,50 Гц;
- установленная мощность, кВт – 12,0;

- средняя потребляемая мощность, кВт – 7,5;
- количество режимов сушки – 9,0;
- габаритные размеры, мм – 1170×805×1435;
- разовая загрузка, кг – 35,0;
- масса*, кг – 350,0.

* – может комплектоваться вентиляционным устройством.



- 1 – приемный бункер; 2 – привод; 3 – винт; 4 – измельчающе-гомогенизирующий узел;
 5 – формующе-гранулирующий узел; 6 – лоток сетчатый;
 7 – камерная сушилка «ЭСПИС-4»-«Универсал»; 8 – емкость;
 9 – измельчитель (модуль); 10 – смеситель (модуль)

Рисунок 4.2 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице

Цена с полимерными лотками – 80 000 руб.

Температурный режим поддерживается на уровне 90-95 °С.

Крошимость гранул составила 5-8 % в зависимости от вида композиций.

На основании проведенной проверки разработаны рекомендации для товаропроизводителей (КФХ, ЛПХ и т.д.).

Рекомендации приняты к использованию:

– администрациями Белогорского и Серышевского районов (приложение б);

Техническая характеристика предложенного пастоизготовителя-гранулятора:

1) производительность:

- на пасте – 360 кг/ч;

- на влажных гранулах – 360 кг/ч;

2) установленная мощность – 2,5 кВт;

3) частота вращения винта – 185 об/мин.

Габаритные размеры:

- длина – 485,000 мм;

- ширина – 485,000 мм;

высота – 455,000 мм.

Масса ПГ – 200 кг.

Масса с модулями (измельчитель, смеситель) общая – 350 кг.

Обслуживающий персонал – 1 чел.

Расчет экономической эффективности проводили в сравнении с базовым вариантом, выбранным в соответствии с ГОСТ 34393-2018 [21].

За базовый вариант принят комплект оборудования для приготовления гранул на основе смеси дробленых зерновых (пшеница, ячмень, горох) и измельченной сухой зеленой массы из разнотравья. Данный комплект разработан и производится фирмой «Артмаш». В его состав входит гранулятор дисковый марки ГДР-125, охладительная колонка и дробилка зерна ИУ-Ф-10.

Данный комплект является наиболее близким, несмотря на то, что гранулы с его помощью готовятся по методу сухого прессования ($\phi_{\min} = 2,5$ мм).

При этом, с его помощью невозможно готовить пастообразные кормовые продукты на основе измельченной зеленой массы во влажном состоянии, а также корнеклубнеплодов, тыквы и т.д.

Для базового варианта измельчения сухая травяная смесь используется

в качестве источника β -каротина. Для предлагаемого варианта в качестве источника β -каротина использована тыква сорта «Стофунтовая».

Основные технико-экономические показатели по сравниваемым вариантам приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технико-экономические показатели оборудования по сравниваемым вариантам

№ п/п	Оборудование и наименование показателей	Ед. измерения	Сравниваемые варианты		Степень превышения
			базовый производства «Артмаш» - ГДР-125	предлагаемый ПГ-360	
1	Производительность на гранулах $\varnothing = 2,0$ мм	кг/ч	по гранулам – 125 по пасте – нет	по гранулам – 360 по пасте – 360	2,4 –
2	Установленная мощность:				
2.1	дробилки зерна	кВт	15,0	–	–
2.2	смесителя периодического действия		1,5	1,5	–
2.3	гранулятора		2,2	2,5	1,13
2.4	охладительной колонки		2,2	–	–
2.5	сушильного шкафа «Универсал»		–	12	12
2.6	измельчителя		–	1,5	–
	Всего	кВт	20,7	17,5	1,18000
3	Масса оборудования	кг	850,0	550	1,54000
4	Энергоемкость	кВт·ч/кг	0,138000	0,04900	2,8000
5	Металлоемкость	кг/кг/ч	5,66000	1,5300	3,6000
6	Энергоемкость гранулятора	кВт·ч/кг	0,0176	0,007	2,5

Экономический эффект по эксплуатационным затратам рассчитан в соответствии с ценами, сложившимися на 01.01.2024 г. по известным методикам [32, 58].

Таблица 4.2 – Характеристика комплектов оборудования по принятым базовому и предлагаемому вариантам

№ п/п	Наименование оборудования	Количество	Установленная мощность	Балансовая стоимость, руб.
1	2	3	4	5
1.	Комплект оборудования «Артмаш»	1		
1.1	дробилка зерна	1	15,0	350 000
1.2	смеситель	1	1,5	30 000
1.3	гранулятор – ГДР-125	1	2,2	120 000
1.3	охладительная колонка с просеивателями	1	2,2	98 000
Всего			20,7	568 000

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
2	Предлагаемый комплект	1		
2.1	модуль измельчения ККП	1	1,5	20 000
2.2	модуль смешивания	1	1,5	22 000
2.3	пастоизготовитель-гранулятор	1	2,5	181 000
2.4	шкаф сушильный «Универсал»	1	12,0	180 000
Всего			17,5	403 000

Годовые эксплуатационные издержки определяем как сумму:

$$Z_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5, \quad (4.1)$$

где C_1 – годовые издержки на зарплату работников, включая расходы, связанные с отчислениями в фонды социального и медицинского страхования и пенсионный фонд, руб.;

C_2 – сумма амортизационных отчислений, руб.;

C_3 – издержки на текущий ремонт и содержание оборудования, руб.;

C_4 – издержки на электроэнергию, руб.;

C_5 – прочие накладные расходы, руб.

Годовые издержки на заработную плату работников, включая начисления:

$$C_1 = k \cdot T \cdot C_p \cdot K_{доп}, \quad (4.2)$$

где k – количество рабочих;

T – продолжительность работы, ч.;

C_p – часовая тарифная ставка рабочего, руб./ч.;

$K_{доп}$ – коэффициент, учитывающий отчисления в фонды:

$$K_{доп} = K_{соц} \cdot K_{мед} \cdot K_{пен} \cdot K_{фз} = 1,429736, \quad (4.3)$$

где $K_{соц} = 1,054$ – коэффициент, учитывающий отчисления в фонд социального страхования;

$K_{мед} = 1,036$ – коэффициент, учитывающий отчисления в фонд медицинского страхования;

$K_{пен} = 1,29$ – коэффициент, учитывающий отчисления в пенсионный фонд;

$K_{фз} = 1,015$ – коэффициент, учитывающий отчисления в фонд занятости.

Амортизационные отчисления на капитальный ремонт:

$$C_2 = \frac{B \cdot K_0}{100}, \quad (4.4)$$

где B – балансовая стоимость оборудования, руб.;

K_0 – коэффициент амортизации, руб.

Затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования:

$$C_3 = \frac{B \cdot K_{тр}}{100}, \quad (4.5)$$

где $K_{тр}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на текущий ремонт, руб.

Затраты на электроэнергию

$$C_4 = N_{уст} \cdot T_{э} \cdot t, \quad (4.6)$$

где $N_{уст}$ – установленная мощность, кВт;

$T_{э}$ – отпускной тариф, руб./кВт·ч;

t – время работы оборудования, ч.

Прочие накладные расходы

$$C_5 = C_1 \cdot K_{доп} / K_{кр}, \quad (4.7)$$

где $K_{кр}$ – коэффициент, учитывающий прочие накладные расходы, равный 1,89.

Результаты расчётов представлены в таблицах 4.3 и 4.4.

$$C_1 = 1 \cdot 2555 \cdot 200,0 \cdot 1,429 = 730\,595,5 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$C_2^B = 568\,000 \cdot 0,39 = 221\,520 \text{ руб.}$$

$$C_2^{Пр} = 403\,000 \cdot 0,39 = 157\,170 \text{ руб.}$$

Отчисления на текущий ремонт и обслуживание:

$$C_3^B = 568\,000 \cdot 0,05 = 28\,400 \text{ руб.}$$

$$C_3^{Пр} = 403\,000 \cdot 0,05 = 20\,150 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$C_4^B = 20,7 \cdot 2555 \cdot 8,5 = 449\,552,25 \text{ руб.}$$

$$C_4^{Пр} = 17,5 \cdot 2555 \cdot 8,5 = 380\,056,25 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с прочими накладными расходами

$$C_5 = 730\,595,5 \cdot 1,89/1,395 = 989\,839,06 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$З^B = 730\,595,5 + 221\,520 + 28\,400 + 449\,552,25 + 989\,839,06 = 2\,419\,906,81 \text{ руб.}$$

$$З^{Pr} = 730\,595,5 + 157\,170 + 20\,150 + 380\,056,25 + 989\,839,06 = 2\,277\,810,81 \text{ руб.}$$

Таблица 4.3 – Основные технико-экономические показатели к расчёту годовых эксплуатационных затрат

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Показатели при применении	
			Базового варианта	Предлагаемого варианта
Балансовая стоимость	B_1	руб.	568 000	403 000
	B_2	руб.		
Количество работников	k	чел.	1	1
Часовая тарифная ставка	C_p	руб.	200,0	200,0
Коэффициент, учитывающий отчисления в фонды	$K_{дон}$		1,429736	1,429736
Коэффициент использования оборудования	$K_{и}$		0,8	0,8
Действительный годовой фонд рабочего времени	$\Phi_{д}$	ч	2555	2555
Годовой объём работ	$G_{год}$	т	255,5	255,5
Коэффициент, учитывающий отчисления на текущий ремонт	$K_{тр}$		0,05	0,05
Коэффициент, учитывающий отчисления на капитальный ремонт	$K_{а}$		0,39	0,39
Тариф на электроэнергию	$T_{э}$	руб/кВт·ч	8,5	8,5
Нормативный коэффициент капитальных вложений	$E_{н}$		0,15	0,15
Коэффициент, учитывающий прочие накладные расходы	$K_{пр}$		1,89	1,89

Таблица 4.4 – Затраты на реализацию процесса приготовления кормовых продуктов в виде гранулята

№ п/п	Элемент затрат	Обозначение	Единица измерения	Показатели при применении	
				Базового варианта	Предлагаемого варианта
1	2	3	4	5	6
1.	Зарплата с начислениями	C_1	руб.	730 595,5	730 595,5
2.	Амортизационные отчисления	C_2	руб.	221 520	157 170

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
3.	Затраты на текущий ремонт	C ₃	руб.	28 400	20 150
4.	Затраты на электроэнергию	C ₄	руб.	449 552,25	380 056,25
5.	Прочие накладные расходы	C ₅	руб.	989 839,06	989 839,06
6.	Годовые эксплуатационные затраты	З	руб.	2 419 906,81	2 277 810,81
7.	Годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам	Э	руб.	–	142 096,0

Годовой эффект по эксплуатационным затратам:

$$\text{Э} = 2\,419\,906,81 - 2\,277\,810,81 = 142\,096,0 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости:

$$O = 403\,000 / 142\,096,0 = 2,8 \text{ года.}$$

Снижение металлоёмкости:

$$M = 5,66 / 1,53 = 3,6 \text{ раза.}$$

Снижение энергоёмкости:

$$\text{Э}_н = 0,138 / 0,049 = 2,8 \text{ раза.}$$

Совокупность технико-экономических показателей приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Технико-экономические показатели известных и предлагаемых технологических и технических решений

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Варианты	
			Базовый вариант	Предлагаемый вариант
1.	Эксплуатационные затраты	руб.	2 419 906,81	2 277 810,81
2.	Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат	руб.	-	142 096,0
3.	Срок окупаемости	год	-	2,8
4.	Снижение металлоёмкости	раз	-	3,6
5.	Снижение энергоёмкости	раз	-	2,8

В результате проведенной проверки также установлено, что энергоемкость предложенного устройства меньше на 37,7% чем у аналога (без первой фигурной решетки в составе измельчающего аппарата), так как

$$N_{\text{э}} = \frac{1,62 \text{ кВт}}{360 \text{ кг/ч}} = 0,0045 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}} \text{ и, тогда } \frac{0,0062 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}}{0,0045 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}} = 1,377$$

Для гранулятора ГДР (сухое гранулирование)

- при $Q = 125 \text{ кг/ч}$ и $N_{\text{Г}} = 2,2 \text{ кВт}$

$$N_{\text{эБ}} = \frac{2,2 \text{ кВт}}{125 \text{ кг/ч}} = 0,0176 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}} \text{ м}$$

Для предлагаемого гранулятора (влажное гранулирование)

$$N_{\text{эП}} = \frac{2,2 \text{ кВт}}{360 \text{ кг/ч}} = 0,0069 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}} \text{ и, тогда } \frac{0,0176 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}}{0,0069 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}} = 2,55, \text{ т.е}$$

Энергоемкость предложенного гранулятора в 2,55 раза ниже чем у аналога.

Согласно таблице 4.1 также получили снижение энергоемкости по сравниваемым комплектам оборудования в 2,8 раза

Выводы по главе 4:

1. На основе проведенной производственной проверки основных результатов исследований установлено, что разработанный пастоизготовитель-гранулятор позволяет получить пастообразный и гранулированный кормовые продукты для гусей и уток с показателями однородности смеси, степени измельчения и крошимости гранул соответствующими зоотехническим требованиям при производительности устройства $Q_{\text{в}} = 360 \text{ кг/ч}$.

Требуемая однородность смеси, равная $\theta = 95 \%$ достигается в том случае, когда на входе устройства неоднородность композиционной смеси в виде «Тыква + соевая мука + мел» находится на уровне не менее 80 %.

Смешивающая способность устройства обеспечивается за счет подачи смеси винтом, с последующим измельчением в четырёхступенчатом решетчато-ножевом аппарате и уплотнением смеси в структурирующей камере.

При этом, крошимость полученных гранул $\varnothing = 2,0 - 3,0$ мм и высушенных с помощью установки «ЭСПИС-4-Универсал», составляла 8%, благодаря высокой однородности получаемой смеси.

Привод устройства осуществлялся с помощью электродвигателя с установленной мощностью 2,5 кВт;

2. Результаты, полученные в ходе производственной проверки, положены в основу расчетов по сравнительной технико-экономической эффективности предложенных технологических и технических решений.

При этом, в качестве базового варианта принят комплект оборудования, производимый фирмой «Артмаш».

Данный комплект обеспечивает получение гранул методом сухого прессования при установленной мощности электродвигателя гранулятора ГДР-125 – $N = 2,2$ кВт, при работе которого используется предварительно измельченное фуражное зерно с помощью дробилки ИУ-Ф-10.

Расчётный годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам составляет 142 096 руб./год, при сроке окупаемости 2,8 года, снижении энергоемкости в 2,8 раза, металлоемкости в 3,6 раза и годовом объеме производства 255,5 т/год.

По результатам проведения производственной проверки разработаны рекомендации производству.

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 питающего-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 исходного сырья, степени его 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 и энергоемкость в зависимости от условий работы ПИГУ и СФУ.

Получены выражения для определения смешивающей способности и степени измельчения 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⁻¹;

- 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 вы-

рациваемого поголовья уток и гусей;

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 системы приготовления пасты и создания запаса в виде гранулированных кормовых продуктов на основе соево-тыквенных и картофельно-зерновых композиций рациональным является использование предложенного 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 должны соответствовать приведенным 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 ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
- 2 Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – М.: Колос, 1993. – 284 с.
- 3 Апевалов, О.В. Технология приготовления соевой белковой минеральной пасты / О.В. Апевалов, С.М. Доценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 8. – С. 16.
- 4 Апевалов, О.В. Оптимизация параметров установки для производства соевой пасты / О.В. Апевалов, С.М. Доценко, В.В. Самуйло, Р.Ф. Филонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 4. – С. 41.
- 5 Апевалов, О.В. Обоснование параметров пастоизготовителя для технологической линии приготовления соевых кормов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / О.В. Апевалов. – Благовещенск, 2011 г. – 24 с.
- 6 Боярский, Л.Г. Производство и использование полнорационных кормовых смесей / Л.Г. Боярский. – М.: Колос, 1976. – 240 с.
- 7 Бурмага, А.В. Совершенствование процессов и средств механизации кормления КРС полнорационными кормовыми смесями с использованием тыквы: монография / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2012. – 228 с.
- 8 Бушуев, С.В. Технология производства белково-минеральной добавки на основе соевого сырья и морской капусты / С.В. Бушуев, С.М. Доценко, В.В. Самуйло, С.А. Иванов // ВестникКрасГАУ. – 2010. – № 8. – С. 143-146.
- 9 Бушуев, С.В. Технологическая линия приготовления белково-минеральной добавки / С.В. Бушуев, В.В. Самуйло. – Благовещенск: ДальГАУ, 2012. – 18 с.
- 10 Вараксин, С.В. Механико-технологические основы повышения эф-

фективности приготовления кормовых продуктов с использованием соево-зерновых композиций: монография / С.В. Вараксин, С.М. Доценко, С.А. Иванов [и др.]. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – 294 с.

11 Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

12 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.

13 Воякин, С.Н. Научные основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием соевого компонента для с.х. птицы: монография / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, Л.А. Ковалева [и др.]. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 205 с.

14 Воякин, С.Н. Технологические основы процессов и технических средств получения высокобелкового гранулята для птицы на основе сырья животного и растительного происхождения: монография / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, А.Н. Вишневский. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – 283 с.

15 Воякин, С.Н. Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, А.Н. Вишневский. – Благовещенск: Издательство ДальГАУ, 2014. – 62 с.

16 Воякин, С.Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию пропускной способности смесителя-усреднителя / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, П.Н. Школьников // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 4. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_420.doc.

17 Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М., 1963. – 870 с.

18 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.

19 Голосов, А.И. Факторы, влияющие на однородность смеси / А.И. Голосов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981.

– № 9. – С. 26 – 28.

20 Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 7 т. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 1. – 686 с.

21 ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». – М., 2018. – 13 с.

22 Данные о ценах на сельскохозяйственную продукцию Амурской области [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства Амурской области: офиц. сайт. – URL: <http://www.agroamur.ru/14.html> (дата обращения 10.11.2023).

23 Девяткин, А.И. Рациональное использование кормов / А.И. Девяткин. – М.: Россельхозиздат, 1990. – 256 с.

24 Дегтерев, Г.П. Технологии и средства механизации животноводства: учебное пособие / Г.П. Дегтярев. – М. : Столичная ярмарка, 2010. – 384 с.

25 Дмитриченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко, П.Д. Пшеничный. – Л.: Колос, 1975. – 480 с.

26 Доманьков, В.М. Агрегат для очистки и измельчения корнеклубнеплодов / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков, Л.Н. Яковлев // Тракторы и с.-х. машины. – 1988. – № 8. – С. 23 – 25.

27 Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

28 Доценко, С.М. Научно-практические основы технологии приготовления формованных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций: монография / С.М. Доценко, А.В. Бурмага [и др.]. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2017. – 254 с.

29 Доценко, С.М. Размерные характеристики тыквы / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 1996. – С. 24 – 27.

30 Доценко, С.М. Справочник по механизации фермерских хозяйств Дальнего Востока / С.М. Доценко [и др.]. – Благовещенск: Даль-

ГАУ, 1996. – 184 с.

31 Доценко, С.М. Технология и технические средства для подготовки корнеклубнеплодов и тыквы к скармливанию / С.М. Доценко, Я.А. Осипов. – Новосибирск: СибИМЭ, 1990. – 41 с.

32 Драгайцев, В.И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов. – М.: Колос 2010. – 145 с.

33 Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 349 с.

34 Желиговский, В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. – М., 1940. – Вып. 9. – С. 27.

35 Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, Н.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 232 с.

36 Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.

37 Зайцева, М.А. Рекомендации по разработке технологи и технической линии получения водостойких гранулированных кормосмесей для рыб / М.А. Зайцева, Л.А. Ковалева. – Благовещенск, 2007. – 31 с.

38 Зайцева, М.А. Проектирование и расчет оборудования линии по производству гранулята для рыб: методические рекомендации / М.А. Зайцева, Е.А. Неретина [и др.]. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. – 29 с.

39 Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 303 с. 7

40 Иванов, С.А. Совершенствование технологии и технических средств приготовления кормов для животноводства на основе соевого зерна: авторе. дисс. ... докт. техн. наук / С.А. Иванов. – Новосибирск, 2005. – 48 с.

41 Кавецкий, Е.Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Е.Д. Кавецкий, А.В. Королев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 560 с.

42 Ковалева, Л.А. Обоснование технологических и конструктивно-

режимных параметров смесителя-гранулятора / Л.А. Ковалева // Сб. научн. тр. РАСХН, Дальневост науч.-метод центр ВНИИ сои. – Благовещенск, 2007. – С. 181-190.

43 Ковалева, Л.А. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормовых смесей для с -х птицы / Л.А. Ковалева, С.П. Волков, М.А. Зайцева // Типография УВД по Амурской области, 2007. – 30 с. 8

44 Ковалева, Л.А. Обоснование технологии и параметров линии получения высокобелковой соевой добавки с -х птице в виде гранулята / Л.А. Ковалева // Вестник ДальГАУ. – Благовещенск, 2007. – № 3. – С. 99-102.

45 Ковалева, Л.А. Методика расчета технологической линии получения белкового гранулята / Л.А. Ковалева // Сб. научн. тр. РАСХН, Дальневост. науч.-метод. центр ВНИИ сои. – Благовещенск, 2007. – С. 191-193.

46 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1977. – 831 с.

47 Краснов, Д.А. Теоретические основы и расчетные формулы для определения веса проб / Д.А. Краснов. – М.: Недра, 1969. – 124 с.

48 Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

49 Кукта, Г.М. Методика определения неравномерности смешивания кормов / Г.М. Кукта // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 1. – С. 44 – 46.

50 Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.

51 Макаров, В.А. Теоретические основы процесса получения гранулированных бинарных композиций в системе приготовления кормовой добавки / В.А. Макаров и [др.] // Научное обозрение. -2014. – № 8. – С. 861-870.

52 Макаров, В.А. Кинетика усреднения влаги в соево-сапропелевых композициях при кондиционировании смеси / А. Макаров и [др.] // Агро-ЭкоИнфо. – 2017. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

www.agroecoinfo.narod.ru/journal/index.html.

53 Макаров, В.А. Теоретические основы рабочего процесса пресса для производства влажных гранул / В.А. Макаров и [др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.agroecoinfo.narod.ru/journal/index.html.

54 Мартыненко Я.Ф. Промышленное производство комбикормов / Я.Ф. Мартыненко. – М.: Колос, 1975. – 216 с.

55 Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.

56 Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин. – Л.: Колос, 1972. – 182 с.

57 Метод оценки качества смешивания кормов / С.М. Доценко [и др.] // Сб. науч.тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 1997. – С. 45 – 52.

58 Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК. – М.: РАСХН, 2007. – 31 с.

59 Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме / под ред. Л.П. Кармановского. – М.: Агропромиздат, 1989. – 207 с.

60 Механизация и автоматизация животноводства: учебник / В.В. Кирсанов [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 400 с.

61 Механизация и технология животноводства: учебник для вузов / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич [и др.]. – М.: Колосс, 2007. – 581 с.

62 Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 528 с.

63 Миончинский, П.Н. Производство комбикормов / П.Н. Миончинский. – М.: Агропромиздат, 1991. – 208 с.

64 Монари, С. Справочник по использованию необезжиренной сои в кормлении животных, птиц и рыбы / С. Монари. – Вашингтон: Американская

соевая ассоциация, 1994. – 44 с.

65 Монари, С. Справочник по использованию в кормлении животных соевых бобов / С. Монари. – Вашингтон, 1994. – 64 с.

66 Мурусидзе, Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, В.Н. Дегеза, Р.Ф. Филонов. - М.: КолосС, 2005. - 432 с.

67 Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

68 Орлова И. В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование / И.В. Орлова, В.А. Полковников. – М.: Вузовский учебник, 2009. – 365 с.

69 Особов, В.И. Теоретические основы уплотнения волокнистых растительных материалов / В.И. Особов / Труды ВИСХОМ. – М., 1967. – Вып. 55. – С. 221 – 265.

70 Оценка качества смешивания кормов / А.В. Бурмага [и др.]. – М.: БД НИИТЭИагропрома, 1996. – № 91/10. – 6 с.

71 Оценка процесса смешивания кормов / Г.М. Кукта [и др.] // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 2. – С. 48 – 51.

72 Патент РФ № 2563676 Способ приготовления белково-углеводно-минерального кормового продукта / авторы Широков В.А., Доценко С.М. и др. Оpubл. в БИ от 26.08.2015.

73 Патент РФ № 2563677 Способ приготовления белково-минерально-витаминного кормового продукта / авторы Широков В.А., Доценко С.М. и др. Оpubл. в БИ от 26.08.2015.

74 Патент РФ № 2563673 Способ приготовления белково-витаминно-минерального кормового продукта / авторы Широков В.А., Доценко С.М. и др. Оpubл. в БИ от 26.08.2015.

75 Патент РФ № 2555581 Способ приготовления гранулированного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. и др. Оpubл. в БИ от 08.06.2015.

76 Патент РФ № 2621354 Способ приготовления гранулированного корма / авторы Доценко С.М., Гончарук А.И. и др. Оpubл. в БИ от 02.06.2017.

77 Патент РФ № 2634004 Способ приготовления белково-витаминных продуктов функциональной направленности / авторы Доценко С.М., Иванин А.Г. и др. Оpubл. в БИ от 23.10.2017.

78 Патент РФ № 2652387 Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Оpubл. в БИ от 26.04.2018.

79 Патент РФ № 2663610 Способ приготовления гранулированного концентрата / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Оpubл. в БИ от 07.08.2018.

80 Патент РФ № 2690637 Пресс-гранулятор / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Оpubл. в БИ от 04.06.2019.

81 Патент РФ № 2685943 Прессующее устройство / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Оpubл. в БИ от 23.04.2019.

82 Патент РФ № 2727270 Способ приготовления каротино-кальциевой добавки / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. и др. Оpubл. в БИ от 21.07.2020.

83 Патент РФ № 2727272 Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. и др. Оpubл. в БИ от 21.07.2020.

84 Патент РФ № 2729216 Способ приготовления белково-концентратной добавки / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. Оpubл. в БИ от 05.08.2020.

85 Патент РФ № 2729393 Способ приготовления белково-витаминного концентрата / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. Оpubл. в БИ от 06.08.2020.

86 Патент РФ № 2727255 Способ получения белково-кальциево-токофероловой добавки / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. и др. Оpubл. в БИ от 21.07.2020.

87 Патент РФ № 2118105 Шнековый-пресс-гранулятор / авторы Якименко А.В. и др. Оpubл. в БИ № 24 от 27.08.1998.

88 Патент РФ № 2486759 Способ приготовления белково-минерального кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Оpubл. в БИ № 19 от 10.07.2013.

89 Патент РФ № 2514309 Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Оpubл. в БИ № 12 от 27.04.2014.

90 Патент РФ № 2530510 Способ приготовления кормового белково-витаминно-минерального продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Оpubл. в БИ № 12 от 27.10.2014.

91 Патент РФ № 2740649 Пресс-гранулятор / авторы Школьников М.А., Ковалева Л.А., Кузьмин И.Н. и др. Оpubл. в Б.И. № 2 от 19.01.2021.

92 Патент РФ № 2781714 Шнековый пресс / авторы Школьников М.А., Кузьмин И.Н. и др. Оpubл. в Б.И. № 29 от 17.10.2022.

93 Патент РФ № 2781705 Шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик / авторы Школькова М.А., Кузьмин И.Н. и др. Оpubл. в Б.И. № 29 от 17.10.2022.

94 Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н.С. Пискунов. – М.: Наука, 1976. – Т. 1. – 445 с.

95 Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 279 с.

96 Пошевкин, Ю.Б. Оценка равномерности распределения ингредиентов в кормосмесях / Ю.Б. Пошевкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1980. – № 3. – С. 25 – 28.

97 Радченко, Г.Е. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий протекания процесса / Г.Е. Радченко. – Горки, 1978. – 72 с.

98 Соболев, Р.В. Смеситель-гранулятор со смещённой осью вращения / Р.В. Соболев [и др.] // Сборник статей V междунар. научн.-технич. конфер. – Пенза: Приволжский Дом знаний «Прогрессивные технологии в современ-

ном машиностроении», 2009. – С. 95-97.

99 Соболев, Р.В. Совершенствование технологии и обоснование параметров технологической линии приготовления кормов с использованием сои: автореф. дисс. ...канд. техн. наук / Р.В. Соболев. – Благовещенск, 2011. – 24 с.

100 Соколов, А.Я. Совершенствование конструкции матриц грануляторов / А.Я. Соколов, В.Ю. Полищук, М.Л. Овдиенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 11. – С. 5-7.

101 Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.М. Венедиктов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1989. – 358 с.

102 Справочник: комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных, состав и применение. – М.: ВО АГропромиздат, 1990. – 304 с.

103 Сыроватка, В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах: монография / В.И. Сыроватка; ГНУ ВНИИМЖ. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 247 с.

104 Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов. / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.

105 Титенок, А.В. Повышение эффективности процесса измельчения корнеплодов режущими элементами: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Титенок. – Саратов, 1988. – 24 с.

106 Уайлд, Д.Дж. Методы поиска экстремума / Д.Дж. Уайлд. – М.: Наука, 1967. – 234 с.

107 Уланов, И.А. Исследование технологического процесса приготовления смесей из грубых и сочных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / И.А. Уланов. – Саратов, 1965. – 26 с.

108 Уланов, И.А. Машины для смешивания, гранулирования и тепловой обработки кормов (теория и расчет) / И.А. Уланов. – Саратов: Саратовский СХИ, 1977. – 40 с.

109 Федоренко, И.Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры: учебное пособие / И.Я. Федоренко. – Барна-

ул: АГАУ, 2003.

110 Федоренко, И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов : учебное пособие / И.Я. Федоренко. – М.: ФОРУМ, 2007. – 176 с.

111 Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М., 1967. – 552 с.

112 Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.

113 Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс / Г. Шенкель. – М.: Госхимиздат, 1962. – 408 с.

114 Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 381 с.

115 Широков, В.А. Научно-технические аспекты повышения эффективности приготовления комбикормов-концентратов на основе соево-зерновых смесей: монография / В.А. Широков, С.М. Доценко, В.В. Петров [и др.] – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – 227 с.

116 Школьников, П.Н. Основы разработки смесителя-усреднителя для линии производства гранулята кроликам / П. Н. Школьников, К. М. Горбунов, А. И. Гончарук и др. // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_203.doc.

117 Школьников, П. Н. Научные основы разработки пресс-гранулятора для производства кормовых продуктов кроликам / П. Н. Школьников, К.М. Горбунов, А. И. Гончарук // АгроЭкоИнфо. - 2017. - № 2. - URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_204.doc.

118 Школьникова, М.А. Обоснование технологических подходов к повышению эффективности системы приготовления кормовых продуктов / М.А. Школьникова, Л.А. Ковалева, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – №2. – URL:http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_238.pdf.

119 Школьникова, М.А. Обоснование технологических подходов к получению качественных гранулятов на основе бинарных композиций /

М.А. Школьникова, Л.А. Ковалева, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – №2. – URL:http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_237.pdf.

120 Яблонский, А.А. Курс теоретической механики / А.А. Яблонский. – М.: Высшая школа, 1977. – Ч. 2. – 348 с.

121 Якименко, А.В. Производство витаминно-травяной муки без активной сушки сырья / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1994. – С. 10-12.

122 Якименко, А.В. Установка для производства гранул / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ сельскохозяйственном производстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1995. – С. 38-40.

123 Якименко, А.В. Определение производительности экспериментальной установки для гранулирования кормосмесей / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1996. – С. 39-41.

124 Якименко, А.В. Определение затрат мощности на преодоление сил трения ОКМ в гранулирующей головке экспериментальной установки для гранулирования кормосмесей / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1996. – С. 42-45.

125 Якименко, А.В. Совершенствование технологического процесса прессования кормовых смесей и обоснование параметров пресс-брикетировщика: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Я.В. Якименко. – Благовещенск, 1997. – 24 с.

126 Falkowski J. 1966. Jezeze of granulatach. Gospodarka rybna, № 6, s. 11-12.

127 Hasting W.H. 1964. Fish feed processing research. Feedstuffs, vol. 31, № 21.

128 Hasting W.H. 1969. Fish food Processing. FAO Technical Paper, № 9, pp. 23-27.

129 Szumiec J. 1969. Preliminary experiments with pellets for carp. FAO

Technical Paper, № 9.

130 Hopher B. The Development and Manufacture of carp pellet feed in Israel. FAO, Rome, 1968, №44, p. 48-52.

131 Snow J.R. The Oregon moist pellet as a diet for largemouth bass. "The progressive fish – Culturist", vol. 30, 1968, №4, p. 22-28.

132 Szumiec J. Oplacalny granulat do tuczu karpі. "Gospodarka rybna", 1971, № 11, s. 7-12.

133 Szumiec J. Preliminary experiments with pellets for carps. FAO. Fisheries Reports, vol. 3, Rome, 1967, №44, pp. 12-18.

134 Гранулерани на хранителни смеси за шаран. Известия на станцията по сладководно рибарство Пловдив. 1969. т. VI. 22 с. Авт.: Йошев Л., Петров Н., Кохайов Е., Драгонов Л.

135 Петров Н., Кохайов Е., Йошев Л. Резултати от храненето на шарана съ смеси в разсипно и грануловано състояние. Известия на станцията по сладководно рибарство Пловдив. 1969. т. VI. - 22 с.

136 Wallace F., Hublou. Oregon pellets. "The progressive fashculturist". vol. 25. 1973. № 4. P. 8-12.

ПРИЛОЖЕНИЯ



Рисунок 1П – К обоснованию выбора тыквенного сырья



Рисунок 2П – Общий вид тыквенного сырья

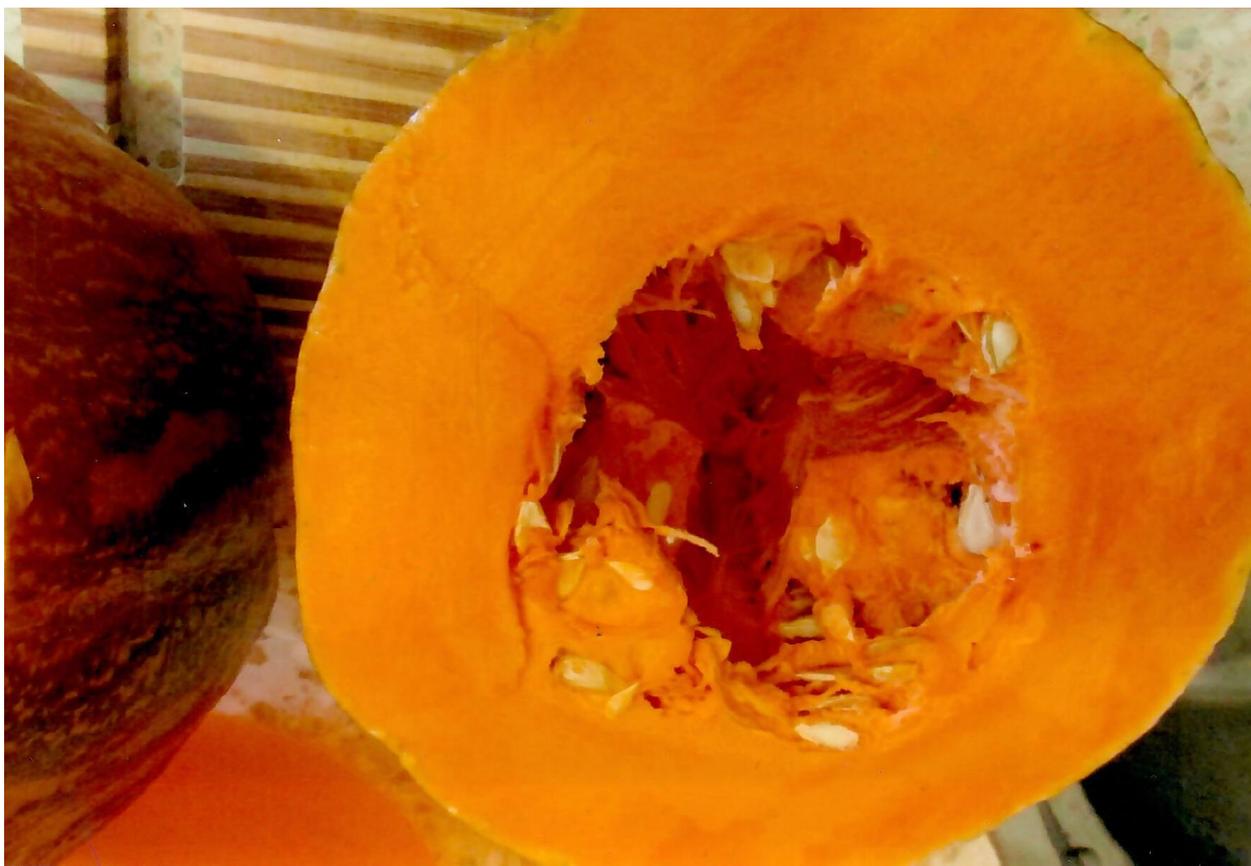


Рисунок 3П – К обоснованию степени измельчения тыквенного сырья



Рисунок 4П – К обоснованию выбора белкового компонента



Рисунок 5П – Общий вид пастового продукта



а)



б)

Рисунок 6П – Общий вид гранулята на основе а) тыквенного и б) морковного
КОМПОНЕНТОВ



а)



б)

Рисунок 7П – Общий вид гранулята на основе а) картофельного и
б) свекольного компонентов

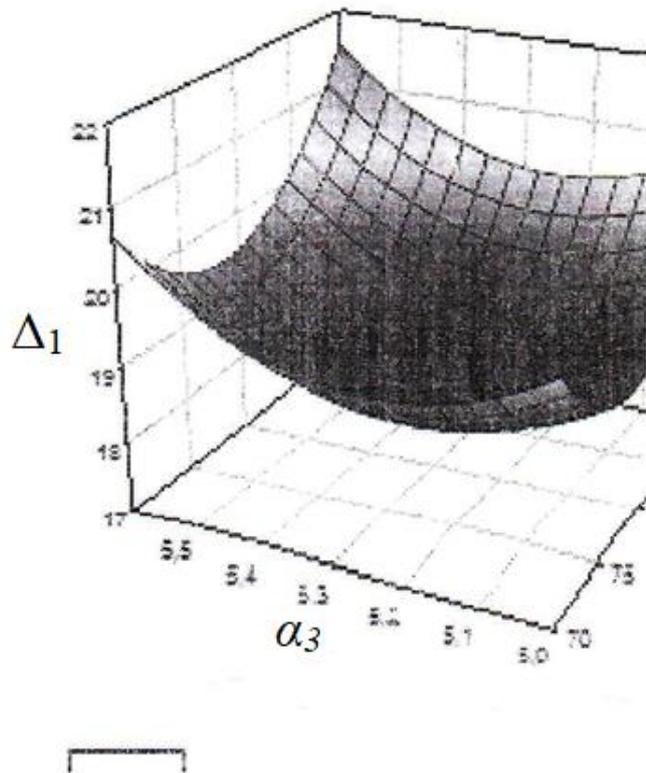


Рисунок 8П – Геометрическое место точек для $-N_{y\partial}$ от W и C_F
(при $\lambda_k = 30,00$ ед.)

$$N_{y\partial} = 426,97 - 2,5W - 118,22C_F + 0,0159W^2 + 11,252C_F^2 \rightarrow \min$$

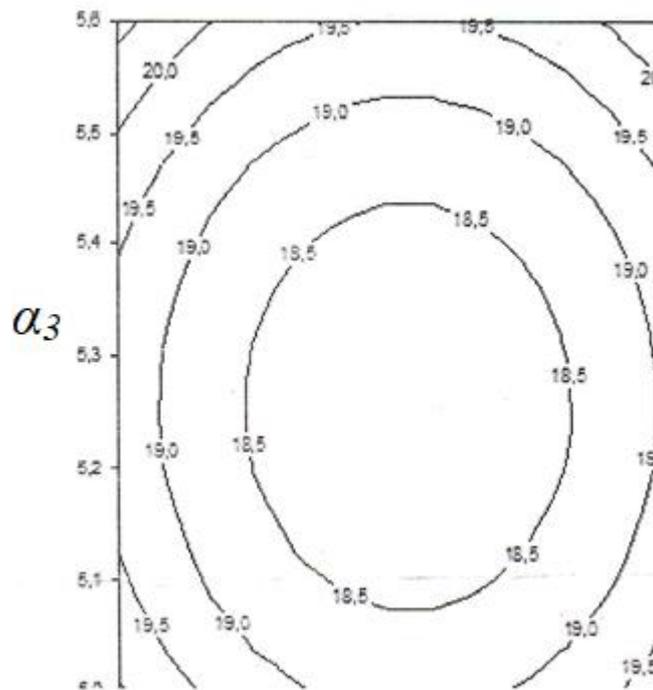


Рисунок 9П – Сечения поверхности для $-N_{y\partial}$ от λ_k и C_F (при $W = 80,000$ %)

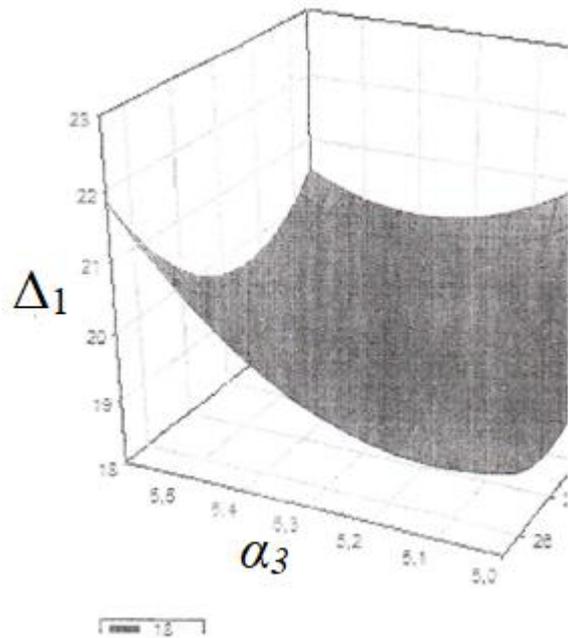


Рисунок 10П – Геометрическое место точек для $-N_{y\partial}$ от λ_k и C_F
(при $W = 80,000\%$)

$$N_{y\partial} = 270,9 + 0,224\lambda_k - 97,97C_F - 0,675\lambda_k C_F + 0,057\lambda_k^2 + 11,252C_F^2 \rightarrow \min$$

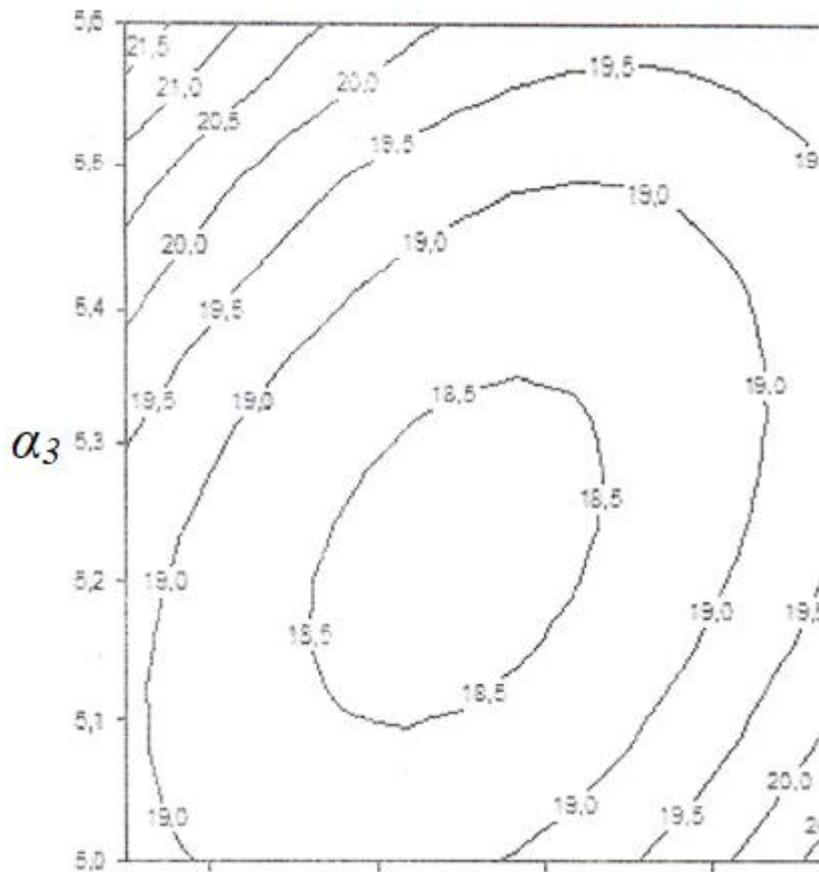


Рисунок 11П – Сечения поверхности для $-N_{y\partial}$ от λ_k и C_F (при $W = 80,000\%$).

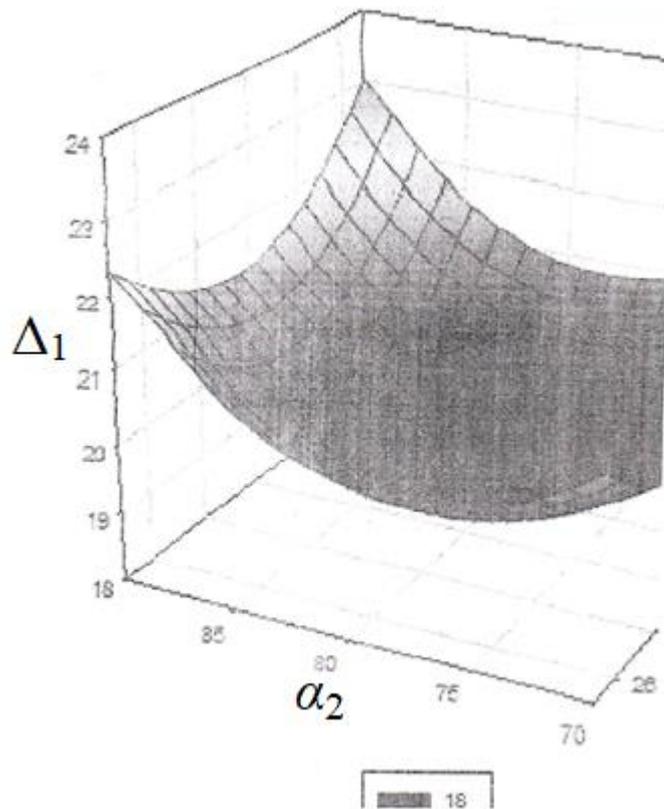


Рисунок 12П – Геометрическое место точек для $-N_{y\delta}$ от λ_k и W
(при $C_F = 5,300$ ед.)

$$N_{y\delta} = 166 - 3,354\lambda_k - 2,5W + 0,057\lambda_k^2 + 0,014W^2 \rightarrow \min$$

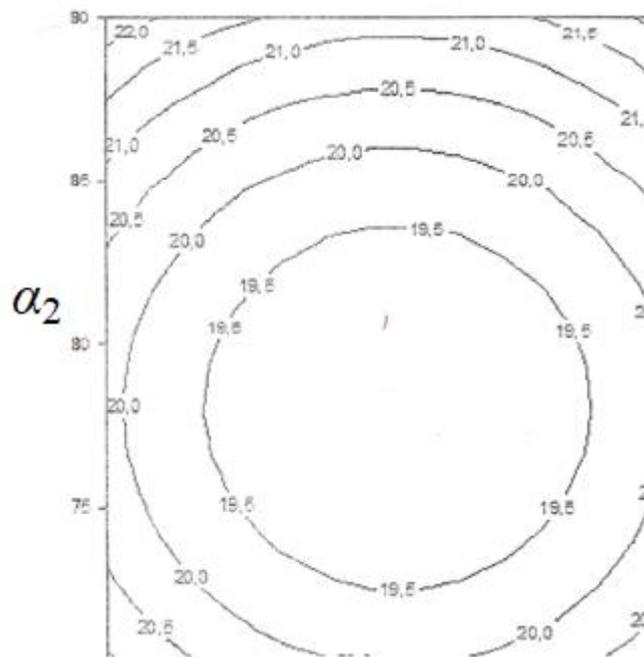


Рисунок 13П – Сечения поверхности для $-N_{y\delta}$ от λ_k и W
(при $C_F = 5,300$ ед.)

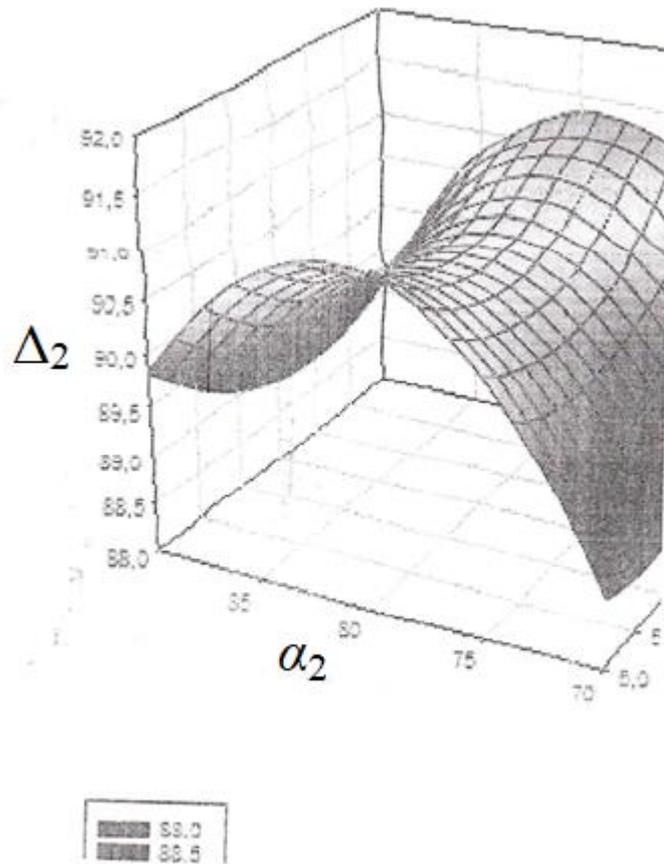


Рисунок 14П – Геометрическое место точек для $-\theta$, % от W и C_F
(при $\lambda_k = 30,00\%$)

$$\theta = 95,62 + 3,84W - 60,4C_F - 0,15WC_F - 0,019W^2 + 6,862C_F^2 \rightarrow \max$$

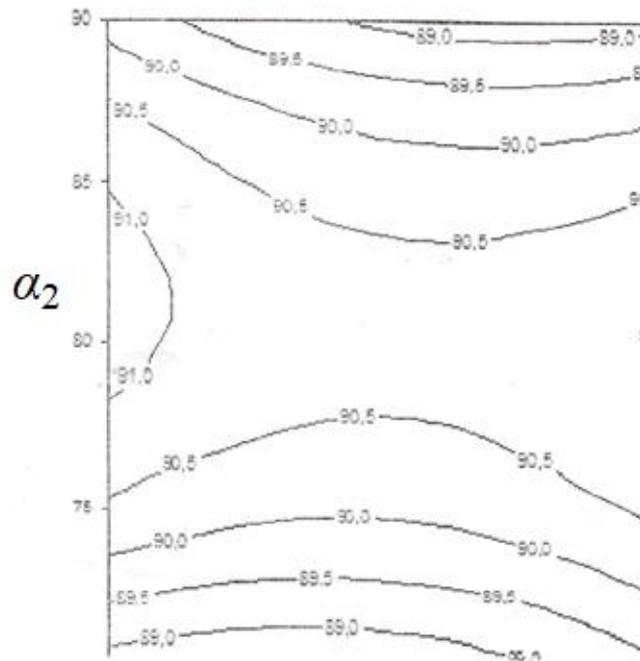


Рисунок 15П – Сечения поверхности для $-\theta$, % от W и C_F (при $\lambda_k = 30,00\%$)

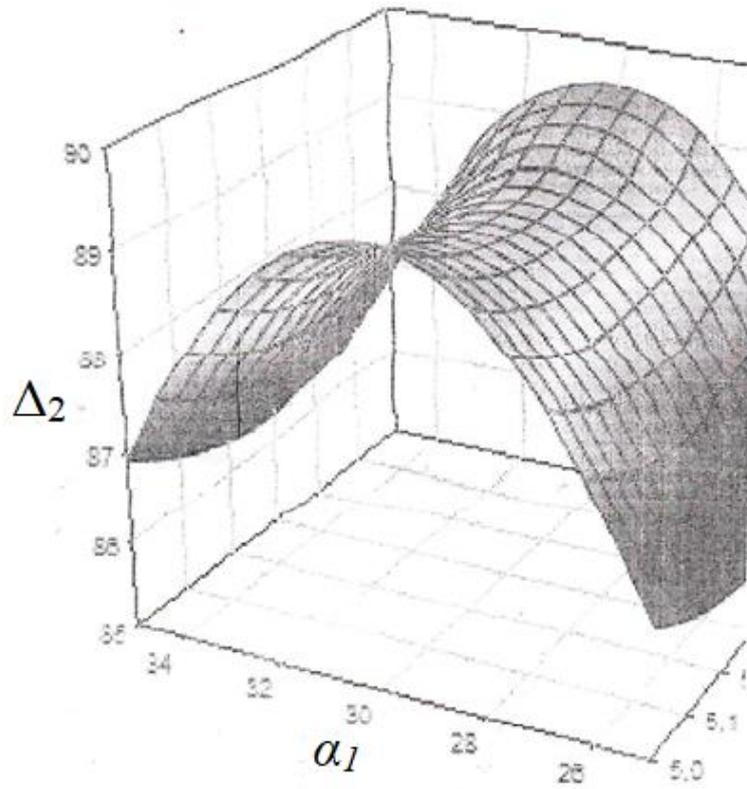


Рисунок 16П – Геометрическое место точек для $-\theta, \%$ от λ_k и C_F
(при $W = 80,00\%$).

$$\theta = 176,67 + 6,95\lambda_k - 72,73C_F - 0,115\lambda_k^2 + 6,86C_F^2 \rightarrow \max$$

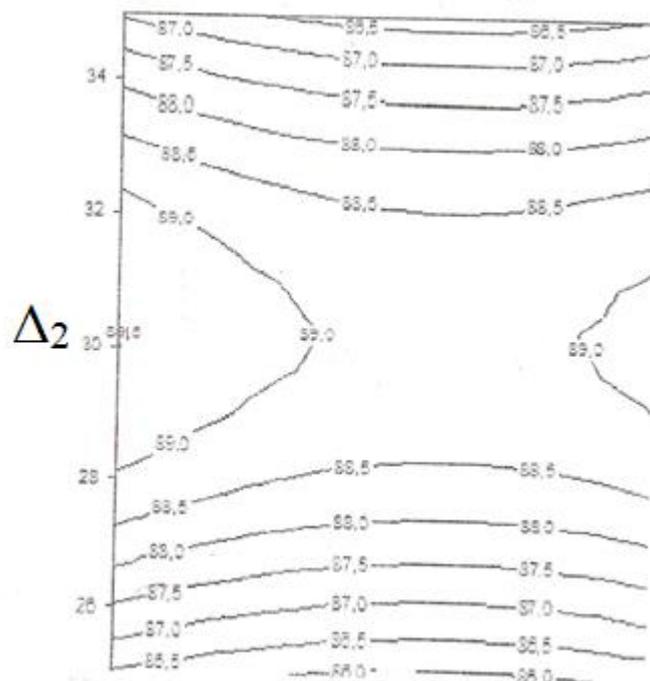


Рисунок 17П – Сечения поверхности для $-\theta, \%$ от λ_k и C_F (при $W = 80,00\%$).

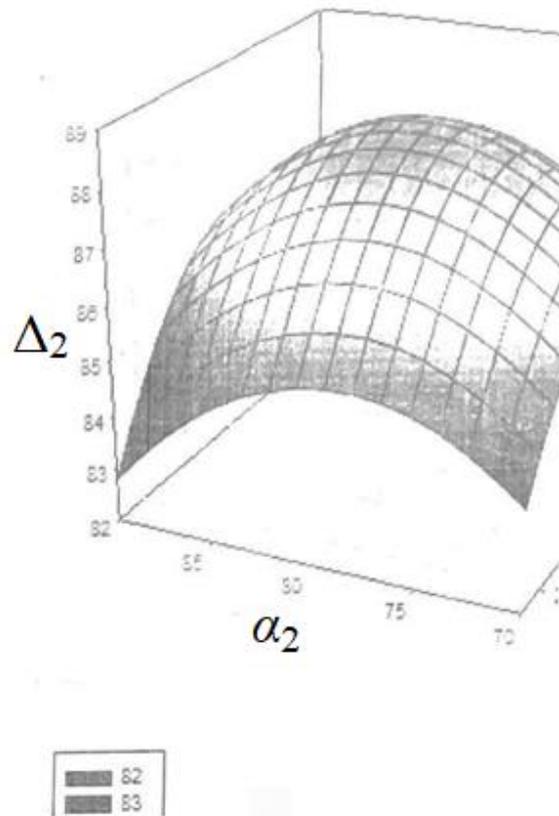


Рисунок 18П – Геометрическое место точек для $-\theta$, % от λ_k и W
(при $C_F = 5,300$ ед.).

$$\theta = -118,248 + 6,326\lambda_k + 2,79W + 0,0078\lambda_k W - 0,115\lambda_k^2 - 0,019W^2 \rightarrow \max$$

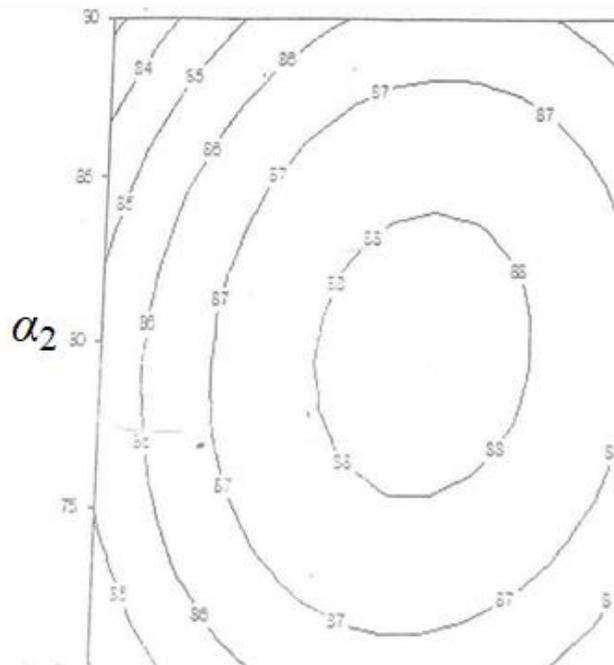


Рисунок 19П – Сечения поверхности для $-\theta$, % от λ_k и W
(при $C_F = 5,300$ ед.).

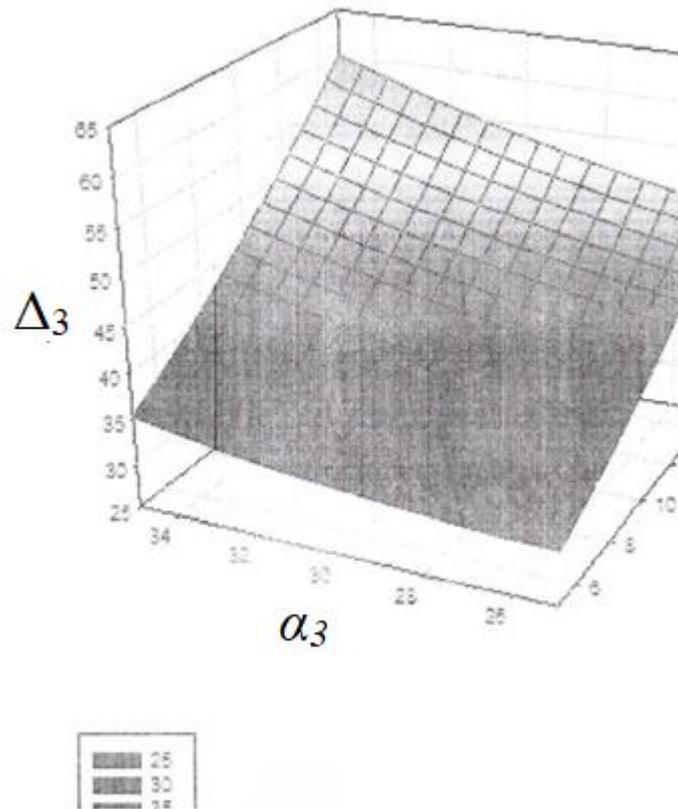


Рисунок 20П – Геометрическое место точек для $-\Delta_3 N_{y_{\partial_1}}$ от $\alpha_2 (\chi)$ и $\alpha_3 (\lambda_\kappa)$

(при $\alpha_1 (\omega_\theta) = 18,5 \text{ c}^{-1}$)

$$N_{y_{\partial_1}} = 58,136 - 1,208\chi - 2,1946\lambda_\kappa + 0,067\chi^2 + 0,0381\lambda_\kappa^2 \rightarrow \min$$

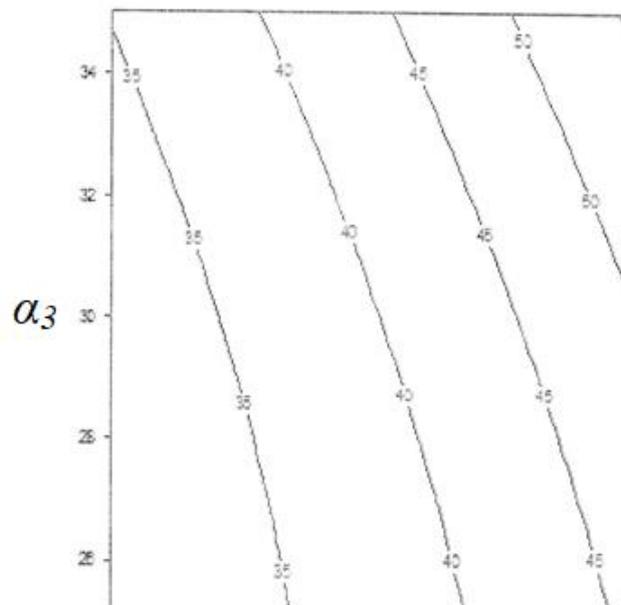


Рисунок 21П – Сечения поверхности для $-\Delta_3 N_{y_{\partial_1}}$ от $\alpha_2 (\chi)$ и $\alpha_3 (\lambda_\kappa)$

(при $\alpha_1 (\omega_\theta) = 18,5 \text{ c}^{-1}$)

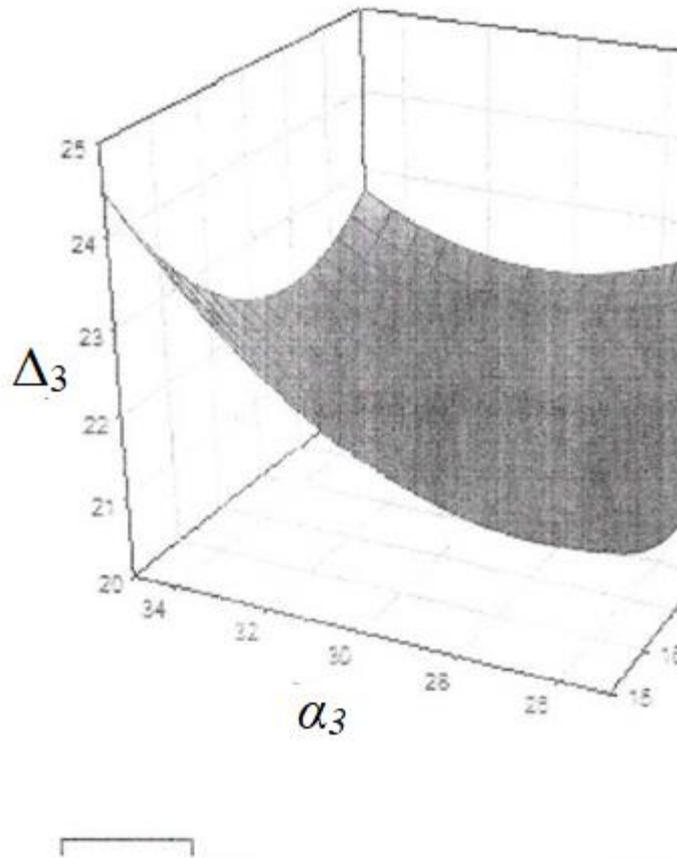


Рисунок 22П – Геометрическое место точек для $-\Delta_3 - N_{y\partial_1}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и α_3 (λ_κ) (при $\alpha_2 (\chi) = 10$ ед.)

$$N_{y\partial_1} = 68,037 - 3,551\omega_6 - 1,131\lambda_\kappa - 0,058\omega_6\chi + 0,147\omega_6^2 + 0,0381\lambda_\kappa^2 \rightarrow \min$$

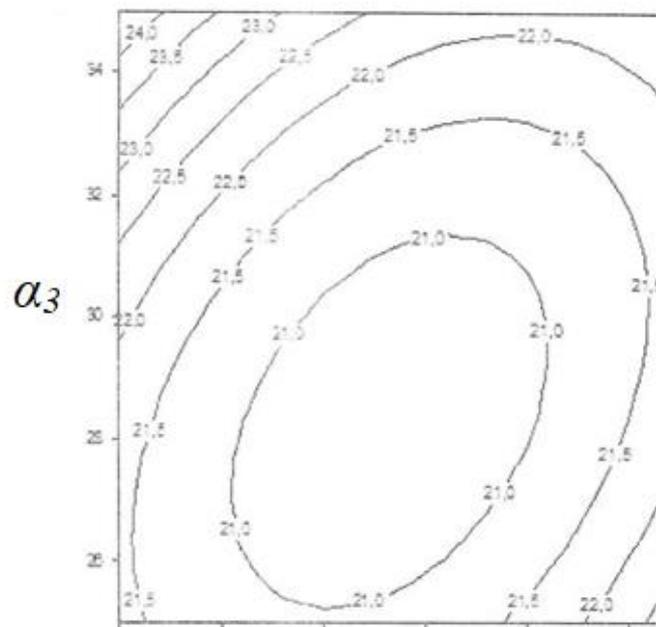


Рисунок 23П – Сечения поверхности для $-\Delta_3 - N_{y\partial_1}$ от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_3 (\lambda_\kappa)$ (при $\alpha_2 (\chi) = 10$ ед.)

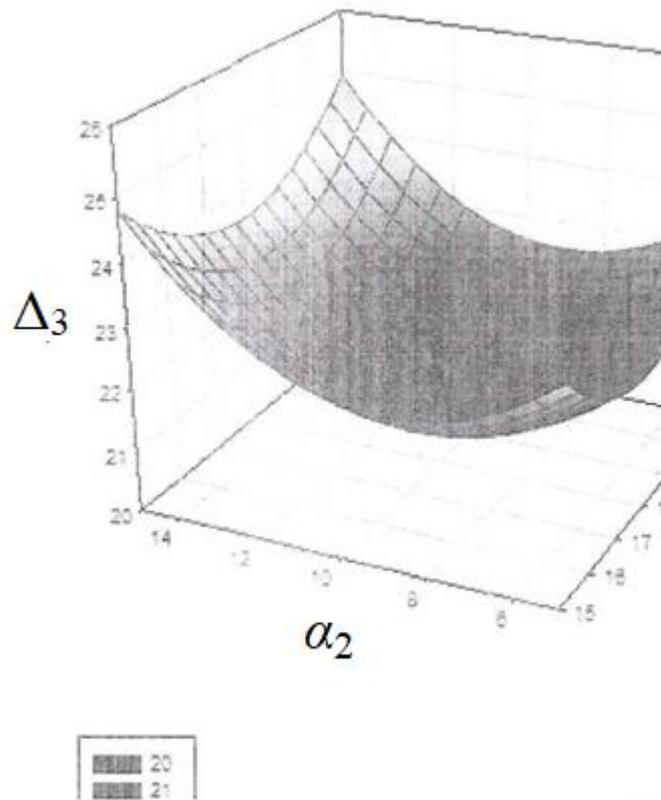


Рисунок 24П – Геометрическое место точек для $\Delta_3 N_{y\delta_1}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_2 (\chi)$ (при $\alpha_3 (\lambda_k) = 30$ ед.)

$$N_{y\delta_1} = 73,808 - 5,276\omega_6 - 1,208\chi + 0,147\omega_6^2 + 0,067\chi^2 \rightarrow \min$$

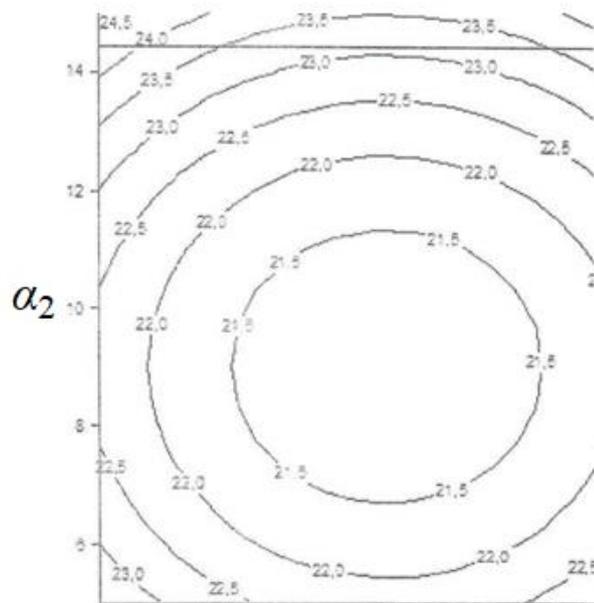


Рисунок 25П – Сечения поверхности о для $\Delta_3 N_{y\delta_1}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_2 (\chi)$ (при $\alpha_3 (\lambda_k) = 30$ ед.)

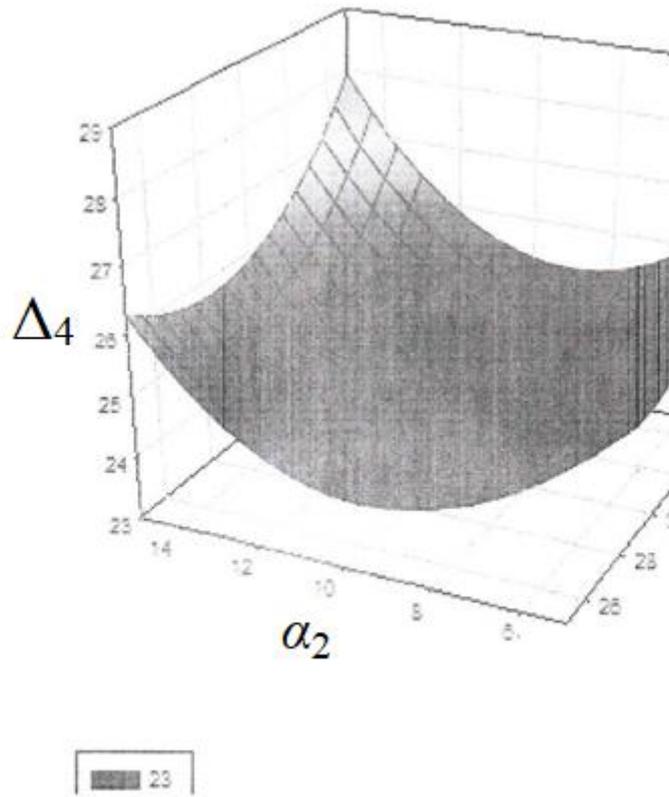


Рисунок 26П – Геометрическое место точек для $-\Delta_4 - N_{y\partial_2}$ от $\alpha_2 (\chi)$ и $\alpha_3 (\lambda_x)$ (при $\alpha_1 (\omega_6) = 18,5 \text{ c}^{-1}$)

$$N_{y\partial_2} = 74,189 - 1,713\chi - 2,967\lambda_x + 0,009\chi\lambda_x + 0,077\chi^2 + 0,05\lambda_x^2 \rightarrow \min$$

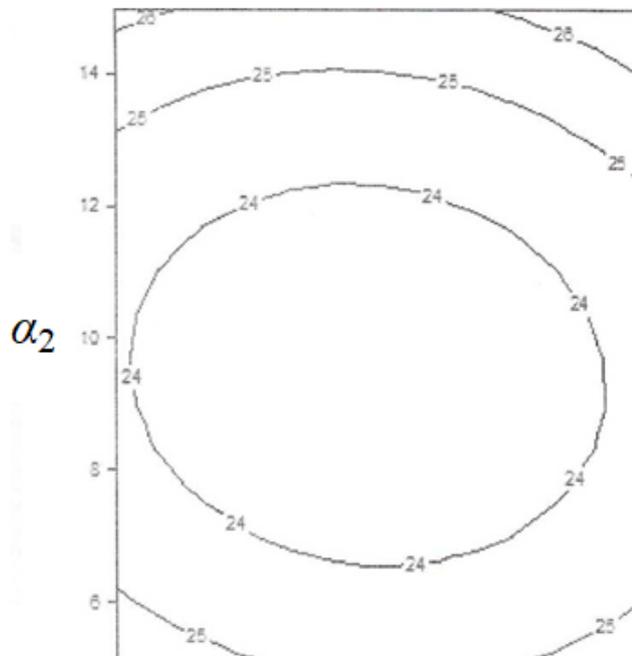


Рисунок 27П – Сечения поверхности для $-\Delta_4 - N_{y\partial_2}$ в зависимости от $\alpha_2 (\chi)$ и $\alpha_3 (\lambda_x)$ (при $\alpha_1 (\omega_6) = 18,5 \text{ c}^{-1}$)

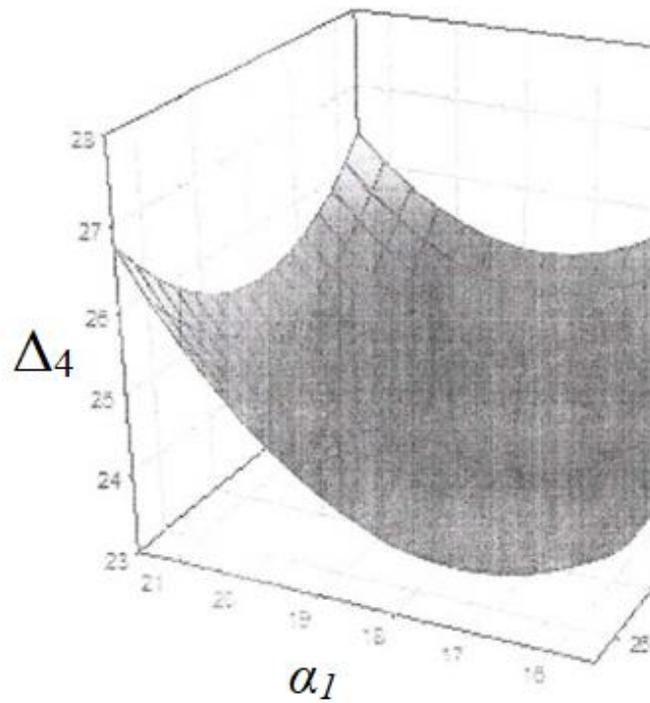


Рисунок 28П – Геометрическое место точек для $-\Delta_4 - N_{y_{\partial_2}}$ от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_3 (\lambda_k)$ (при $\alpha_2 (\chi) = 10$ ед.)

$$N_{y_{\partial_2}} = 89,464 - 34,383\omega_6 - 1,921\lambda_k - 0,052\omega_6\chi + 0,165\omega_6^2 + 0,05\lambda_k^2 \rightarrow \min$$

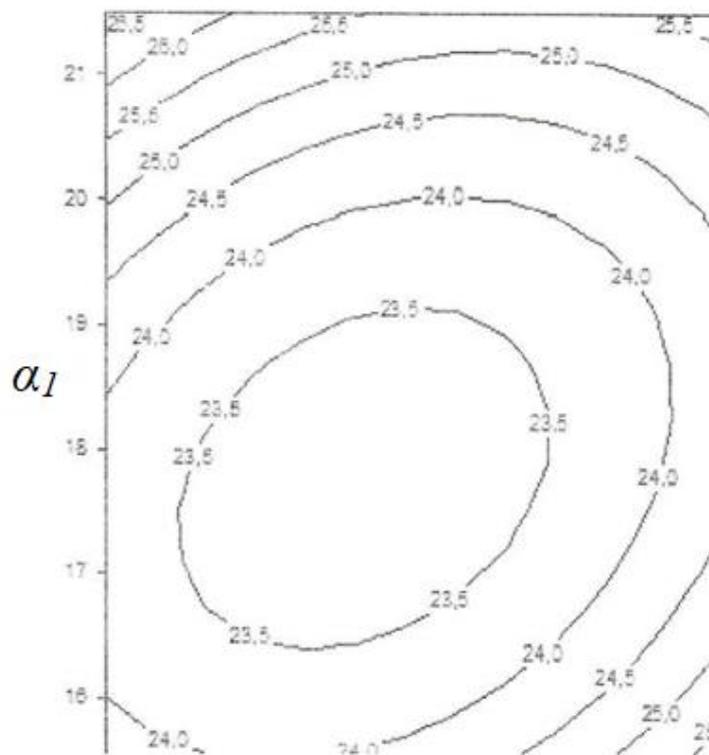


Рисунок 29П – Сечения поверхности для $-\Delta_4 - N_{y_{\partial_2}}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_3 (\lambda_k)$ (при $\alpha_2 (\chi) = 10$ ед.)

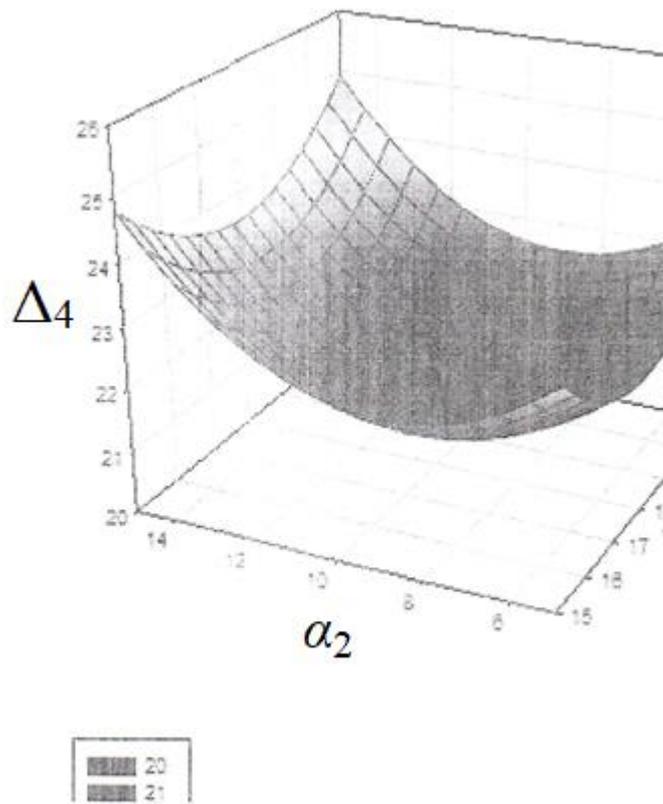


Рисунок 30П – Геометрическое место точек для $-\Delta_4 - N_{\gamma\delta_2}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_2 (\chi)$ (при $\alpha_3 (\lambda_k) = 30$ ед.)

$$N_{\gamma\delta_2} = 83,402 - 5,9337\omega_6 - 1,443\chi + 0,165\omega_6^2 + 0,077\chi^2 \rightarrow \min$$

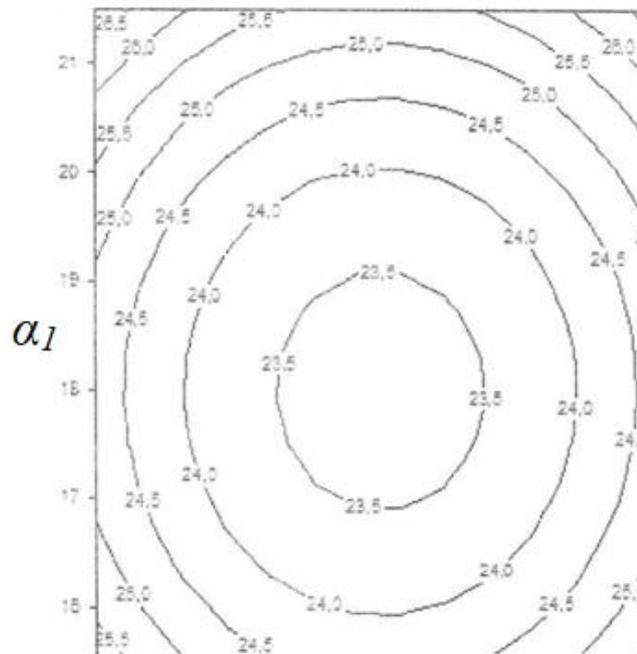


Рисунок 31П – Сечения поверхности отклика для $-\Delta_4 - N_{\gamma\delta_2}$ в зависимости от $\alpha_1 (\omega_6)$ и $\alpha_2 (\chi)$ (при $\alpha_3 (\lambda_k) = 30$ ед.)

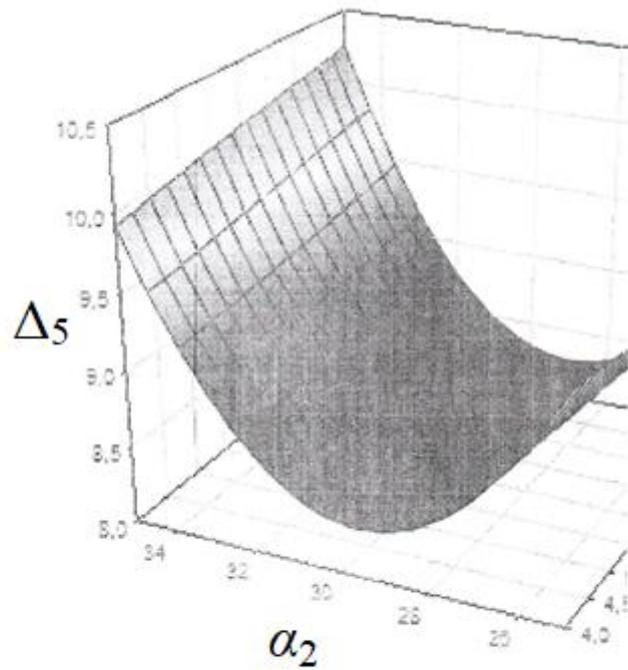


Рисунок 32П – Геометрическое место точек для $-Kp_1$ от λ_k и χ
(при $C_K = 10\%$)

$$Kp_1 = 58,45 - 3,321\lambda_k - 0,488\chi + 0,0163\lambda_k\chi + 0,055\lambda_k^2 \rightarrow \min$$

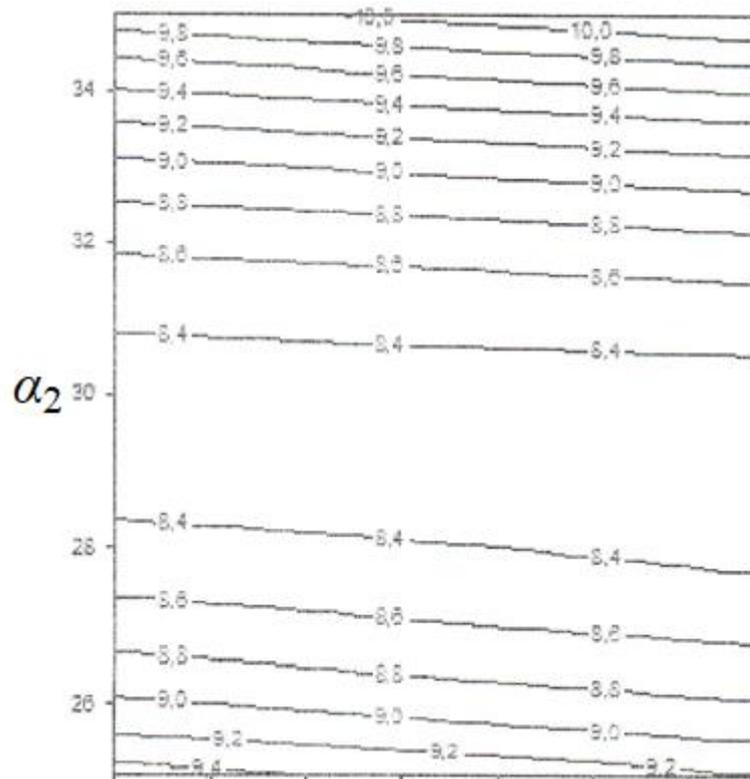


Рисунок 33П – Сечения поверхности для $-Kp_1$ от λ_k и χ (при $C_K = 10\%$)

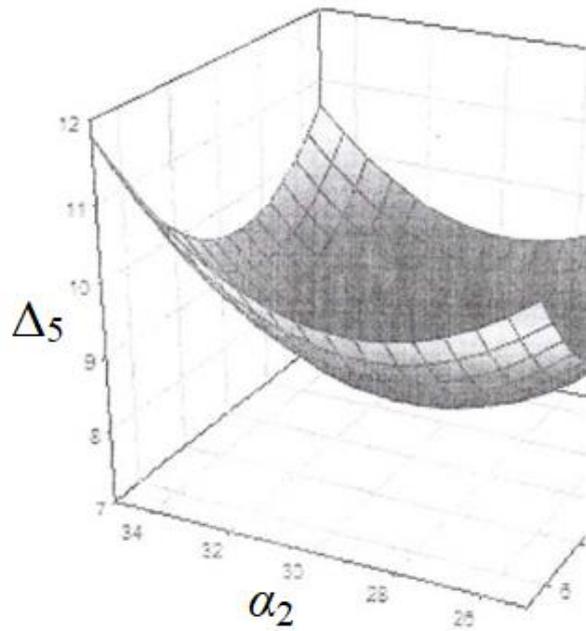


Рисунок 34П – Геометрическое место точек для $-Kp_1$ в зависимости от C_K и λ_K (при $\chi = 6$ ед).

$$Kp_1 = 60,483 - 1,136C_K - 3,148\lambda_K - 0,0075C_K\lambda_K + 0,0641C_K^2 + 0,0546\lambda_K^2 \rightarrow \min$$

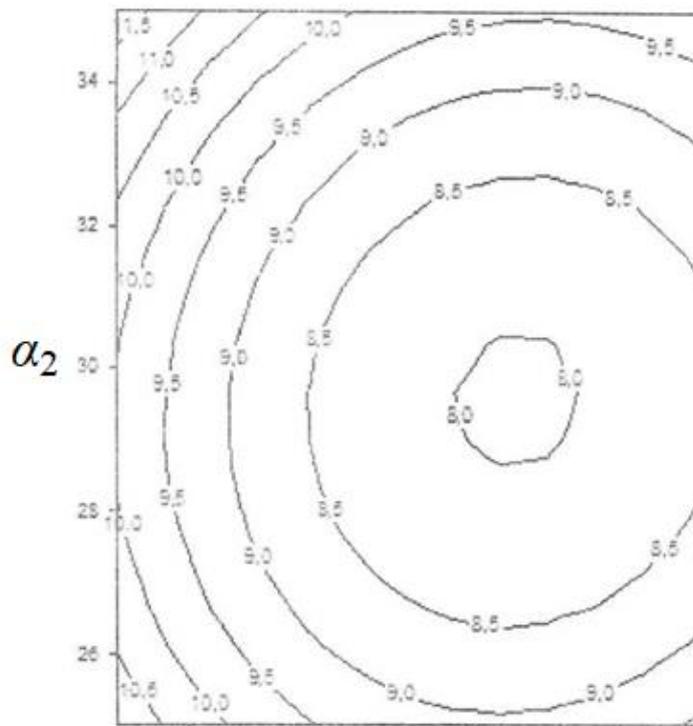


Рисунок 35П – Сечения поверхности отклика для $-Kp_1$ в зависимости от C_K и λ_K (при $\chi = 6$ ед).

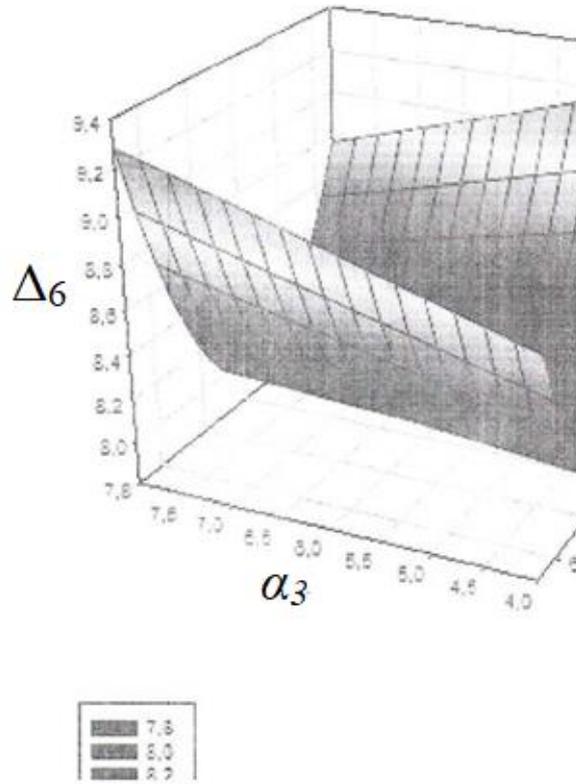


Рисунок 36П – Геометрическое место точек для $-Kp_2$ в зависимости от C_K и χ (при $\lambda_k = 30$ ед.)

$$Kp_2 = 10,74700 - 0,72200C_K + 0,26300\chi - 0,026300C_K\chi + 0,04400C_K^2$$

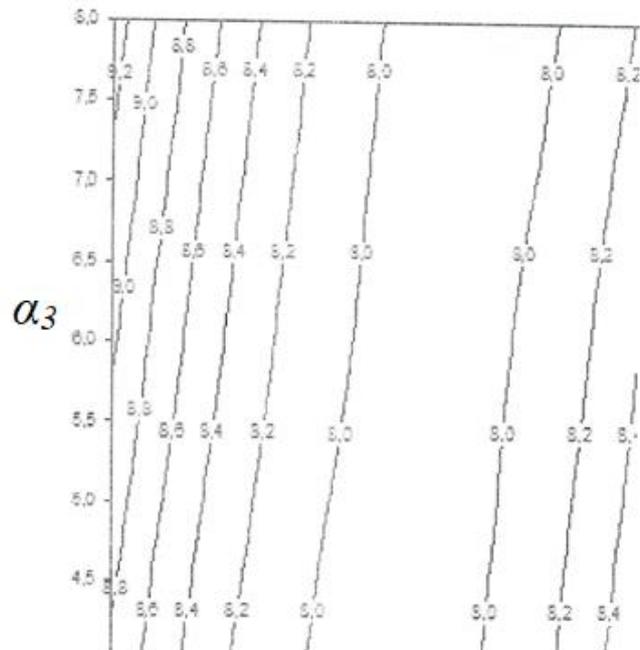


Рисунок 37П – Сечения поверхности для $-Kp_2$ в зависимости от C_K и χ (при $\lambda_k = 30$ ед.)

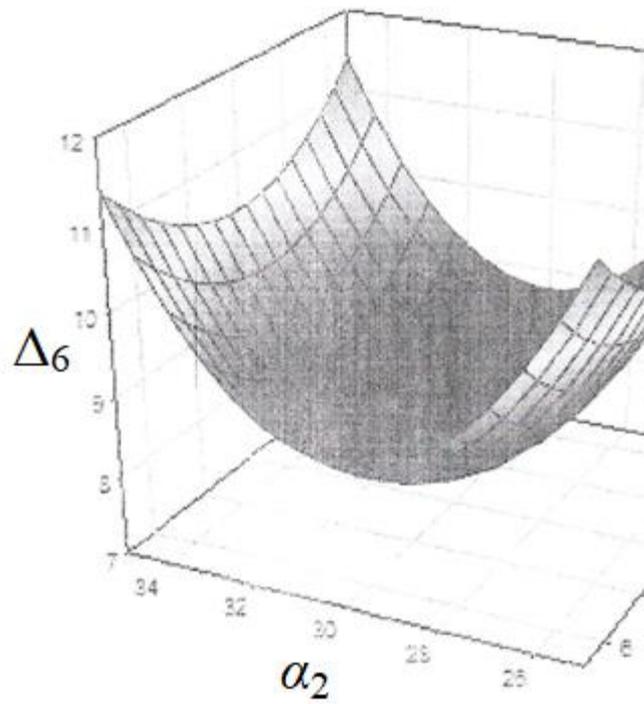


Рисунок 38П – Геометрическое место точек для $-Kp_2$ в зависимости от C_K и λ_k (при $\chi = 6$ ед.)

$$Kp_2 = 111,646 - 0,88C_K - 6,62\lambda_k + 0,044C_K^2 + 0,11\lambda_k^2$$

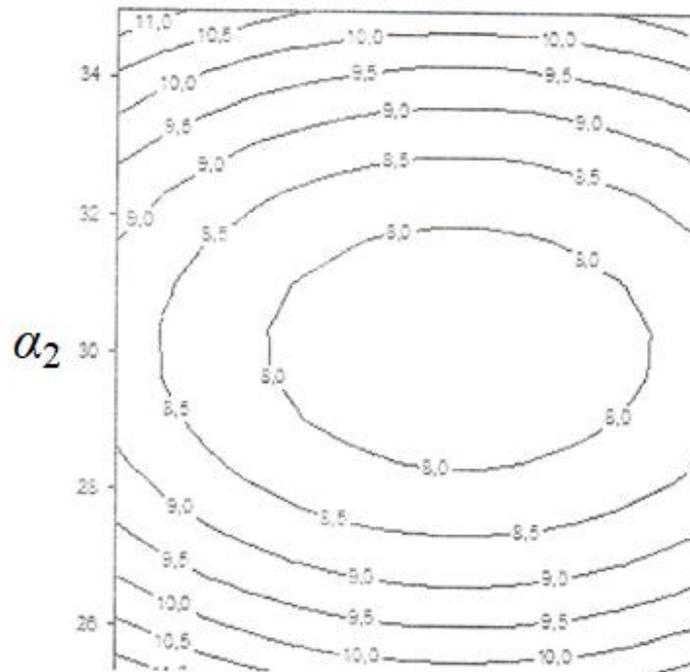


Рисунок 39П – Сечения поверхности для $-Kp_2$ в зависимости от C_K и λ_k (при $\chi = 6$ ед.)

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной
работе КубГАУ, профессор
А.Г. КОЩАЕВ«10» _____ 2023 г.
М.П. 

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель организации
ИП КФХ РАДАЕВА В.Г.
В.Г. РАДАЕВА«10» _____ 2023 г.
М.П. **АКТ ВНЕДРЕНИЯ****Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технических работ в высших учебных заведениях**Заказчик ИП КФХ Радаева В.Г.

(наименование организации)

Радаева Виктория Геннадьевна

(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы Разработка и совершенствование технологий и технически-адаптивных модульно-блочных вариаций устройств, для приготовления и раздачи кормов и оптимизация параметров функционирования с ресурсосбережением производства продукции животноводства на предприятиях малых форм хозяйствования, г.р. № 121032300060-2

(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

(Наименование ВУЗа)

стоимость без оплаты

(Цифрами и прописью)

внедрены В КФХ Радаева В.Г., Амурской области, Серышевского муниципального округа

(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов Способ и экспериментальная установка

(Эксплуатация изделий, работы, технологии;

для приготовления кормов водоплавающей птице

производство изделий, работы, технологии; функционирование системы)

2. Характеристика масштаба внедрения единичное

(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Методика (метод) Рекомендации по использованию технологии и технических средств приготовления кормовых продуктов водоплавающей птицы

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ _____

принципиально-новые (патенты №2805870, №2803521)

(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)

5. Опытно-промышленная проверка _____

(Указать номер и дату актов)

Птицеводческая ферма хозяйства (водоплавающая птица)

испытаний, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

- в промышленное производство Птицеводческая ферма

- в проектные работы ---

(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект ожидаемый _____

руб.

(от внедрения в проект)

фактический --- руб.

в том числе долевое участие --- руб.

(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов

руб./руб.

9. Объем внедрения 45000 /сорок пять тысяч/ рублей

что составляет 30 /тридцать/ % от объема внедрения
положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта,
рассчитанного по окончании НИР ($\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб.), а при этапном
внедрении $\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб. при заключении договора.

10. Социальный и научно-технологический эффект _____

Совершенствование научно-технического направления

(Охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий

труда, совершенствование структуры управления, научно-технических направлений, специальные направления и т.д.)

От ВУЗа

Руководитель НИР

В.Ю. Фролов

Исполнители НИР

М.А. Школьников

К.П. Рытов

От предприятия

Бухгалтер

Кайзер А.Л.

Инженер

Ермаков Д.В.

Выписка

**Из протокола заседания № 02 от «01» ноября 2023 года
по внедрению в агропромышленное производство
Белогорского муниципального округа Амурской области
научно-технических разработок и передового опыта**

Присутствовали: члены комиссии – 8 человек, приглашённые – 4 (Учёные-аграрники, специалисты агропромышленного комплекса Белогорского муниципального округа).

Слушали: результаты научно-исследовательской работы соискателя Школьниковой М.А. по теме: «Параметры и режимы работы устройства для приготовления кормов водоплавающей птице».

Решение: результаты научно-исследовательской работы считать актуальными, востребованными в производстве, направленными на повышение эффективности использования технологий и технических средств приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице. Принять рекомендации предоставленные соискателем Школьниковой М.А. к внедрению в АПК округа.

Председатель:

начальник отдела сельского хозяйства
Администрации Белогорского муниципального
округа Амурской области



А. Л. Викторенко

Выписка**Из протокола заседаний № 11 от «18» октября 2023 года
по внедрению в агропромышленное производство
Серышевского муниципального округа Амурской области
научно-технических разработок и передового опыта**

Присутствовали: Члены комиссии – 10 человек, приглашённые – 6 (Учёные-аграрники, специалисты агропромышленного комплекса Серышевского муниципального округа).

Слушали: результаты научно-исследовательской работы Школьниковой М.А. по вопросу повышения эффективности использования технологии и технических средств механизации для приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице.

Решение: результаты научно-исследовательской работы соискателя Школьниковой М.А. считать актуальными, востребованными в производстве, направленными на повышение эффективности использования технологий и технических средств, для приготовления кормов водоплавающей птице. Рекомендовать результаты исследований к внедрению в агропромышленный комплекс округа.

Председатель:

Заместитель главы администрации
Серышевского муниципального округа –
начальник отдела сельского хозяйства

О. А. Немытых



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2803521

ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)*

Авторы: *Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU)*

Заявка № 2023106261

Приоритет изобретения 17 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 15 сентября 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 17 марта 2043 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba9f683b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 803 521** (13) **C1**(51) МПК
B01J 2/00 (2006.01)
B29C 48/00 (2019.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B01J 2/00 (2023.05); *B29C 48/00* (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2023106261, 17.03.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.03.2023Дата регистрации:
15.09.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.03.2023

(45) Опубликовано: 15.09.2023 Бюл. № 26

Адрес для переписки:
675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул.
Политехническая, 86, ФГБОУ ВО "ДГАУ",
Морозова Надежда Александровна

(72) Автор(ы):

**Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьников Мария Александровна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2740651 C1, 19.01.2021. WO
2010151140 A1, 29.12.2010. US 2633091 A1,
31.03.1953. RU 2772373 C1, 19.05.2022. RU
2475167 C1, 20.02.2013.

(54) ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению, в частности к устройствам для получения пастообразных и гранулированных продуктов. Пастоизготовитель-гранулятор включает корпус, внутри которого соосно с ним установлен винтовой шнек. К корпусу, съемно, с помощью гайки крепится узел прессования, содержащий кожух с фланцевым креплением к корпусу. С кожухом, своей внутренней поверхностью сопряжена фильера-стакан с возможностью ее поворота относительно оси кожуха. В кожухе выполнены симметрично в горизонтальной плоскости два окна. При этом в фильере-стакане выполнены четыре окна попарно-симметрично

в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В окнах, также попарно-симметрично - четыре формирующих элемента с отверстиями. Между винтовым шнеком и кожухом, соосно с ними размещен четырехступенчатый измельчающий аппарат, который включает три решетки с соответствующими размерами отверстий и установленными между ними ножами, образуя четыре ступени резания. Использование изобретения позволит расширить технологические и технические возможности при одновременном снижении энергоемкости и металлоемкости. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 803 521 C 1

RU 2 803 521 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2804103

ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ-ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)*

Авторы: *Школьников Павел Николаевич (RU), Школьников Мария Александровна (RU), Чубенко Александр Викторович (RU)*

Заявка № 2023106273

Приоритет изобретения 17 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 сентября 2023 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 17 марта 2043 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 804 103**⁽¹³⁾ **С1**(51) МПК
B02C 18/30 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B02C 18/30 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023106273, 17.03.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.03.2023Дата регистрации:
26.09.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.03.2023

(45) Опубликовано: 26.09.2023 Бюл. № 27

Адрес для переписки:
675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул.
Политехническая, 86, ФГБОУ ВО "ДГАУ",
Морозова Надежда Александровна

(72) Автор(ы):

Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьникова Мария Александровна (RU),
Чубенко Александр Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2020125234 A, 21.01.2022. RU
92012750 A, 27.03.1997. KZ 21317 A4, 15.06.2009.
CN 2390691 Y, 09.08.2000. WO 2013/018089 A2,
07.02.2013. DE 10153430 A1, 22.05.2003.

(54) ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ-ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению, в частности к устройствам для получения пастообразных продуктов. Измельчитель-пастоизготовитель включает корпус 1, в котором соосно размещены шнек-винт 2 и измельчающий аппарат 3. Измельчающий аппарат 3 включает разъемный корпус 4, в котором неподвижно установлен противорежущий конический полый элемент 5, а соосно с ним – режущий активный конический полый элемент 6. Активный полый

конический элемент 5 посредством вала 7 связан с реверсивным валом. Оба элемента установлены вершинами в сторону шнека-винта 2, на боковых сторонах элементов выполнены сквозные окна с симметричным расположением в количестве четырех на каждом. Окна имеют треугольную форму, все три грани которых выполнены в виде сопрягающихся лезвий 9. Измельчитель обеспечивает снижение энергоемкости и повышение надежности в работе. 4 ил.

RU 2 804 103 С1

RU 2 804 103 С1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2805870

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВИТАМИННО-КАЛЬЦИЕВОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ГУСЕЙ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)*

Авторы: *Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Фролов Владимир Юрьевич (RU)*

Заявка № 2023106259

Приоритет изобретения 17 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 24 октября 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 17 марта 2043 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 805 870**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A23K 50/75 (2016.01)
A23K 40/10 (2016.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A23K 50/75 (2023.08); A23K 40/10 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023106259, 17.03.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.03.2023Дата регистрации:
24.10.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.03.2023

(45) Опубликовано: 24.10.2023 Бюл. № 30

Адрес для переписки:
675005, Амурская обл., г. Благовещенск,
ул. Политехническая, 86, ФГБОУ ВО "ДВГАУ",
Морозова Надежда Александровна

(72) Автор(ы):

Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьников Мария Александровна (RU),
Фролов Владимир Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Под ред. В.А. КРОХИНОЙ
Справочник "Комбикорма, кормовые добавки
и ЗЦМ". М.: ВО Агропромиздат, 1990, с.254,
табл. 250. Рецепт ПК-33-2-89. RU 2540576 C1,
10.02.2015. RU 2424727 C1, 27.07.2011. CN1
02696905 A, 03.10.2012.

(54) СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВИТАМИННО-КАЛЬЦИЕВОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ГУСЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к кормопроизводству и, в частности, к способам получения кормовых добавок для гусей. Способ осуществляется следующим образом. Предварительно подготовленные компоненты: пшеница фуражная пророщенная (ПП) до 50,0 мм длины проростков - 85,0%, соевая мука необезжиренная термообработанная (СНМТ) - 10,0% и мел в мучной форме - 5,0% дозировано, из питателей-дозаторов подают в смеситель, где компоненты

перемешиваются. Затем винтом смесь подается в пастоизготовитель - гранулятор, где гомогенизируют и формуют в гранулы диаметром 2,0-3,0 мм. Гранулы размещают в лотке и затем помещают в камерную сушилку. Высушенные гранулы затаривают и направляют потребителю. Использование изобретения позволит получить гранулят, содержащий антиоксидантный комплекс С+Е+Са, защищенный от окисления воздухом. 2 ил., 1 табл., 1 пр.

RU 2 805 870 C 1

RU 2 805 870 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2740649

ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Ковалева Людмила Альбертовна (RU), Кузьмин Игорь Николаевич (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Чубенко Александр Викторович (RU)*

Заявка № 2020119225

Приоритет изобретения 03 июня 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 19 января 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 03 июня 2040 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 740 649** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
B30B 11/28 (2006.01)
 (52) СПК
B30B 11/28 (2020.08)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 04.06.2022)
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 04.06.2021 по 03.06.2022. При
 уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 04.06.2022 по 03.12.2022
 размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2020119225**, 03.06.2020(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.06.2020Дата регистрации:
19.01.2021Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **03.06.2020**(45) Опубликовано: **19.01.2021** Бюл. № **2**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU2690637C1, 23.04.2019.**
RU2553177C2, 10.06.2015. RU2681091C1,
04.03.2019. US4039168A, 02.08.1977.Адрес для переписки:
675027, Амурская обл., г. Благовещенск,
Игнатьевское ш., 21, ФГБОУ ВО "АмГУ",
Центр поддержки технологий и инноваций,
Шурбиной Ольге Яковлевне

(72) Автор(ы):

Доценко Сергей Михайлович (RU),
Ковалева Людмила Альбертовна (RU),
Кузьмин Игорь Николаевич (RU),
Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьников Мария Александровна (RU),
Чубенко Александр Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Амурский государственный
университет" (RU)

(54) ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению, в частности, к устройствам для получения формованных продуктов в пищевой промышленности. Пресс-гранулятор включает корпус, внутри которого размещен посредством вала винтовой шнек. С корпусом связан съемный узел прессования, содержащий фильеру с отверстиями в виде пакетных наборов сквозных отверстий различного диаметра. Фильера имеет ступенчатый профиль в своем продольном сечении. Ступенчатая конфигурация фильеры образована концентрично расположенными относительно оси вала шнека цилиндрами различной длины. Вдоль ступенчатого продольного профиля фильеры, повторяющей его конфигурацию, установлена пластина, жестко связанная с валом и выполняющая роль срезающего устройства. Использование изобретения позволит снизить энергетические затраты с одновременным расширением технологических

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2740651

ШНЕКОВЫЙ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Ковалева Людмила Альбертовна (RU), Кузьмин Игорь Николаевич (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Чубенко Александр Викторович (RU)*

Заявка № 2020119226

Приоритет изобретения 03 июня 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 19 января 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 03 июня 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 740 651** (13) **C1**(51) МПК
B30B 11/00 (2006.01)
(52) СПК
B30B 11/00 (2020.08)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 04.06.2022)
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 04.06.2021 по 03.06.2022. При
 уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 04.06.2022 по 03.12.2022
 размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2020119226**, **03.06.2020**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.06.2020Дата регистрации:
19.01.2021Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **03.06.2020**(45) Опубликовано: **19.01.2021** Бюл. № **2**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2118105 C1, 27.08.1998. RU**
161157 U1, 10.04.2016. RU 174097 U1,
02.10.2017. US 2845036 A, 29.07.1958.Адрес для переписки:
675027, Амурская обл., г. Благовещенск,
Игнатьевское ш., 21, ФГБОУ ВО "АмГУ",
Центр поддержки технологий и инноваций,
Шурбиной Ольге Яковлевне

(72) Автор(ы):

Доценко Сергей Михайлович (RU),
Ковалева Людмила Альбертовна (RU),
Кузьмин Игорь Николаевич (RU),
Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьников Мария Александровна (RU),
Чубенко Александр Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Амурский государственный
университет" (RU)

(54) ШНЕКОВЫЙ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению и, в частности, к шнековым пресс-грануляторам. Шнековый пресс-гранулятор включает корпус, внутри которого соосно размещен винтовой шнек. С корпусом связан узел прессования, содержащий съемно-сменный кожух с фланцевым креплением к корпусу, на внутренней поверхности которого выполнены продольные сквозные пазы различного профиля в поперечном сечении, а также фильера. Фильера выполнена в виде стакана, наружный выступ основания которого установлен в соответствующем пазу торца шнека. В полости стакана размещен установленный с возможностью перемещения вдоль его образующей Г-образный нож-обламыватель. Вертикально загнутая рабочая поверхность ножа-обламывателя образует регулируемый зазор с торцевой частью кожуха, обеспечивающий требуемую длину гранул или брикетов. Использование изобретения позволит снизить металлоемкость пресса при одновременном расширении технических и технологических возможностей путем получения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2781705

Шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Кузьмин Игорь Николаевич (RU)*

Заявка № 2022110931

Приоритет изобретения 22 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 17 октября 2022 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 22 апреля 2042 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 69b80077e14e40f0a94edbd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 781 705** (13) **C1**

(51) МПК
B30B 11/24 (2006.01)
 (52) СПК
B30B 11/24 (2022.08)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 20.10.2022)
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 23.04.2023 по 22.04.2024. При
 уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 23.04.2024 по 22.10.2024
 размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2022110931**, **22.04.2022**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.04.2022Дата регистрации:
17.10.2022Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **22.04.2022**(45) Опубликовано: **17.10.2022** Бюл. № **29**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2118105 C1, 27.08.1998. RU**
2685943 C1, 23.04.2019. RU 2266205 C1,
20.12.2005. WO 2010151140 A1, 29.12.2010.
US 2633091 A1, 31.03.1953. US RE36232 E1,
22.06.1999.Адрес для переписки:
675027, г.Благовещенск, Игнатьевское ш.,
21, Лейфа Андрей Васильевич

(72) Автор(ы):

Доценко Сергей Михайлович (RU),
Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьникова Мария Александровна (RU),
Кузьмин Игорь Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Амурский государственный
университет" (RU)

(54) Шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано при получении гранул и брикетов. Пресс состоит из корпуса с размещенным внутри него шнеком и узла прессования. Узел прессования включает связанный с корпусом шнека кожух и расположенную в нем фильеру в виде двух взаимно перпендикулярных сопряженных дисков различной толщины. Каждый диск имеет отверстия с диаметром, отличным от диаметра отверстий в смежном диске. Позиционирование и закрепление фильеры в кожухе осуществляется при помощи шипов квадратного сечения, жестко связанных с дисками в зоне их сопряжения, и Г-образных пазов в выходной части кожуха. В результате обеспечивается повышение технологической

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2781714

Шнековый пресс

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Кузьмин Игорь Николаевич (RU)*

Заявка № 2022110176

Приоритет изобретения **15 апреля 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **17 октября 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **15 апреля 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077614e40f0a94e4bd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 781 714** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК

B30B 11/24 (2006.01)

(52) СПК

B30B 11/24 (2022.08)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 20.10.2022)

Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 16.04.2023 по 15.04.2024. При
уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 16.04.2024 по 15.10.2024
размер пошлины увеличивается на 50%.(21)(22) Заявка: **2022110176**, **15.04.2022**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.04.2022Дата регистрации:
17.10.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **15.04.2022**(45) Опубликовано: **17.10.2022** Бюл. № **29**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2118105 C1, 27.08.1998. RU**
2685943 C1, 23.04.2019. US RE36232 E1,
22.06.1999. WO 2010151140 A1, 29.12.2010.
WO 2000018572 A1, 06.04.2000.

Адрес для переписки:

675027, г. Благовещенск, Игнатьевское ш.,
21, ФГБОУ ВО "Амурский ГУ", Лейфа
Андрей Васильевич

(72) Автор(ы):

Доценко Сергей Михайлович (RU),
Школьников Павел Николаевич (RU),
Школьников Мария Александровна (RU),
Кузьмин Игорь Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Амурский государственный
университет" (RU)**(54) Шнековый пресс****(57) Реферат:**

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в оборудовании для получения гранул и брикетов. Пресс состоит из корпуса с размещенным в нем шнеком и узла прессования. Узел прессования содержит связанный с корпусом шнека кожух и фильеру в форме шара со сквозными отверстиями. Диаметр шара равен внутреннему диаметру выходной части кожуха. Отверстия расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях центральных сечений фильеры и имеют различный диаметр в этих сечениях. Установка фильеры в выходной части кожуха осуществляется посредством шарниров, образованных кинематической связью между цилиндрическими шипами-выступами, жестко связанными с фильерой, и продольными пазами в выходной части кожуха. В результате обеспечивается возможность поворота фильеры на 90° относительно вертикальной оси с целью смены вида выпускаемой продукции. Использование



Международный научный форум
Наука и инновации -
современные концепции



ДИПЛОМ

настоящим удостоверяется, что

Школьникова Мария Александровна

является участником Международного научного форума

«Наука и инновации - современные концепции»

дата проведения Форума - 16 ноября 2023 г. Тема доклада:

**Теоретическое обоснование технологии приготовления
кормов для уток**

Материалы включены в сборник работ научного форума.

Главный редактор _____ Д.Р.Хисматуллин



Москва, 2023



Международный научный форум
Наука и инновации -
современные концепции



ДИПЛОМ

настоящим удостоверяется, что

Школьникова Мария Александровна

является участником Международного научного форума
«Наука и инновации - современные концепции»
дата проведения Форума - 18 января 2024 г. Тема доклада:
**Теоретические подходы к обоснованию системы
кормления водоплавающей птицы**

Материалы включены в сборник работ научного форума.

Главный редактор _____ Д.Р.Хисматуллин



Москва, 2024

**ВЫСШАЯ ШКОЛА:
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**
Межвузовский международный конгресс

ДИПЛОМ

настоящим удостоверяется, что

Школьникова Мария Александровна

является участником Межвузовского международного конгресса

«Высшая школа: научные исследования»

дата проведения: 10 ноября 2023 г.

Тема доклада:

***Теоретическое обоснование процесса приготовления
кормов для гусей***

Материалы включены в сборник работ научного конгресса

Главный редактор

Д. Р. Хисматулин



Москва, 2023