

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Винокуров Сергей Александрович

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

Специальность:

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
П.Н. Школьников

Благовещенск 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОСТОЯНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОСМЕСЕЙ	11
1.1 Обоснование необходимости, возможности и целесообразности повышения эффективности функционирования системы кормления кроликов на основе местного сырья	11
1.2 Известные способы и технологии приготовления кормов для кроликов и их анализ	12
1.3 Существующие способы и технические средства для измельчения кормов и их анализ	20
1.4 Существующие способы и технические средства для гранулирования и брикетирования кормов и их анализ	32
1.5 Краткий обзор исследований по изучению процессов измельчения, смешивания и получения гранул и брикетов	38
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕССОВАННО-ФОРМОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ КОРНЕПЛОДНО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА ВИНТОВОГО ТИПА	46
2.1 Обоснование способа приготовления прессованно-формованных продуктов и структурно-функциональной схемы устройства для его реализации	46
2.2 Обоснование параметров процесса дезинтеграции-гомогенизации корнеплодно-зерновой композиции решеточно-ножевым аппаратом устройства	51
2.3 Обоснование параметров прессующе-формующего блока устройства	54
Выводы по главе	66

3	ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ	68
3.1	Программа исследований	68
3.2	Описание разработанной установки и применяемого оборудования для проведения опытов	70
3.3	Методика установления физико-механических показателей и свойств кормового сырья и компонентов	76
3.4	Методика установления прочности гранул	77
3.5	Методика установления степени измельчения, однородности гранулометрического состава, энергоемкости и подачи устройства	77
3.6	Методика определения однородности смеси в корнеплодно-зерновых композициях	80
3.7	Методика реализации многофакторного эксперимента и обработки опытных данных	80
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	82
	Выводы по главе	111
5	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ЛИНИИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРЕССОВАННО-ФОРМОВАННЫХ КОРМОВ КРОЛИКАМ НА ОСНОВЕ КОРНЕПЛОДНО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ	113
5.1	Условия проведения производственной проверки основных результатов исследований	113
5.2	Технико-экономическая эффективность результатов исследований	115
5.3	Методика инженерного расчета оборудования для приготовления прессованно-формованных кормов кроликам на основе принятого рациона	120
	Выводы по главе	121

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
Рекомендации и предложения производству	124
Перспективы дальнейшей разработки темы	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	126
ПРИЛОЖЕНИЯ	143

ВВЕДЕНИЕ

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

При этом существенная роль отводится использованию так называемого местного сырья.

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

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

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

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

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

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

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

Задачи исследований:

- обосновать возможность и целесообразность создания прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций;
- на основе базовых положений, характеризующих процессы измельчения, смешивания и уплотнения кормового сырья, обосновать структурно-функциональную схему прессующе-формующего устройства винтового типа и его параметры путем установления соответствующих аналитических зависимостей;
- экспериментальным путем получить математические модели, характеризующие процесс приготовления прессованно-формованных продуктов, и на их основе обосновать оптимальные значения параметров прессующе-формующего устройства винтового типа;
- провести производственную проверку основных результатов исследований и дать им технико-экономическую оценку;
- разработать методику инженерного расчета линии с использованием прес-

сующе-формующего устройства винтового типа, а также рекомендации по проектированию машин данного назначения.

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

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

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

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

В аналитических исследованиях использованы методы математики и прикладной механики.

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

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

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы технологический процесс и параметры прессующе-формующего устройства винтового типа, предназначенного для получения прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций. Разработана методика инженерного расчета линии производства прессованно-формованных корнеплодно-зерновых продуктов с использованием предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа.

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

Научную новизну работы составляют:

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

Положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости по расчету параметров предложенного способа и прессующе-формующего устройства винтового типа для его реализации;

– математические модели оценки процесса и значения параметров предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа в виде достоверных уравнений регрессии;

– методика расчета предложенного прессующе-формующего устройства винтового типа в составе линии приготовления прессованно-формованных корнеплодно-зерновых продуктов;

– технико-экономическая оценка предложенных технологических и технических решений.

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

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

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

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

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

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

1 СОСТОЯНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОСМЕСЕЙ

1.1 Обоснование необходимости, возможности и целесообразности повышения эффективности функционирования системы кормления кроликов на основе местного сырья

Как показывает анализ литературных источников и практика, кролиководство является одной из важнейших отраслей народного хозяйства [7-9, 45, 97, 128, 129].

Известна высокая плодовитость кроликов, а также возможность получения от них различной продукции в виде диетического мяса, шкурок, пуха и т.д.

В странах развитого кролиководства, таких как Китай, Франция, Италия, Испания, Венгрия и других, кроликов содержат на крупных индустриальных фермах от 200 крольчих и более, средних фермах и мелких, так называемых, семейных [7-9].

В нашей стране кролиководством успешно занимаются во всех регионах на крупных и средних фермах, а также на малых фермах с числом от 10 до 200 самок. Они позволяют за 3-4 месяца вырастить молодняк с получением тушек до 3,0 кг. при затрате на 1 кг привеса 3,2 кг. корма в месяц.

На основе многочисленных исследований ученых и данных передовой производственной практики установлено, что только кормовые смеси, в полной мере насыщенные белковыми и витаминно-минеральными веществами естественной природы, удовлетворяют физиологическим потребностям животных [18, 42, 43, 64, 92].

Только научно обоснованные рецептурные смеси способствуют усилению процесса усвояемости физиологически необходимых веществ и, следовательно, повышению продуктивности животных.

Анализ классических и традиционных кормовых рационов для кроликов, разработанных в период до 1990 года [59, 60] показал, что они включают в себя фуражное зерно в виде овса, пшеницы, ячменя, кукурузы, а также травяную, рыбную,

мясокостную и костную муку, с дополнительным вводом в их состав жмыха и шрота подсолнечникового и т.д., как источников высокобелковых и витаминно-минеральных компонентов [97, 98, 128, 1129, 138].

При этом, если производство фуражного зерна в регионах РФ осталось и даже увеличилось, то в условиях рыночной экономики производство вышеперечисленных видов муки или существенно сократилось, или исчезло совсем [72]. Например, производство витаминно-травяной муки в связи с высокими удельными затратами энергии, труда и средств.

В этой связи особую актуальность приобрело использование местного высокобелкового и витаминно-минерального сырья, а также продуктов его переработки.

В частности, в качестве высокобелкового компонента широкое распространение на практике [64, 97, 98, 119, 120, 123, 128, 129, 153] получила соя и продукты ее переработки, так как их белковый состав по аминокислотам не уступает кормам на основе муки из сырья животного происхождения.

Наличие широко распространённого производства в нашей стране корнеклубнеплодного сырья в виде моркови, тыквы, капусты, картофеля и т.д., позволяет эффективно его использовать в кормлении кроликов при наличии необходимых для их переработки в корма эффективных технологических и технических решений с точки зрения снижения затрат энергии и средств.

1.2 Известные способы и технологии приготовления кормов для кроликов и их анализ

В настоящее время известно множество способов и технологических схем приготовления кормов и кормовых смесей кроликам, что обусловлено использованием различного вида сырья и его комбинированием в рецептурах [7-9, 35, 64, 70, 73, 79, 97, 98, 116, 117, 119, 120, 122, 129, 138, 149, 151].

В классических и традиционных составах рецептур основными компонентами являются ячмень, кукуруза, овес, пшеница, а в качестве дополнительных — мука рыбная, костная, травяная, мясокостная, а также жмыхи и шроты, получаемые

от переработки высокомасличных и высокобелковых культур, таких как подсолнечник, соя и т.д. [72, 79, 93].

В качестве комплекса минеральных веществ используют сапропель [108-123], а также соломенно-грибной субстрат [113, 115, 118, 120, 121].

При этом, наряду с рассыпного вида кормами, кормление кроликов осуществляют гранулированными и брикетированными смесями.

На рисунках 1.1 и 1.2 представлены технологическая и аппаратная схемы приготовления формованных кормосмесей с применением соевого компонента.

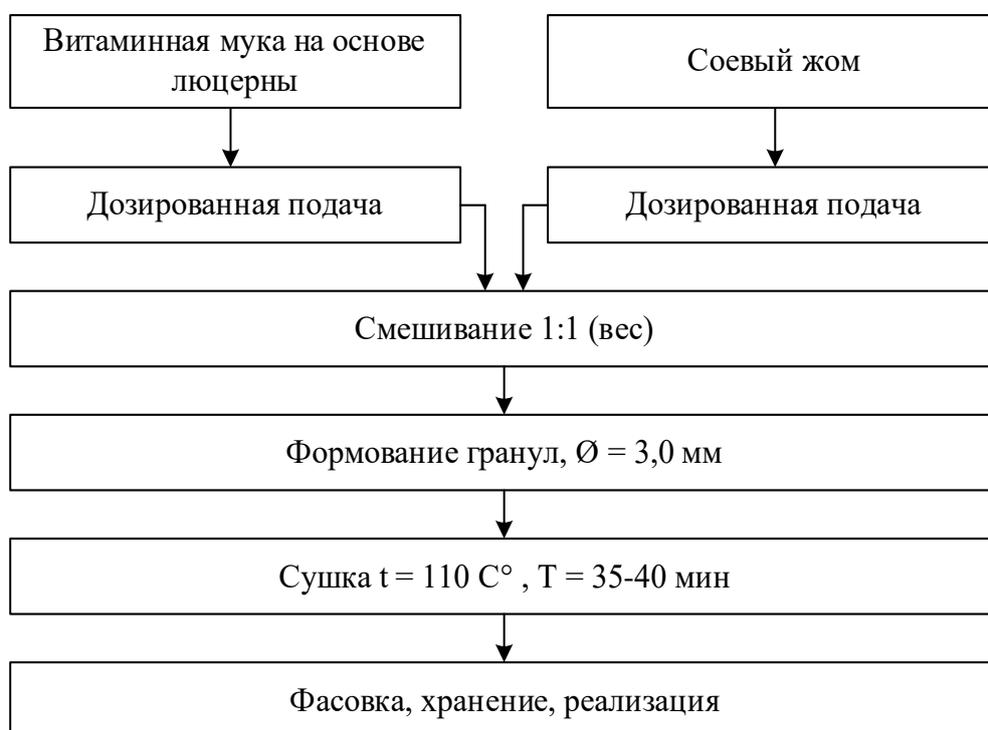
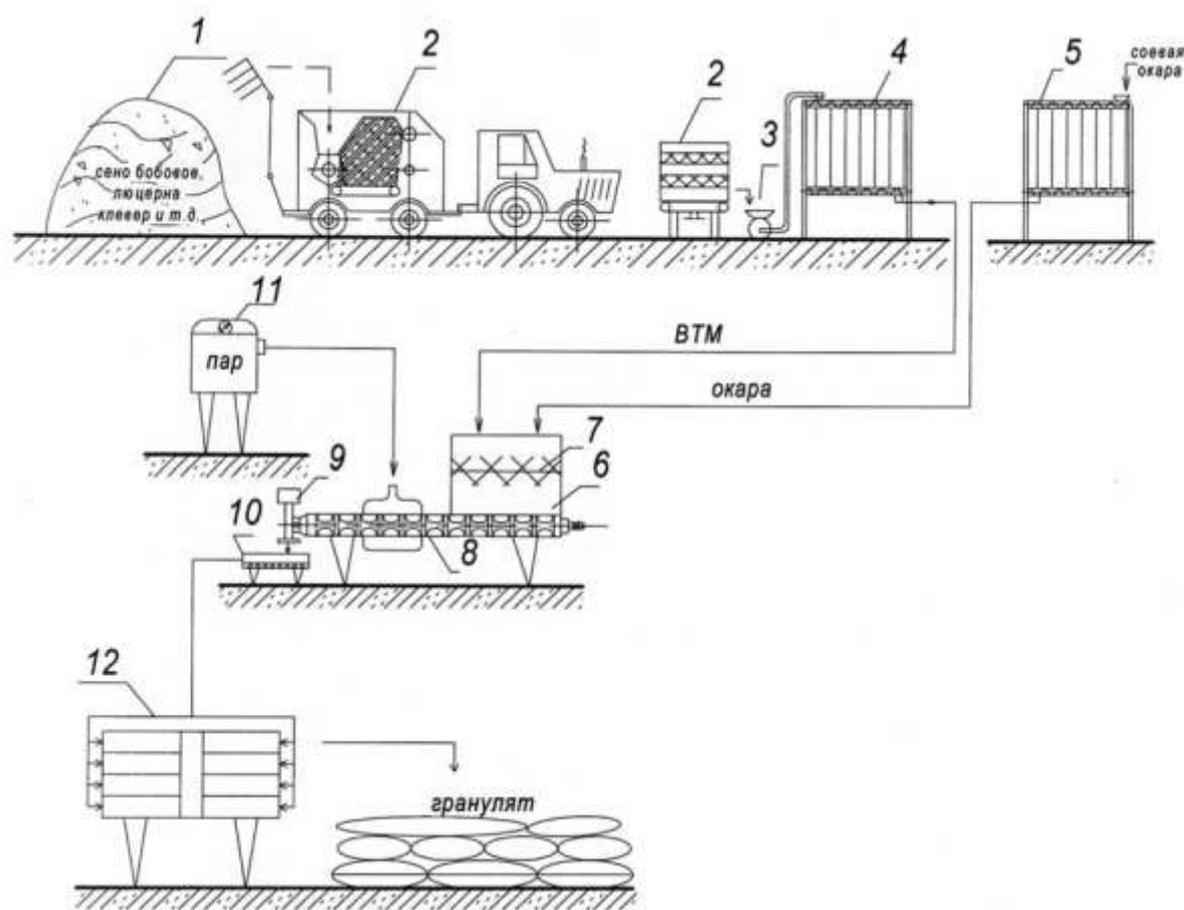


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства белково-углеводного прессованного продукта для кроликов



1—хранилище люцернового сена; 2 – многофункциональный малогабаритный мобильный агрегат; 3- дробилка; 4,5 – бункера-накопители; 6 – смеситель-усреднитель; 7 – мешалка; 8 – пресс; 9 – формующий узел; 10 – лоток;
11 – парогенератор; 12 - сушильный шкаф «ЭСПИС – 4»-Универсал

Рисунок 1.2 Аппаратурная схема линии приготовления ВТМ с получением гранулята на основе соевого жома:

На рисунке 1.3 приведена принципиальная технологическая схема приготовления белково-углеводного гранулированного продукта для кроликов, которая также предусматривает использование в их рационе соевой окары (соевого жома) [16, 138].

При этом схемой предусмотрен отжим влаги из полученной соевой окары. Этот факт говорит о том, что процесс приготовления гранул кроликам является «привязанным» к процессу производства соевого молока, что ограничивает применение данной технологии производителями продукции кролиководства.

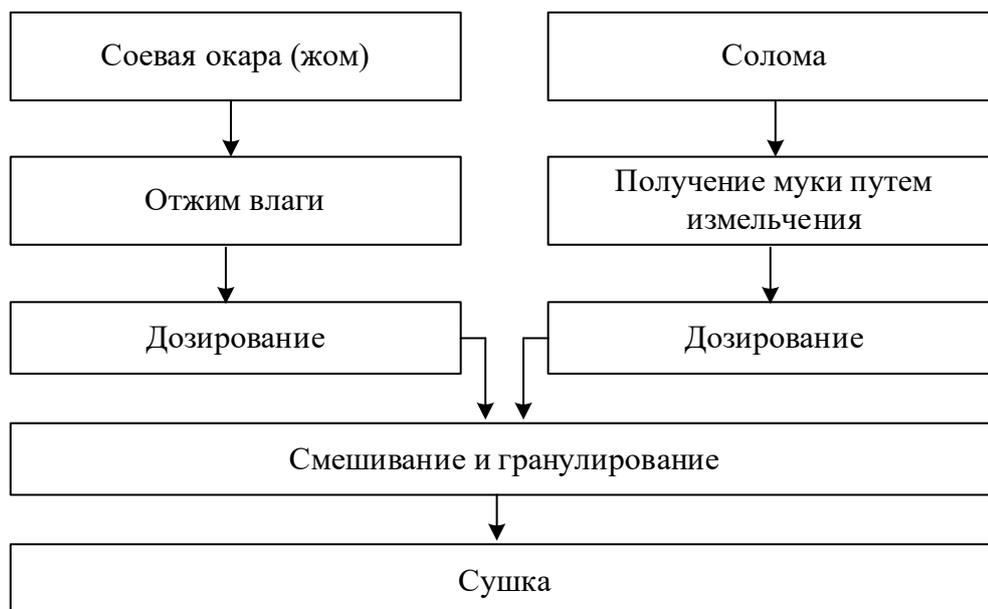


Рисунок 1.3 – Принципиальная технологическая схема приготовления гранулированных кормов кроликам

На основании проведенных исследований авторами [70, 79] сделано заключение о том, что данная технология позволяет получить продукт, обогащенный витаминами А, Е и Д с высоким содержанием белка в количестве 23,8 %.

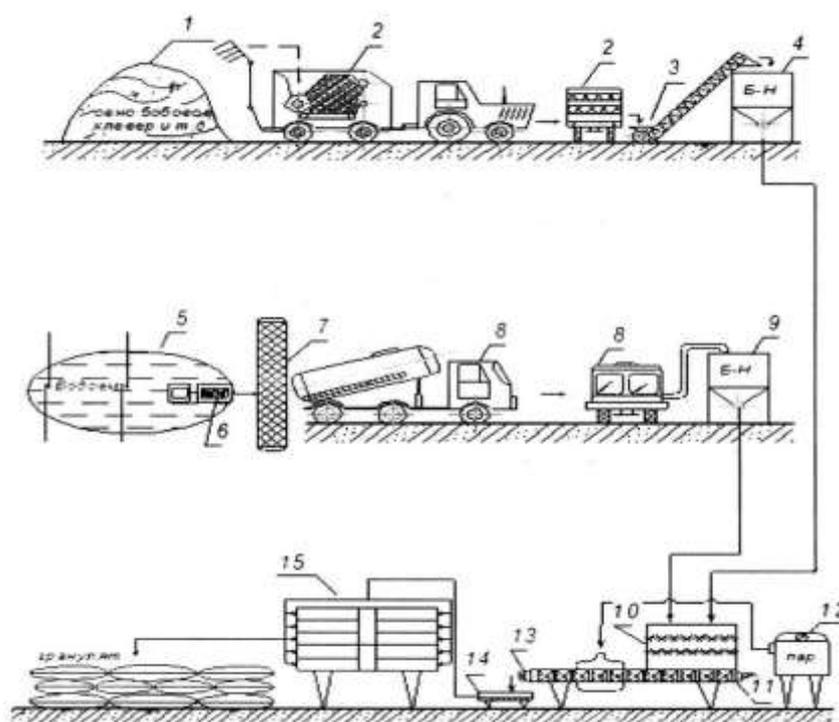
Данная технология предусматривает использование специального многофункционального агрегата – 2 (рисунок 1.2). В этой связи в настоящее время она фактически недоступна для производителей.

Многочисленные варианты технологических схем и способов приготовления гранулированных кормосмесей для кроликов с использованием сапропеля предложены авторами работ [108, 114]. На рисунках 1.4 и 1.5 представлены технологическая и аппаратная схемы приготовления гранулированных кормов кроликам, согласно патента РФ № 2555578С1.

Как показывает анализ данных схем, они являются материало- и энергоемкими, а потому их использование на малых фермах не предполагает высокой эффективности.



Рисунок 1.4 – Принципиальная технологическая схема приготовления гранулированного корма с использованием сиропеля



- 1 – хранилище; 2 – питатель-раздатчик; 3 – транспортёр; 4 – бункер-накопитель;
 5 – водоем; 6 – добывающая установка; 7 – хранилище; 8 – автомобиль;
 9 – бункер-накопитель; 10- смеситель; 11 – пресс; 12 – парогенератор;
 13 – формующая решетка; 14 – сетчатый лоток; 15 – сушильный шкаф

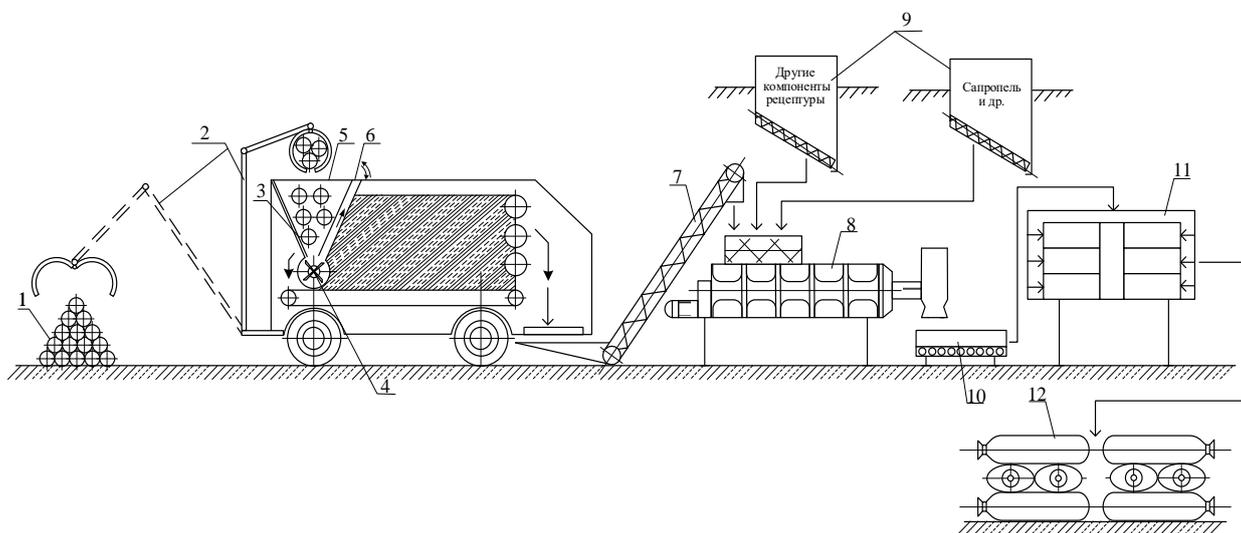
Рисунок 1.5 – Аппаратурная схема приготовления гранулированных кормов согласно патенту РФ № 2555578С1

Важнейшей особенностью разработанных схем, является тот факт, что сапропель принят в них связующим минерально богатым компонентом, позволяющим усреднить влажность в композиции и, тем самым, снизить затраты на сушку гранул.

Известен также ряд запатентованных в РФ технических решений по приготовлению гранулированных кормов для кроликов, в которых используется отработанный соломенно-грибной или опилочно-грибной субстрат (рисунок 1.6 и 1.7).



Рисунок 1.6 – Принципиальная технологическая схема приготовления прессованно-формованных кормовых продуктов для кроликов



1 – хранилище; 2 – манипулятор-захват; 3 – измельчитель; 4 – ротор; 5 – бункер; 6 – распределитель; 7 – шнековый транспортер; 8 – гранулятор; 9 – бункера-питатели-дозаторы; 10 – сетчатый лоток; 11 – сушильный камерный шкаф; 12 – гранулят комбикормов кроликам

Рисунок 1.7 – Аппаратурная схема линии приготовления гранулированных

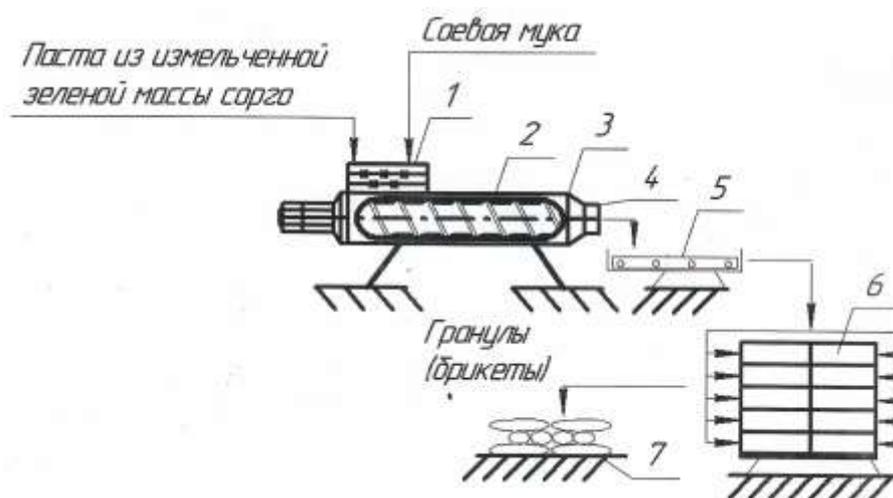
При этом особенностью данных способов является использование в композициях свекольной, тыквенной, люцерновой паст.

Данный подход является оригинальным и представляет несомненно практическую ценность, так как позволяет получить композиции с усредненной влажностью, а перечисленные пасты использовать как связующие и витаминно-обогащающие компоненты.

Известны также способы приготовления брикетированных кормовых продуктов в виде белково-углеводной добавки на основе соевой муки и пасты из измельченной зеленой массы такой культуры, как сорго (рисунок 1.8) и получения белково-витаминных брикетов на основе пасты из зеленой массы зерновых культур в фазе молочно-восковой спелости и соевой муки (рисунок 1.9).



а)



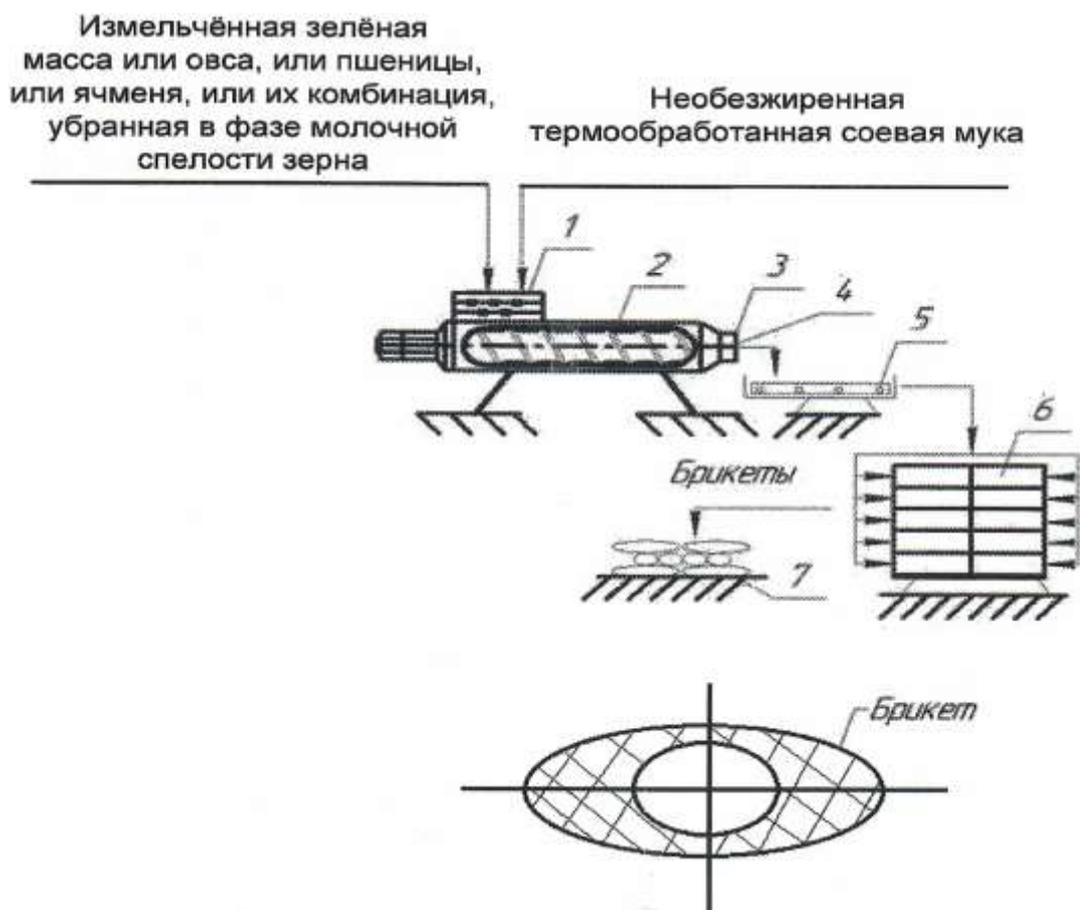
б)

1 – бункер; 2 – винт; 3 прессующий блок; 4 – матрица; 5 – лоток;
6 – сушильная камера, 7 – гранулы, брикеты

Рисунок 1.8 – Технологическая – а) и аппаратная – б) схемы процесса приготовления гранул и брикетов в виде белково-углеводной добавки



а)



б)

1 – бункер; 2 – винт; 3 – матрица; 4 – сопло; 5 – лоток;
6 – сушильный шкаф, 7 – брикеты

Рисунок 1.9 – Технологическая – а) и конструктивно-технологическая – б) схема процесса приготовления формованных продуктов

Кроме схем, приведенных выше, в последнее время разработан ряд способов приготовления белково-углеводных, белково-витаминных, белково-минеральных кормовых продуктов, в виде гранул и брикетов, в которых использован аналогичный подход [124-127].

При этом в них использованы соевая мука, паста кукурузная на основе зеленой массы или клевера, или кукурузы, убранных в фазе бутонизации или молочно-восковой спелости, а также «Борщевика Сосновского».

Однако, данные кормовые продукты предназначены для других видов животных.

Таким образом, проведенным анализом установлено, что в разработке новых способов приготовления кормов широко используется подход, связанный с введением в смеси пастообразных компонентов, посредством которых обеспечивается усреднение влаги в композициях, они выступают в качестве доступных связующих, позволяют обогатить смеси белковыми, витаминными и минеральными веществами.

Всё это в конечном итоге позволяет выйти на малоэнергоёмкие технологии приготовления качественных кормов.

1.3 Существующие способы и технические средства для измельчения кормов и их анализ

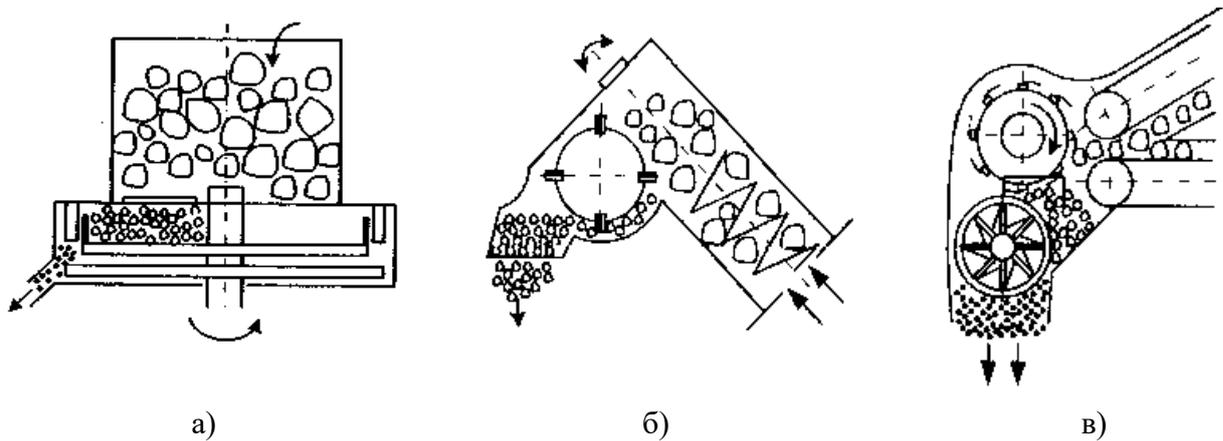
Как установлено анализом литературных источников, основной операцией при подготовке корнеклубнеплодов (ККП) скормливанию является операция измельчения [3-6, 10-13, 49, 50, 57, 63, 66, 75, 85, 88, 134, 138, 139, 142-145, 152].

При этом основными требованиями к качеству процесса измельчения ККП являются степень их измельчения и снижение потерь выделяющегося при разрушении растительных тканей содержащегося в них питательного сока.

В качестве основных способов измельчения ККП применяется измельчение рубкой, ударом молотками, скоблением стружки и т.д. [3, 46, 72, 89, 102, 132, 133, 136, 146, 147].

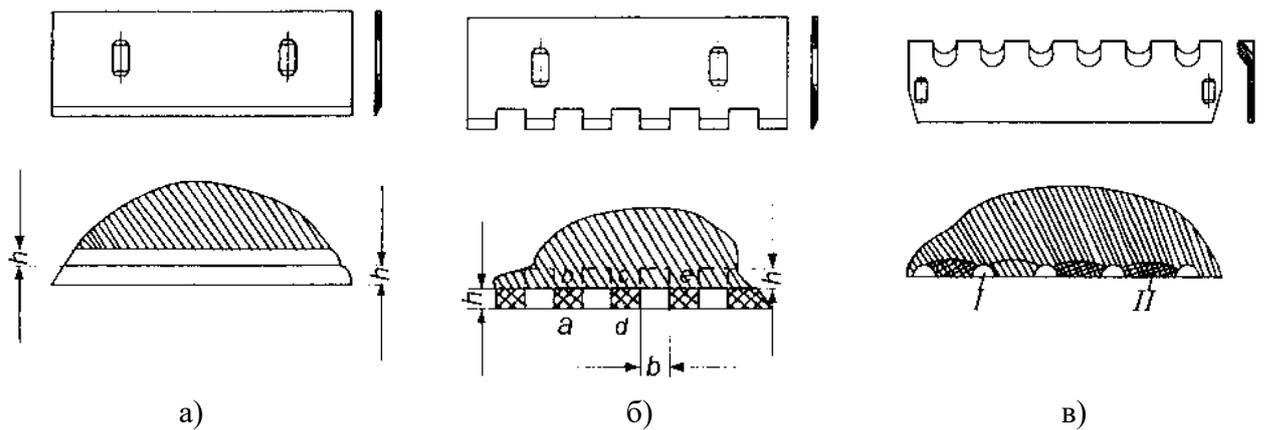
Реализация каждого из этих способов осуществляется определенным типом рабочих органов и соответствующим техническим средством (рисунок 1.10).

С этой целью применяют корнерезки, корнетерки, измельчители, пастоизготовители ножевого, дискового, молоткового и других типов с их различной конфигурацией (рисунок 1.11).



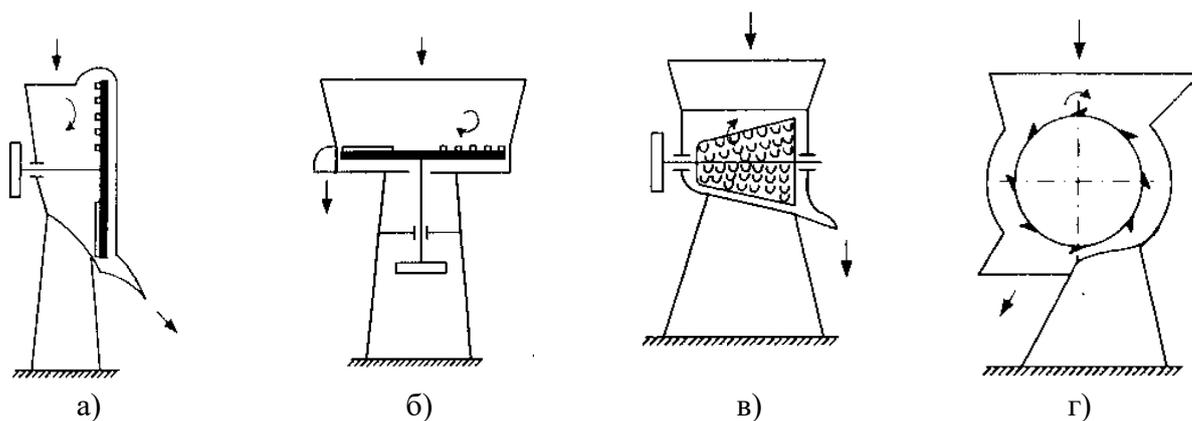
а – ножевые; б – молотковые; в – комбинированные

Рисунок 1.10 – Типы измельчающих аппаратов



а – нож в виде лезвия; б – гребенчатый нож; в – нож в виде совочка

Рисунок 1.11 – Конфигурация ножей измельчителей

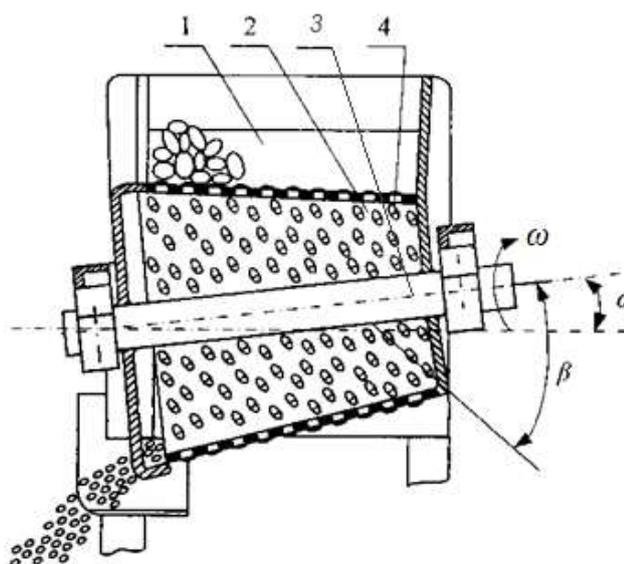


а, б – дисковых; в – барабанно-конических; г – барабанно-цилиндрических

Рисунок 1.12 – Конструктивно-технологические схемы измельчителей корней, клубней и плодов

Основные типы технических средств данного назначения приведены на рисунке 1.12.

К разряду классических схем относятся схемы технических средств, в которых используется принцип истирания продукта. Согласно первой схеме (рисунок 1.13) измельчающий аппарат в них выполнен в виде цилиндрического или конического вращающегося относительно подаваемого продукта барабана – 2 с так называемыми ячеистыми ножами – 4 [118].



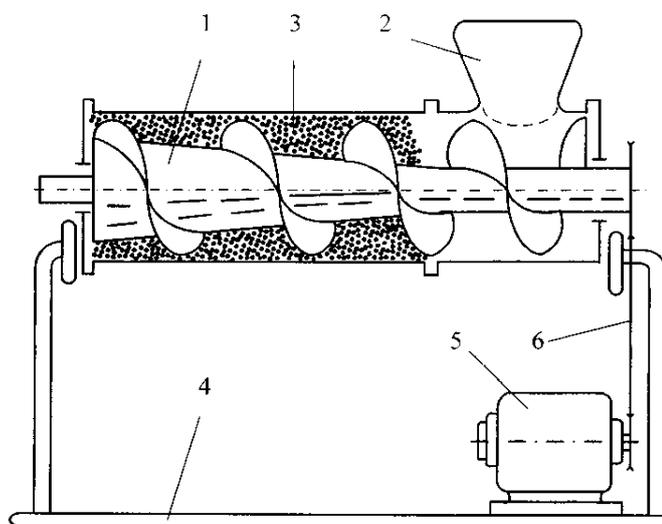
1 – загрузочный бункер; 2 – конический полый барабан-терка; 3 – вал барабана;
4 – ячейки-отверстия с режущими кромками

Рисунок 1.13 – Конструктивная схема барабанного измельчителя:

Основным недостатком барабанного измельчителя является забивание ячеек барабана измельченными частицами. В результате этого снижается эксплуатационная производительность устройства.

Известна также конструкция шнековой терки (рисунок 1.14), в которой терка выполнена в виде перфорированного цилиндрического корпуса [131].

В качестве основного недостатка такой конструкции можно отметить заклинивание конического шнека из-за невозможности полного измельчения продукта и его возможного накопления в конечной конической части шнека.



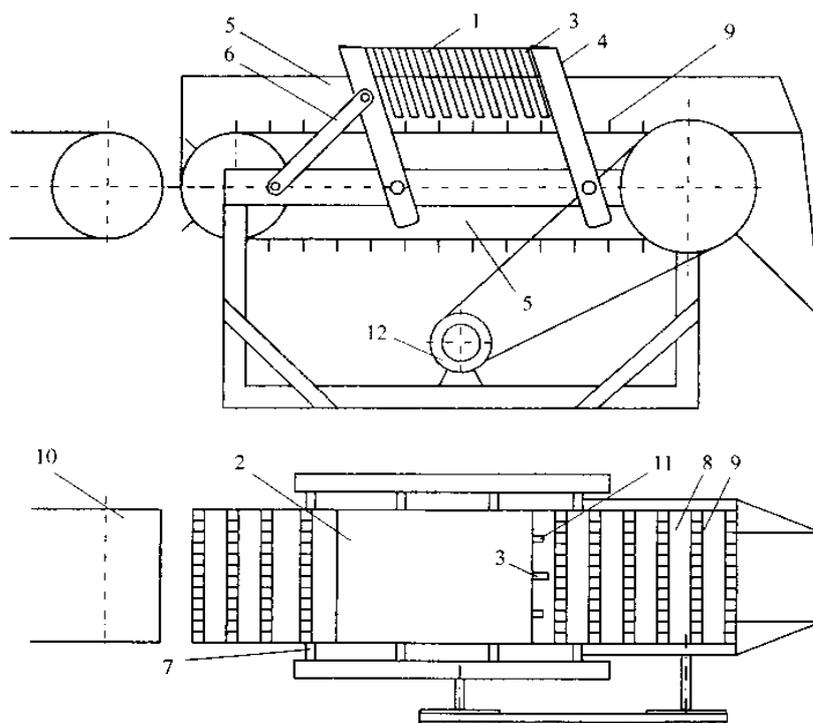
1 – конический шнек; 2 – загрузочный бункер; 3 – цилиндрическая терка; 4 – рама;
5 – электродвигатель; 6 – клиноременная передача

Рисунок 1.14 – Конструктивно-технологическая схема механической шнековой терки

Известна также группа так называемых транспортерных измельчителей, содержащих пакеты ножей прямой или кольцевой конфигурации (рисунки 1.15 – 1.18) [131].

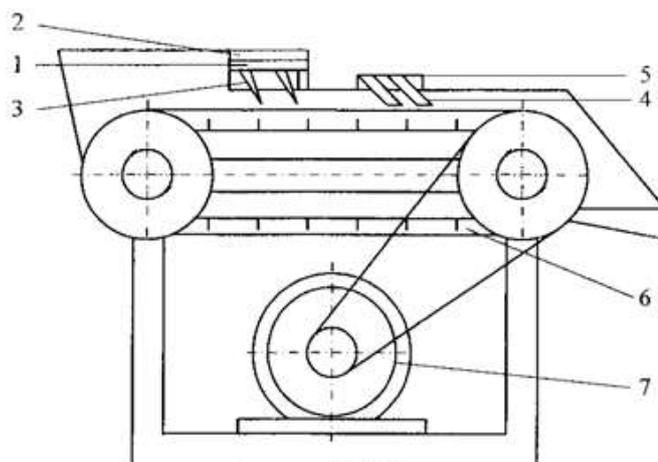
В данных конструкциях использован принцип принудительной или гравитационной, а также комбинированной подачи ККП к режущим элементам, выполненным в виде пакета ножей.

На рисунке 1.16 приведена схема конструкции двухпакетного транспортерного измельчителя [131].



1 – пакет ножей; 2 – кожух; 3 – средний нож; 4 – стойка; 5 – транспортер;
6 – регулировочная пластина; 7 – рама; 8 – полотно транспортера; 9 – планка;
10 – транспортер; 11 – крайний нож; 12 – электродвигатель

Рисунок 1.15 – Конструктивно-технологическая схема транспортерного измельчителя



1 – держатель ножей; 2 – кожух; 3 – ножи; 4 – ножи; 5 – держатель;
6 – транспортер; 7 – электродвигатель

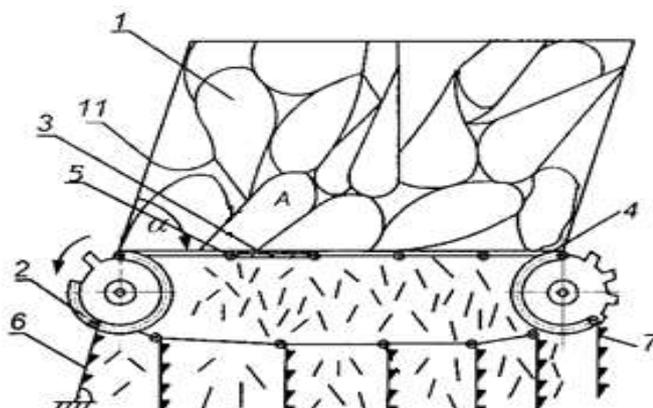
Рисунок 1.16 – Схема измельчителя плодов

В качестве основного недостатка данных конструкций измельчителей можно выделить проскальзывание транспортера относительно подаваемого слоя ККП и, как следствие, снижение интенсивности их подачи.

Указанного недостатка лишены конструкции измельчителей, представленные на рисунках 1.17 и 1.18 [131].

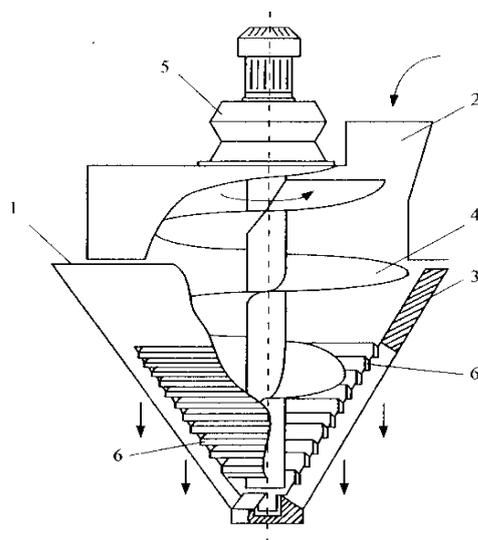
Данные измельчители относятся к группе с гравитационной и комбинированной подачей к измельчающим элементам.

В первом случае они закреплены на транспортере шарнирно, а во втором – неподвижно, причём пакет кольцеобразно выполненных ножей собран с уменьшающимся их диаметром к низу (имеет коническую конфигурацию).



1 – ККП; 2 – звездочка; 3 – транспортер; 4 – полотно транспортера; 5 – шарнир;
6 – нож; 7 – режущий элемент ножа

Рисунок 1.17 – Конструктивно-технологическая схема транспортерной корнерезки

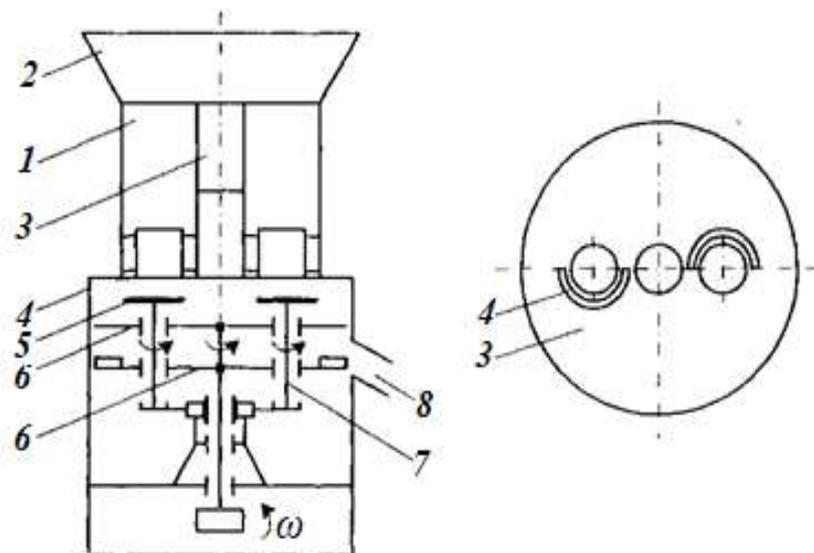


1 – бункер; 2 – загрузочная горловина; 3 – стенка конического бункера;
4 – винт шнека; 5 – мотор-редуктор; 6 – ножи

Рисунок 1.18 – Схема транспортерно-шнекового измельчителя

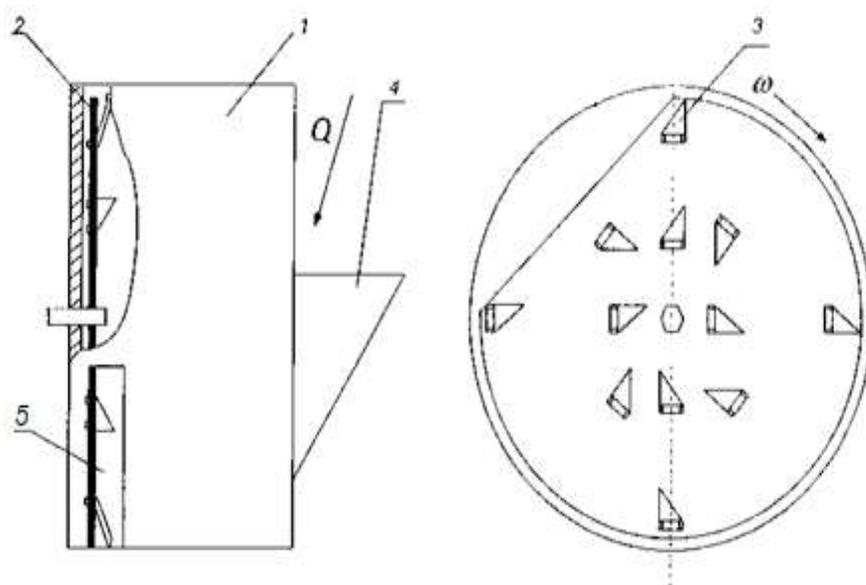
Отдельную и многочисленную группу измельчителей ККП составляют так называемые дисковые и роторные [10-13, 47, 140]. Основные их схемы приведены

на рисунках 1.19 – 1.22.



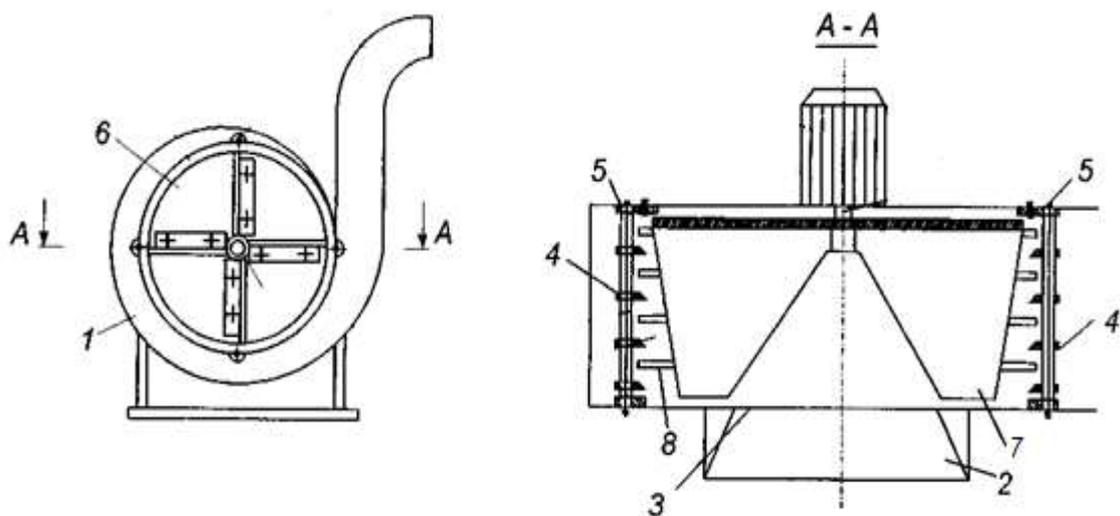
1 – бункер; 2 – горловина; 3 – ролики; 4 – корпус; 5 – нож;
6 – диск; 7 – вал; 8 – выгрузное окно

Рисунок 1.19 – Схема дискового измельчителя ККП



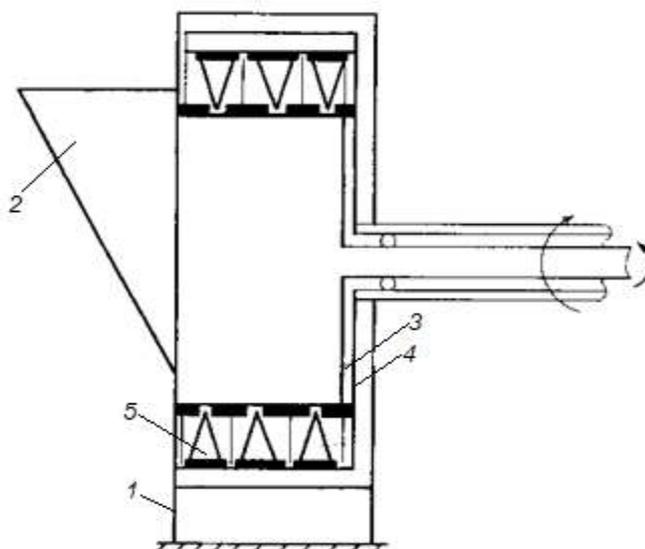
1 – корпус; 2 – диск; 3 – нож; 4 – горловина; загрузочная; 5 – выгрузное окно

Рисунок 1.20 – Конструктивно-технологическая схема измельчителя
с боковой подачей ККП



1 – корпус; 2 – лоток; 3 – окно; 4 – противовезы; 5 – шарнир; 6 – диск;
7 – лопасть; 8 – ножи; 9 – электродвигатель

Рисунок 1.21 – Схема устройства для резки корней, клубней и плодов
по а.с. № 1053781



1 – рама; 2 – загрузочная горловина; 3 – ротор-дека;
4 – ротор с ножами; 5 – ножи

Рисунок 1.22 – Схема роторного измельчителя ККП

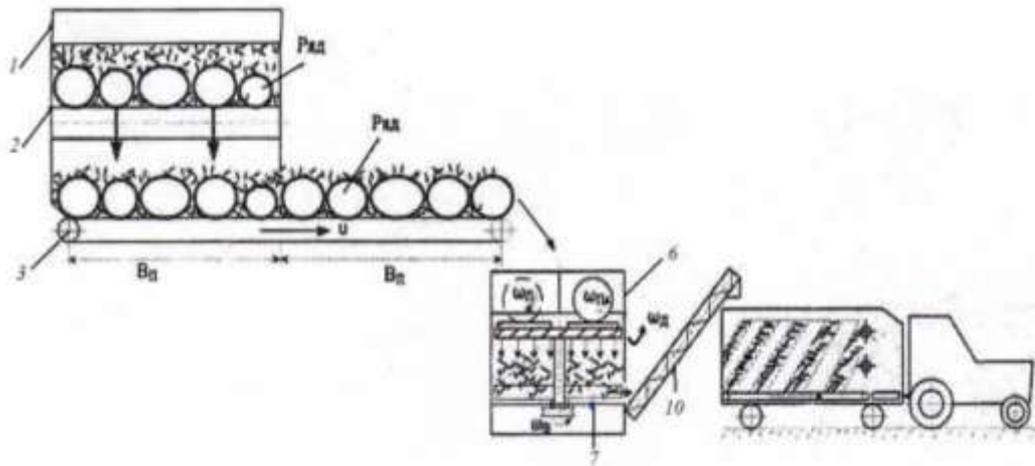
Данные измельчители созданы в период 1960-1990 гг. Их нельзя отнести к группе малогабаритных устройств. В этой связи они не отвечают требованиям, предъявляемым к техническим средствам для использования в фермерских и личных подсобных хозяйствах.

Известны также конструкции дисковых измельчителей растительного сырья

(ККП), рабочим органом в которых является диск, оснащенный металлическим щеточным ворсом.

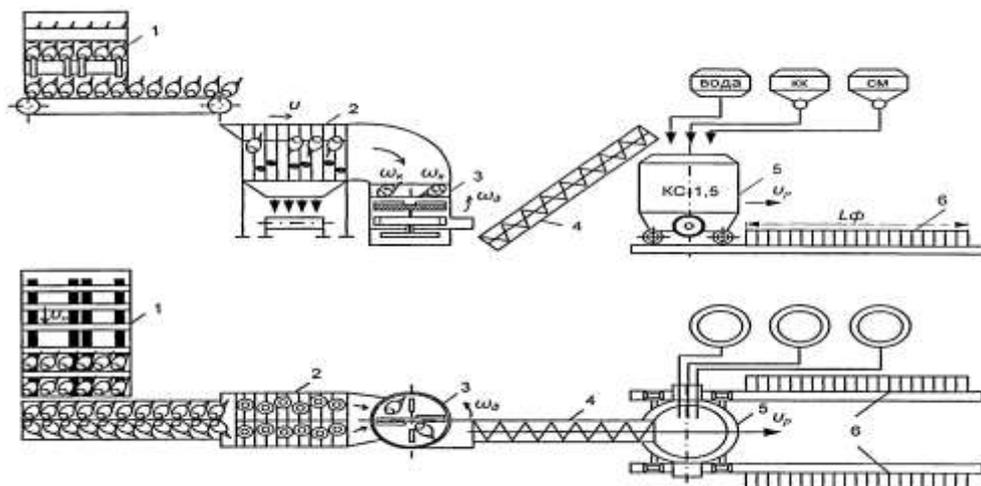
Данная конструкция предназначена для измельчения корнеклубнеплодно-зерновых композиций в водной среде с целью получения экстрактов и жома.

Для измельчения замороженных ККП в виде плодов тыквы, свеклы типа кукурузы и т.д. разработан дисковый измельчитель с четырьмя ножами и гравитационной подачей ККП (Рисунки 1.23 и 1.24).



1 – питатель; 2,3 – транспортеры; 4 – измельчитель; 5 – диск с ножами;
6 – упор; 7 – рама; 8 – корпус; 9 – лопасти; 10 – шнековый транспортёр

Рисунок 1.23 – Конструктивно-технологическая схема линии подготовки тыквы с использованием измельчителя замороженных плодов



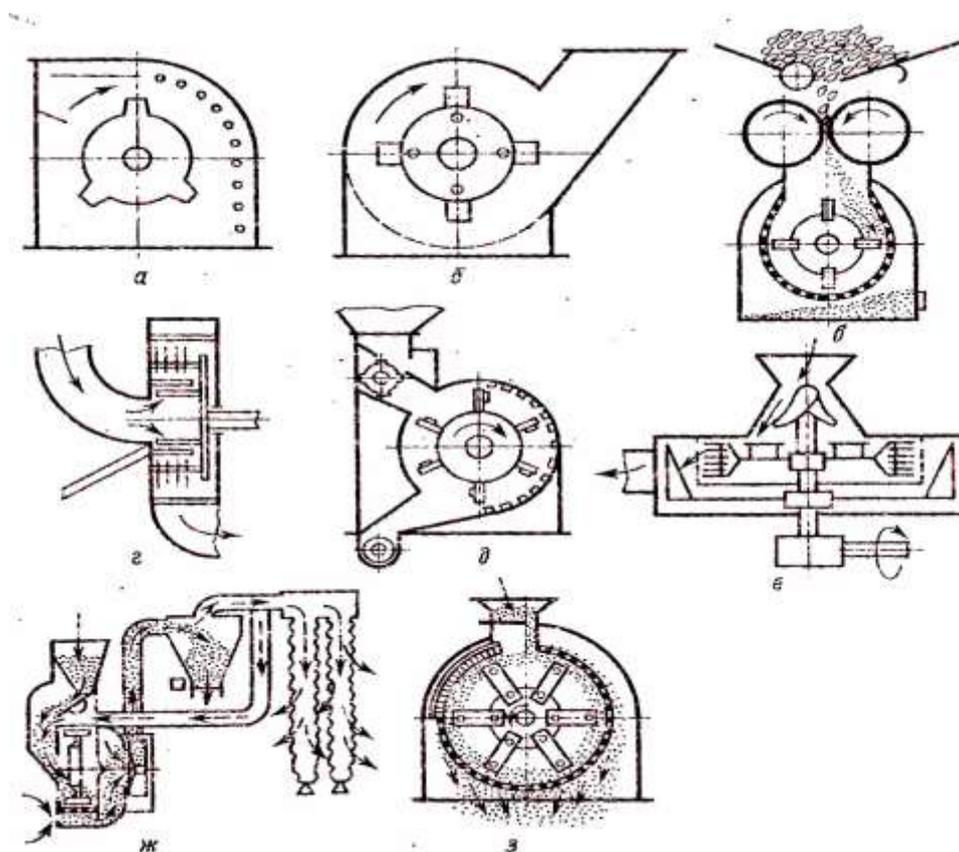
1 – питатель; 2 – очиститель; 3 – измельчитель;
4,6 – шнековые транспортеры; 5- накопитель

Рисунок 1.24 – Конструктивно-технологическая схема подготовки ККП с использованием измельчителя замороженных корней

Данная конструкция измельчителя предназначена для использования на предприятиях средней и большой производственной мощности.

Особую группу среди измельчителей представляют так называемые дробилки, предназначенные для дезинтеграции фуражного зерна. В качестве рабочего органа в них используется ротор с шарнирно подвешенными молотками [74, 77, 81, 84, 87, 93, 94, 99, 111, 135, 154, 158, 159].

Основные схемы молотковых дробилок представлены на рисунке 1.25 [67].



а – открытые; *б* – закрытые; *в, г* – двух- и многостадийные;

д – с жестким креплением органов; *е* – горизонтальная;

ж – с замкнутым воздушным потоком; *з* – с шарнирно закрепленными органами

Рисунок 1.25 – Схемы молотковых дробилок агропромышленного назначения

Технические средства данного назначения получили в сельскохозяйственной отрасли широкое распространение, несмотря на ряд присущих им недостатков.

Однако, несмотря на это, основным и существенным недостатком дробилок

молоткового типа является большое количество образующейся в результате дробления мучной пыли, которая приводит к загрязнению помещений и окружающей среды, что приводит к потерям продукта, а также взрывоопасности.

Снизить образование мучной пыли позволяет организация рабочего процесса с рециркуляцией [69, 70].

Однако, такое снижение является незначительным, что наряду с высокой энергоемкостью, неравномерностью гранулометрического состава получаемого продукта с интенсивным износом решет и молотков не дает высокого эффекта.

Высокая слеживаемость дробленых продуктов, их малая плотность требуют выполнения такой операции, как гранулирование с предварительным смешиванием различных компонентов согласно принятым рационам.

В то же время, процесс гранулирования невозможен без реализации процесса кондиционирования паром или водой [70, 88].

Данных недостатков не имеют измельчители винтового типа с решетчато-ножевым измельчающим аппаратом, рисунок 1.26 [129].

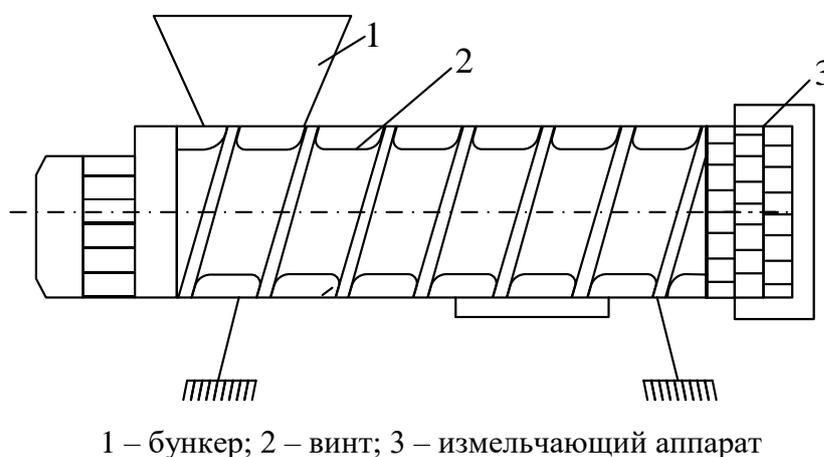


Рисунок 1.26 – Конструктивно-технологическая схема малогабаритного измельчителя с решетчато-ножевым аппаратом

Согласно данным, приведенным в технической характеристике производителя машин, его энергоемкость составляет 0,1 кДж/кг. Сравнительные показатели основных типов измельчителей приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительные показатели работы измельчителей корней, клубней и плодов [92]

Измельчители, выполненные по типу	Способ измельчения	Скорость рабочих органов, м/с	Производительность, т/ч	Содержание частиц 3 -15 мм, %	Энергоемкость, кДж/кг
КПСК-1000	Скобление	6-20	4,7	54,0	1,2
ИКМ-5	Рубка	5-25	6,7	86,0	4,1
«Волгарь-5»	Рубка, резание	17,6	13,8	70,0	4,3
ИКС-5М	Удар (молотки)	40,0	5,7	61,0	4,3
КДУ-2	Комбинированный (рубка, удар)	71,3	6,5	46,0	11,9
Мясорубки	Рубка, резание	0,72	0,3	98,0	0,1

На основании проведенного анализа литературных и патентных источников, по приведенным выше конструкциям разработана классификация измельчителей кормов (рисунок 1.27).

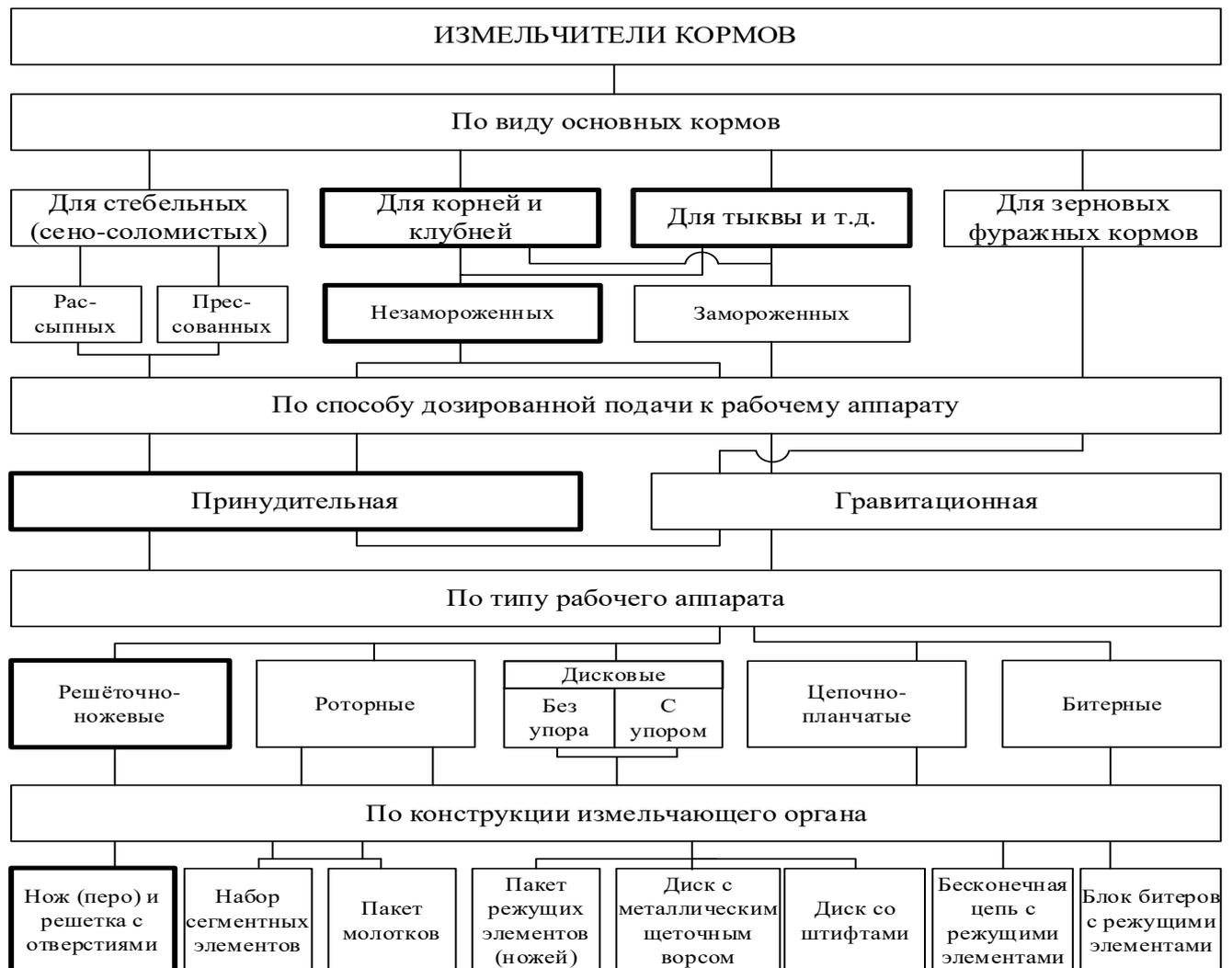


Рисунок 1.27 – Классификация измельчителей кормов

На основе данных классификационных признаков выявлен тренд в разработке и создании более эффективных измельчителей ККП. Они отвечают современным требованиям по малогабаритности, металлоемкости, а также энергоемкости (таблица 1.1).

1.4 Существующие способы и технические средства для гранулирования и брикетирования кормов и их анализ

В настоящее время известны два основных способа получения гранул и брикетов – сухой и условно влажный.

Для первого характерно получение дробленого сырья – травяного или зернового, с последующим смешиванием компонентов и кондиционированием смеси паром или водой и на заключительном этапе – проталкивание полученной массы через отверстия матрицы.

Для второго способа характерны следующие операции: получение паст на основе воды, травяных, овощных и корнеклубнеплодных культур, смешивание их с измельченными зерновыми компонентами и уплотнение с одновременным формованием гранул или брикетов.

При этом дополнительными компонентами могут выступать травяная мука, соевая мука, соломенная или сенная мука.

Реализация данных способов требует сушки полученных гранул и брикетов, что эксперты отмечают в качестве основного недостатка.

Однако, данный подход не является объективным, так как, например, приготовление витаминно-травяной муки требует предварительной искусственной сушки травяного сырья до содержания влаги 10-12 %, для качественного измельчения молотковой дробилкой, с последующим проведением так называемого кондиционирования, т.е. увлажнения предварительно высушенного продукта для обеспечения достаточной связи между частицами муки.

При этом необходимо гранулы охлаждать, чем обеспечивается удаление влаги из горячих гранул.

Таким образом, затраты энергии, труда и средств по реализации так называемого гранулирования сухим способом значительно выше, чем по второму.

Так по данным источника [95] энергоёмкость комплектов оборудования для гранулирования типа пресс-грануляторов серии ОГМ, ДГ-1 находится на уровне $20 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$ при получении гранул диаметров менее 10 мм (минимальный диаметр отверстий матрицы, характерный для ДГ-1 составляет 4,7 мм).

В то же время и такой диаметр гранул является избыточным, в связи с чем данный гранулятор снабжается специальным крошителем гранул.

По пресс-брикетировщикам типа серии ОПК (оборудование для прессования и кускования) и ПБ/ПБС (прессы брикетировочные) энергоёмкость находится на уровне $33 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

По данным источников [71, 88] энергоёмкость оборудования линии влажного прессования комбикормов для рыб, имеющей в своем составе смеситель-гранулятор марки СНГ-300, при 100 т/сутки и установленной мощности, равной 90 кВт, составляет $18,9 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

Гранулирование кормов сухим способом осуществляется с помощью прессов, имеющих разнообразные конструкции, но основными из них являются прессы с кольцевой и дисковой матрицей [82, 88, 91].

При этом кольцевые матрицы с продавливающими роликами, установленными внутри них, располагаются вертикально и горизонтально.

В то же время прессы с дисковой матрицей могут иметь как цилиндрические, так и конические продавливающие ролики [88].

Наиболее полная классификация пресс-грануляторов разработана Г.Я. Фарбманом.

В настоящее время наиболее распространенной конструкцией прессы с кольцевой матрицей является пресс марки Б6-ДГВ, который выпускается ОАО «Рост-продмаш».

Его производительность составляет 0,69-1,525 кг/с на легковесном сырье в зависимости от диаметра формуемых гранул – 4,7-19,00 мм (рисунок 1.28).

При общей установленной мощности электродвигателей, равной 137,5 кВт и массе, равной 8000 кг, энергоёмкость и металлоёмкость соответственно составляют – $45,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$ и $8,000 \text{ т} / 3,0 \text{ т/ч} = 2,67 \text{ т/т.ч.}$

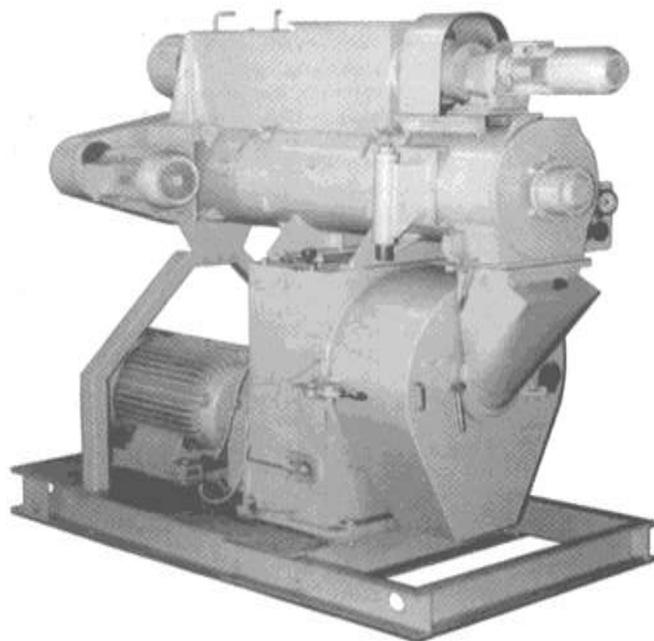


Рисунок 1.28 – Общий вид гранулятора с кольцевой матрицей – Б6-ДГВ

В отношении пресс-брикетировщиков можно отметить, что известны конструкции четырех и шестиштемпельных прессов, основным узлом которых является брикетирующий механизм кривошипно-шатунного типа. Они известны под брендом ПБС.

Известны также конструкции вальцовых пресс-брикетировщиков формующего типа [88].

К таким прессам относятся конструкции под маркой ОПК и «Ланделл 450» производства США.

Следует отметить, что комплекты оборудования с наличием данных типов прессов предназначены для использования на фермах крупного размера, а потому имеют относительно высокие значения показателей как по энергоёмкости, так и по металлоёмкости.

Заслуживают определенного внимания научные разработки, связанные с получением гранул с помощью так называемых винтовых пресс-грануляторов, ис-

пользуемых в комплектах со специальным оборудованием, позволяющим перерабатывать зерно сои, или получать термообработанную обезжиренную соевую муку [39-44, 71, 107, 109, 155].

Их показатели по энергоемкости и металлоемкости существенно ниже вышеприведенных и разрабатывались они для ферм малого размера для различных видов животных и птицы.

Соответственно, различие применяемых рецептов определяло и конструктивные, и технологические особенности таких линий.

В качестве таких особенностей можно отметить получение тонко измельченного до пастообразного состояния растительного сырья и использование его в качестве связующего в составе композиционных смесей, содержащих мучные компоненты из термообработанной сои, соломы, сена и т.д.

При этом существенным является тот факт, что в составе таких композиций, например, свекольная паста ($W = 80\%$), соевая мука ($W = 10\%$) получают гранулы с усредненной влажностью $W = \frac{80+10}{2} = 45\%$.

Следовательно, данный подход позволяет снизить затраты энергии в два раза по сравнению с сушкой свеклы и последующим ее смешиванием с другими, условно «сухими» компонентами рецептуры.

Среди представителей винтовых прессов, можно выделить конструкции со схемами, представленными на рисунках 1.29 и 1.30.

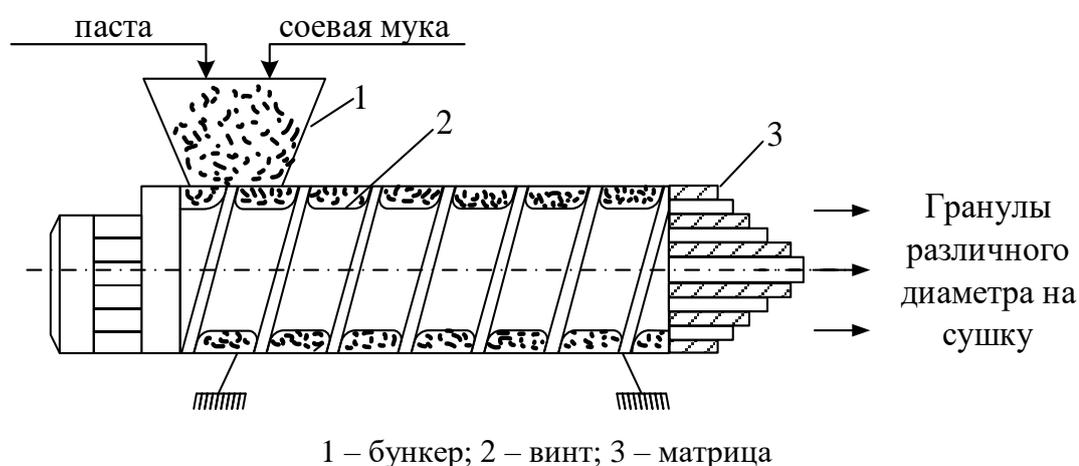
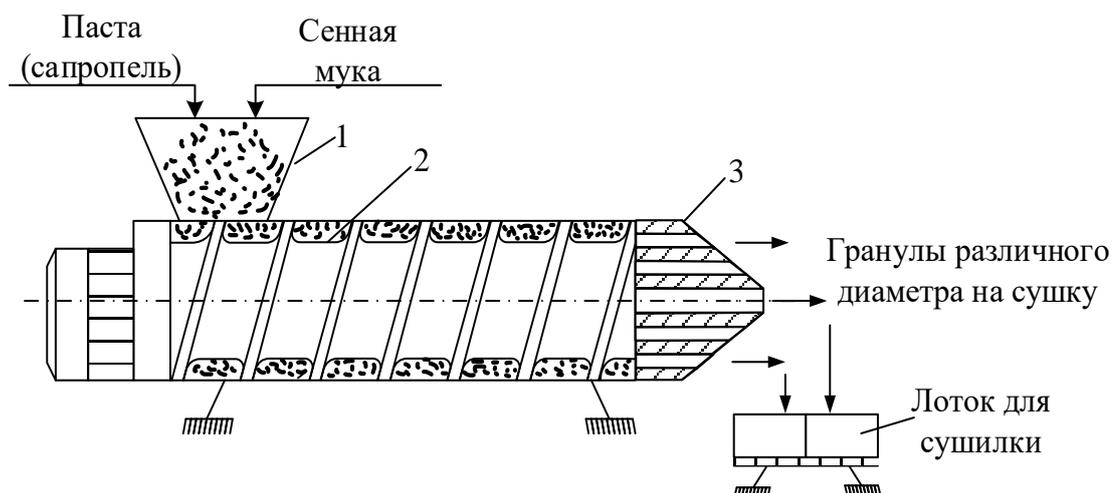


Рисунок 1.29 – Конструктивно-технологическая схема пресса со ступенчатой цилиндрической матрицей и отверстиями различного диаметра



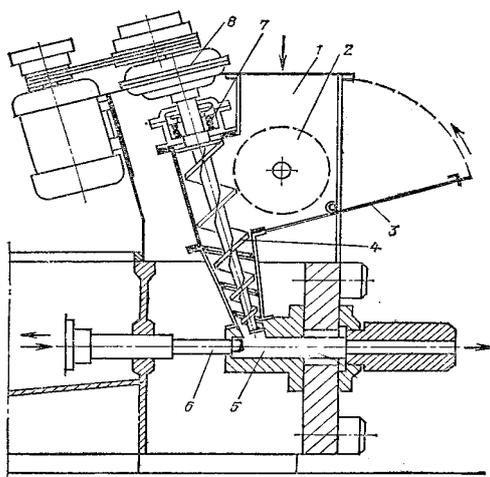
1 – бункер; 2 – винт; 3 – матрица

Рисунок 1.30 – Конструктивно-технологическая схема винтового пресса с конической матрицей

Достоинством данных конструкций прессов является то, что они выполняют две операции – смешивание и формирование гранул различного диаметра.

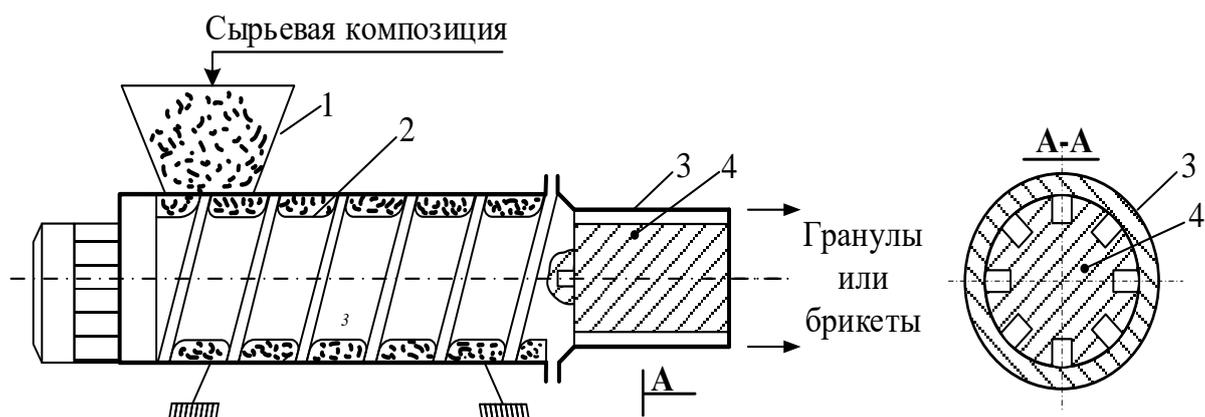
Выполнение третьей операции в виде тонкого измельчения, например, ККП аппаратом, изготовленным по типу мясорубки, стало бы третьим достоинством таких прессов.

Среди пресс-брикетировщиков малогабаритной конструкции следует выделить два, которые представлены на рисунках 1.31 и 1.32 [82].



1 – загрузочная горловина; 2 – битер; 3 – откидная крышка;
4 – винтовой конвейер питателя; 5 – матрица; 6 – штемпель; 7 – амортизатор;
8 – редуктор привода

Рисунок 1.31 – Схема винтового штемпельного пресса компании MELEN (Франция) [83]

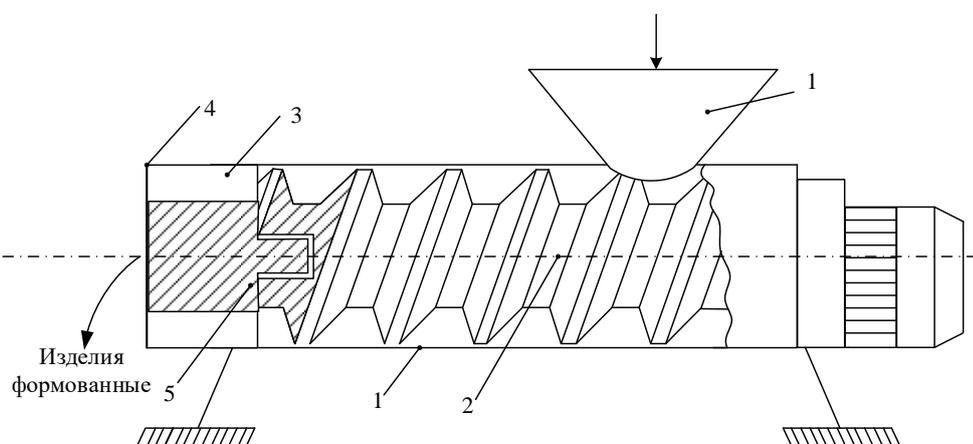


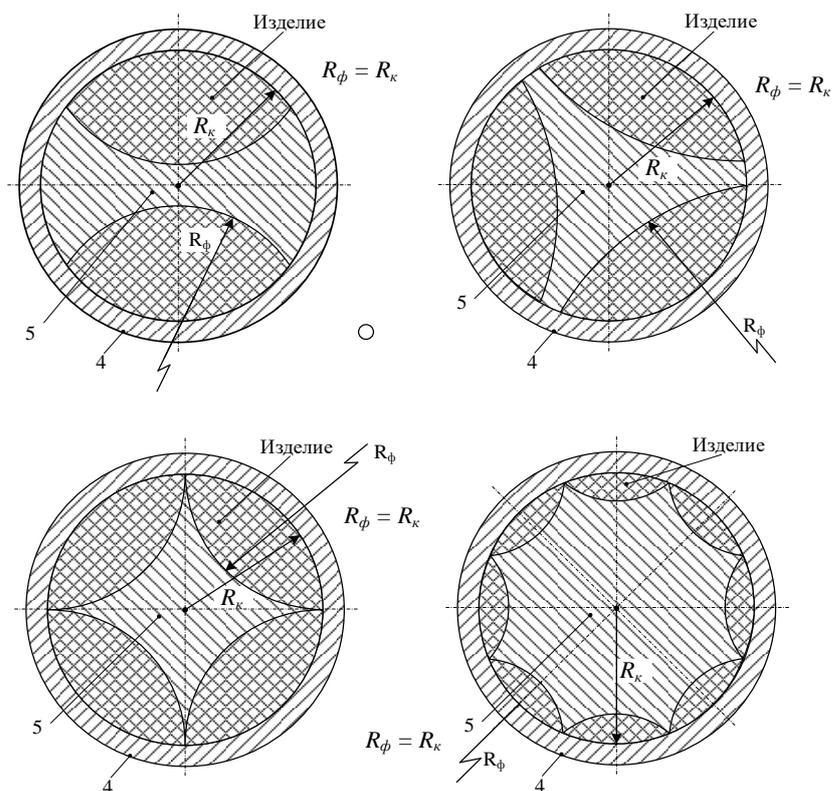
1 – бункер; 2 – винт; 3 – кожух;
4 – матрица с прямоугольными фильерными отверстиями

Рисунок 1.32 – Конструктивно-технологическая схема пресс-гранулятора-брикетировщика конструкции Якименко А.В. (а.с. № 2118105)

Достоинствами данных конструкций является их относительно малые энергоёмкость и металлоёмкость, что позволяет использовать их на малых фермах и в личных подсобных хозяйствах.

На рисунке 1.33 представлена конструктивно-технологическая схема формующего пресса с набором четырех видов формирующих фильер – 5. Особенностью данного пресса является то, что фильеры – 5 вращаются в процессе работы винта совместно с ним. Данным фактом обусловлены дополнительные затраты энергии из-за сил трения, возникающих между внешней своей поверхностью и внутренней поверхностью кожуха – 4.





1 – бункер; 2 – винт; 3 – формирующая фильера; 4 – кожух; 5 – матрица
Рисунок 1.33 – Конструктивно-технологическая схема формирующего пресса

1.5 Краткий обзор исследований по изучению процессов измельчения, смешивания и получения гранул и брикетов

Исследованию процесса измельчения ККП и зернового сырья посвящены работы Горячкина В.П., Ребиндера П.А., Кирпичева В.Л., Желиговского В.А., Мельникова С.В., Резника Н.Е., Алешкина В.Е., Завражнова А.И., Кононова Б.В., Кукты Г.М., Горюшинского В.С., Титенка А.В., Ромазанова Л.Н., Резника Е.И., Пелеева А.И. и многих других ученых.

В основе всех исследований по измельчению ККП лежит гипотеза о сопротивлении резанию, описываемая рациональной формулой В.П. Горячкина [51].

Исследованиями Г.И. Новикова установлено, что удельное сопротивление резанию для ККП составляет в среднем 1720 Н/м, что позволило определять затраты энергии (работу) на измельчение корней, клубней и плодов машинами для их подготовки к скармливанию животным и птице [88].

Вместе с этим выявлено, что пропускная способность корнерезок зависит от

объема отрезаемого продукта ножами, плотности продукта, а также частоты вращения ножей [67].

Исследованиями В.С. Горюшинского [49, 50] установлена зависимость внешнего давления от напряжения продукта, параметров режущего ножа, а также параметров разлома в продукте.

Сохимо Е.В. установлена зависимость между параметрами дискового измельчителя по трансформации плодов тыквы. Это позволило внести существенный вклад в теорию и практику разработки и создания машин данного назначения [139].

Для повышения качества процесса измельчения Б.В. Кононовым и К.Н. Ромазановым [76, 138, 139] разработан барабан, содержащий продольные и поперечные рабочие режущие органы, что позволило также увеличить подачу в 1,5 – 2 раза, при значительно меньших затратах энергии и материальных средств.

А.В. Титенком [142] установлено, что для повышения качества работы измельчителя необходимо использовать пакетный набор лезвий. Автор отмечает, что в данном решении появляется возможность получить частицы продукта в соответствии с требованиями. Это также позволяет исключить потери сока.

В основе всех исследований по измельчению фуражного зерна лежат две теории – поверхностная и объемная [88], основоположниками которых являются Риттенгер Э.К., Кирпичев В.Л. и Кик Ф.

Дальнейшее развитие эти теории получили в исследованиях П.А. Ребиндера, Ф. Бонда, А.К. Рундквиста и Мельникова С.В. [88].

В частности, С.В. Мельниковым, для определения работы измельчителя предложена формула, учитывающая степень измельчения продукта – λ [88].

Проведенным анализом установлено, что до настоящего времени данный подход по получению аналитических зависимостей, характеризующих процесс измельчения продуктов с помощью решетчато-ножевого механизма с позиций степени измельчения, не использован.

Однако такой подход, как мы полагаем, значительно бы упростил расчеты при конструировании и проектировании измельчителей-пресс-брикетировщиков винтового типа.

Тем более, что переход от дробления зерна молотками, в связи с высоким образованием мучной пыли, к альтернативным способам измельчения зерна является назревшим, а потому актуальным.

В то же время измельчение фуражного зерна в составе, например, корнеплодно-зерновых композиций решетчато-ножевым многоступенчатым аппаратом, позволяет получить, по нашему мнению, однородную гомогенную смесь, в результате хаотичного взаимного перемещения частиц ККП и зерна в аппарате, а также возникновения определенных связей между выделяемым соком и мучной фракцией зерна.

Такой способ измельчения и смешивания частиц в композиции позволяет формировать тестообразную массу, хорошо поддающуюся уплотнению и формованию.

При этом появляется возможность совмещения как минимум трех операций в одной машине.

Однако, на сегодняшний день отсутствуют данные, характеризующие зависимость однородности смеси в таких композициях от степени измельчения частиц ККП и зерновых.

Вся совокупность ранее проведенных исследований, по установлению однородности смеси, была направлена на оценку качества работы машин по этому показателю в направлении смесителей барабанного, лопастного, винтового и других типов технических средств [85, 86].

Использовались такие методы, как способ разделяющего признака [65], метод, учитывающий степень однородности смеси, а также метод, включающий определение коэффициента вариации [83].

Установлено, что процесс смешивания характеризуется его кинетикой, включающей три стадии [3]:

- 1) конвективную;
- 2) диффузионную;
- 3) сегрегационную.

В основе всех исследований, направленных на изучение процесса получения

гранул или брикетов, лежит теория молекулярного сцепления частиц и термодинамическая теория прилипания, разработанные Дерягиным Б.В. и Наумовичем В.М. [88].

Из молекулярной теории уплотнения следует, что наиболее плотная упаковка частиц достигается при более тонком измельчении сырья, так как связано это с увеличением суммарной поверхности частиц и площади контактов, через которые проявляется действие сил сцепления.

В то же время, увеличение прессующих усилий обеспечивает упрочнение монолита за счет исключения наличия воздушных пор. Сближение частиц в этом случае приводит к их слипанию [88].

Существенное значение при этом имеет количественное содержание воды в продуктовой структурной системе и вид ее связи.

В механическом отношении качество гранул и брикетов принято оценивать прочностью через определение значения крошимости, которая после механического воздействия на готовый продукт в специальном устройстве [67, 88] вычисляется в виде процентного содержания в исследуемой пробе.

Согласно предъявляемым требованиям, прочность должна быть не ниже 80-90%.

Установлено также, что уменьшение плотности брикетов ниже $800,00 \text{ кг/м}^3$ резко снижает их прочность.

Введение в состав смеси связующих веществ положительно влияет на прочность.

В качестве связующих в настоящее время используют мелассу, жир и т.д. [91].

Исследованиями Подколызина Ю.В. установлена зависимость, характеризующая прочность сформованного продукта от плотности монолита, которая является экспоненциальной [88].

Основным технико-экономическим показателем оценки прессов является их энергоемкость, определяемая отношением потребляемой мощности (кВт) к их производительности (т/ч).

В качестве дополнительного показателя устанавливают металлоемкость в т/(т/ч) или кг/(кг/ч).

Анализ исследований, проведенных авторами работ [16, 39-44, 48, 62, 100-125, 155] показал, что все они были направлены на обоснование параметров прессующих устройств винтового типа, обеспечивающих трансформацию различного вида сырья в так называемых композициях.

В качестве таких композиций использовались следующие.

Так, Бушуев С.В. исследовал процесс получения гранулята с помощью винтового пресса при его работе на смеси ламинариевая паста + соевая мука.

Автором были получены аналитические и экспериментальные зависимости, характеризующие производительность, энергоемкость и прочность гранул.

Исследованиями Воякина С.Н. установлены аналитические закономерности, характеризующие процесс усреднения влаги в композициях: мясокостный фарш + соевая мука; рыбкостный фарш + соевая мука; паста из измельченной сосновой хвои + соевая мука [39-44].

Исследованиями Школьников П.Н. и Широкова В.А. установлены аналитические зависимости, характеризующие усреднение влаги в композициях сапрпель + соевая мука.

Наряду с этим дана методика инженерного расчета по определению производительности прессующе-формующего устройства винтового типа, а также его энергоемкости при работе на данного вида композиции [62].

Исследованиями Самуйло В.В. (мл.) обоснованы параметры винтового пресса при его работе на композиции для кроликов – соломенная мука + соевая окара (жом) [138].

Исследованиями Якименко В.А. разработан шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик для получения формованных изделий с использованием соломенно-комбикормовой композиции [147].

На основании полученных данных обоснованы параметры разработанного прессующе-формующего устройства винтового типа.

Приведенный анализ показал, что нет научных данных по процессу трансформации корнеплодно-зерновых композиций для нужд кролиководства с помощью прессов винтового типа, выполняющего три операции: измельчение, смешивание и прессование с получением гранул и брикетов.

Таким образом, анализом показано, что высокой питательной ценностью (содержат β -каротин и другие витамины) обладают так называемые «сочные корма», содержащие морковь, свеклу, тыкву, арбузы кормовые, кочаны капусты и т.д.

В то же время показано, что повышенную питательную ценность, обусловленную высоким содержанием белков, витамина Е, витаминов группы В и других БАВ имеют пшеница, ячмень, кукуруза, соя, горох и т.д.

Анализом известных схем трансформации исходного сырья в готовые продукты также установлено, что использование корней и плодов без затрат на хранения лимитируется по времени двумя месяцами – сентябрем и октябрём. В остальной период они замораживаются и используются в очень ограниченных количествах или же не используются вообще, как показывает практика.

При этом фуражного назначения зерновое сырьё может перерабатываться весь год с помощью молотковых дробилок.

В качестве существенного недостатка здесь необходимо выделить большую загрязненность окружающей среды и помещений мучной пылью, а также обусловленные этим потери мучной фракции.

На наш взгляд, избавиться от недостатков, характерных для известных способов трансформации указанного сырья можно путем получения смеси посредством специального устройства винтового типа, согласно технологическим и техническим решениям (приложения 9-12).

Таким образом, установлено, что таких технологических и технических решений ранее не существовало, а потому в настоящее время отсутствует научная база для их создания.

В частности, отсутствуют данные по обоснованию оптимальных значений степени измельчения корнеплодно-зерновых композиций, аналитических зависимостей, характеризующих изменение однородности состава таких композиций в процессе измельчения и прочности формованных изделий в процессе их уплотнения.

В итоге, проведенным анализом выявлено и установлено противоречие между стремлением товаропроизводителя повысить эффективность производства

кролиководческой продукции путем использования обладающих высокой питательной и кормовой ценностью корнеплодно-зерновых композиций и отсутствием знаний о закономерностях приготовления на их основе пищевых прессованно-формованных изделий, что порождает проблемную ситуацию.

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

Задачи исследований:

- обосновать возможность и целесообразность создания прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зерновых композиций;
- на основе базовых положений, характеризующих процессы измельчения, смешивания и уплотнения кормового сырья обосновать структурно-функциональную схему прессующе-формующего устройства винтового типа и его параметры путем установления соответствующих аналитических зависимостей;
- экспериментальным путем получить математические модели, характеризующие процесс приготовления прессованно-формованных продуктов и на их основе обосновать оптимальные значения параметров прессующе-формующего устройства винтового типа;
- провести производственную проверку основных результатов исследований и дать им технико-экономическую оценку;
- разработать методику инженерного расчета линии с использованием прессующе-формующего устройства винтового типа, а также рекомендации по проектированию машин данного назначения.

Рабочей гипотезой для решения частной технической задачи являлось предположение о том, что эффективность приготовления прессованно-формованных изделий на основе корнеплодно-зерновых композиций, включающая процессы их дозированной подачи, дезинтеграции-гомогенизации, смешивания, формования и сушки готового продукта, функционально зависит от степени измельчения и однородности сырьевой системы, качества последующего ее формования и прочности

полученных сушеных гранул или брикетов, при этом, значения указанных критериев функционально зависят от определенного числа, как управляемых, так и неуправляемых факторов. Установление характера данных зависимостей, с определением области оптимальных значений параметров данных процессов, позволяет эффективно управлять их реализацией.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕССОВАННО- ФОРМОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ КОРНЕПЛОДНО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА ВИНТОВОГО ТИПА

2.1 Обоснование способа приготовления прессованно-формованных продуктов и структурно-функциональной схемы устройства для его реализации

В соответствии с поставленной целью требуется получить формованные изделия композиционного типа, включающего три компонента – морковь (тыкву) + фуражное зерно (ячмень или кукуруза) + соевая необезжиренная термообработанная мука (СНТМ), с влажностью $W = 10-12\%$, прочностью не менее $G > 80-90\%$.

При этом известно, что ККП имеют влажность $W_1 = 87\%$, фуражное зерно – $W_2 = 12\%$, а СНТМ – $W_3 = 10\%$ [102,103].

Данную техническую задачу возможно решить двумя способами:

- 1) провести измельчение и сушку полученных частиц ККП;
- 2) провести измельчение фуражного зерна;
- 3) провести смешивание полученных компонентов между собой;
- 4) провести гранулирование или брикетирование полученной композиционной смеси.

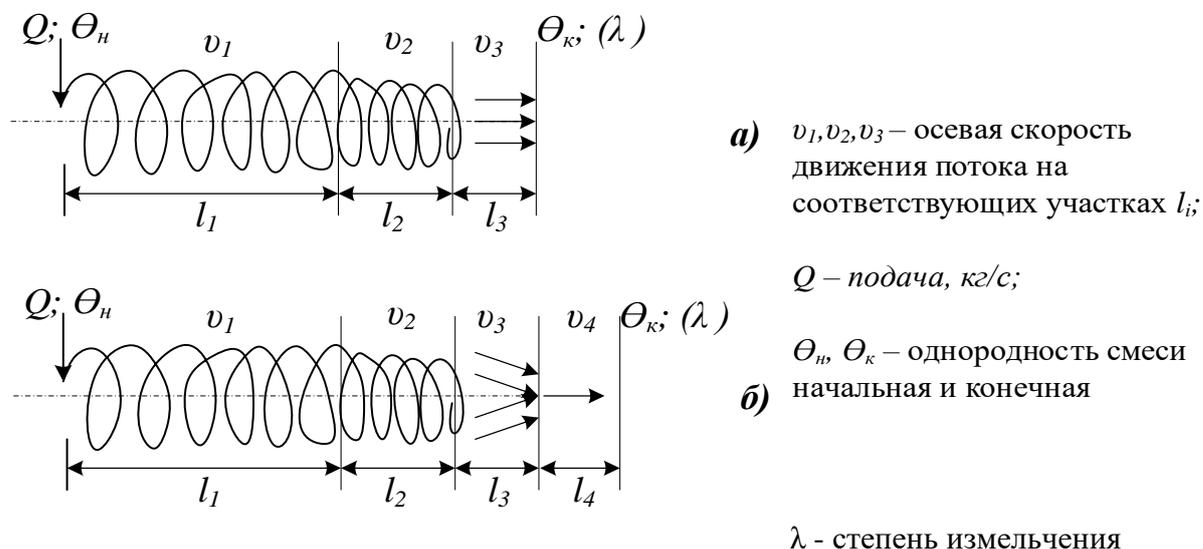
Реализация данного подхода потребует удаления влаги из ККП из порции равной 100 кг в количестве $(87 - 12) = 75$ кг.

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

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

полученной кормовой композиции, т.е. меньше на $(75 \text{ кг} - 24 \text{ кг}) = 51 \text{ кг}$.

При этом физическая суть явлений, происходящих в измельчающем решетчато-ножевом аппарате, сводится к тому, что зерно, находясь в составе соево-морковной (тыквенной) среды, имеющей влажность $W_{2+3} = 49\%$, подвергается интенсивному разрушению и перераспределению между собой. При этом мелкие частицы зерна интенсивно обволакиваются более влажной соево-морковной (тыквенной) средой (пастой) с одновременным насыщением частиц зерна влагой за счет ее диффузионного перехода к частицам зерна. Такое насыщение частиц зерна влагой приводит к их связыванию с совокупностью других смежно расположенных частиц за счет внутренних адгезионных свойств соево-морковной (тыквенной) пасты. За счет такого разрушения зерна и перераспределения влаги между частицами зерна и соево-морковной (тыквенной) пасты, формируется тестообразная композиция с усредненной влажностью в пределах 36%, при которой имеет место высокая внутренняя адгезионная связь между частицами (рисунок 2.1) [23,25].



а) при производстве гранул; б) при производстве пустотелых брикетов

Рисунок 2.1 – Формализованная модель потоковой трансформации композиционной кормовой системы

При этом исключается наличие мучной фракционной составляющей, характерной для дробления фуражного зерна аппаратом молоткового типа.

В этой связи предложено два способа, которые признаны ФИПС изобретениями и на них выданы патенты РФ № 2652387 и № 2665075.

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

В соответствии с проведенным в главе 1 анализом, поставленной целью и задачами исследований, а так же принятой рабочей гипотезой установлено, что основными критериями оптимизации данного процесса являются прочность прессованно-формованного продукта – G , %, а так же энергоемкость разрабатываемого технологического процесса – $N_{\text{Э}}$, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$.

В свою очередь сделано предположение, что однородность корнеплодно-зерновой композиции – θ , % повышается в процессе ее трансформации в измельчающем аппарате (рисунок 2.1).

Данный подход позволяет представить предложенную техническую систему в виде трехблочной узловой системы (рисунок 2.2).

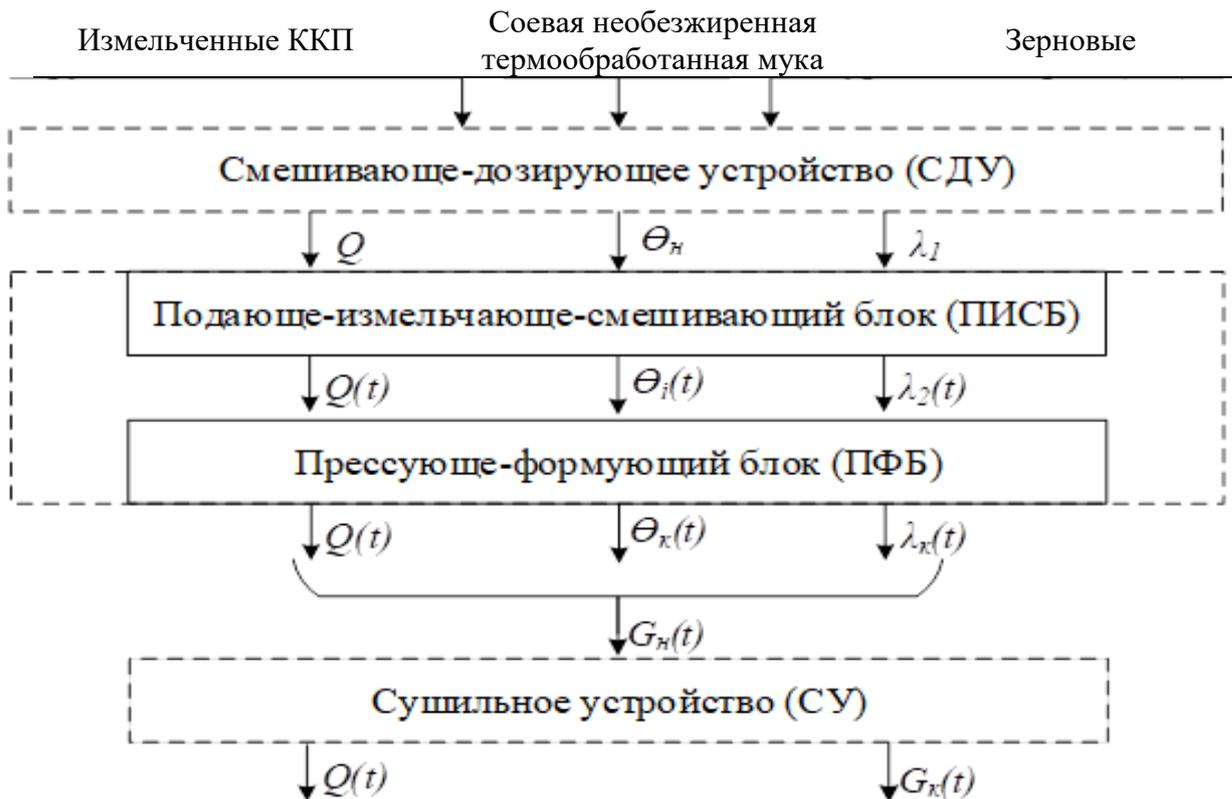


Рисунок 2.2 – Формализованная структурно-функциональная схема устройства для производства прессованно-формованных изделий

Для оценки рассмотренного выше процесса трансформации корнеплодно-

зерновой композиции с помощью предложенного устройства справедлива следующая система уравнений, имеющих соответствующие ограничения по энергоёмкости $\mathcal{E}_n \rightarrow \min$, $\theta \geq [\theta]$ и $G_k \geq [G]$, где $[\theta]$ и $[G]$ – допускаемые по зоотехническим требованиям значения показателей качества по однородности смеси и прочности ФИ [27,102,103].

Соответственно имеем, что

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_n = \frac{N}{Q \cdot \lambda} \rightarrow \min; \\ \text{при } \theta = f(\lambda) \geq [\theta]; \\ G_k = f(\theta) \geq [G] \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

где N – затраты энергии на процесс (мощность), кВт;

Q – производительность процесса, кг/ч;

λ – степень измельчения, б/р;

θ – однородность смеси, %;

G_k – прочность ПФИ, %.

Задачей дальнейших исследований является раскрытие внутренних связей в зависимостях, представленных системой уравнений (2.1).

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

$$\theta^{-1} \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} = \xi, \quad (2.2)$$

$$\text{или } \frac{d\theta}{d\lambda} = \xi \cdot \theta \text{ при } \xi > 0, \quad (2.3)$$

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

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

$$\theta = \theta_n \cdot \exp(\xi \cdot \lambda), \quad (2.4)$$

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

Изменение уровня значений однородности от θ_i до θ_{\max} обусловлено его экспоненциальной зависимостью, в связи с чем дифференциальное уравнение приобретает следующий вид [52]:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \xi\theta[\theta_{\max} - \theta_i], \quad (2.5)$$

$$\text{при } \xi > 0, 0 < \theta < \theta_i < \theta_{\max} \geq [\theta],$$

где θ_i – текущее значение однородности смеси;

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

Данное уравнение является уравнением с разделяющимися переменными и тогда

$$\int d\theta / [\theta(\theta_{\max} - \theta_i)] = \xi \cdot d\lambda, \quad (2.6)$$

При этом имеем, что

$$\int d\theta / [\theta(\theta_{\max} - \theta_i)] = \xi \cdot d\lambda + C, \quad (2.7)$$

Интеграл в левой части уравнения (2.7) равен

$$\int d\theta / [\theta(\theta_{\max} - \theta_i)] = \theta_{\max}^{-1} \cdot \int [\theta^{-1} + (\theta_{\max} - \theta_i)] d\theta = \theta_{\max}^{-1} \cdot \ln[\theta / (\theta_{\max} - \theta_i)], \quad (2.8)$$

В этом случае, имеем следующее решение данного дифференциального уравнения

$$\theta_{\max}^{-1} \cdot \ln[\theta / (\theta_{\max} - \theta_i)] + \theta_{\max}^{-1} \cdot \ln \theta_{\max} = \xi \cdot \lambda, \quad (2.9)$$

где $\theta_{\max}^{-1} \cdot \ln \theta_{\max} = -C$, согласно уравнению (2,7).

Потенцирование полученного дифференциального уравнения дает следующие зависимости:

$$(\theta_{\max} \cdot \theta) / (\theta_{\max} - \theta_i) = \exp(\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda); \quad (2.10)$$

$$\theta_{\max} \cdot \theta = (\theta_{\max} - \theta_i) \exp(\theta_{\max} \cdot \lambda); \quad (2.11)$$

$$\theta = [\theta_{\max} + \exp(\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda)] = \theta_{\max} \cdot \exp(\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda); \quad (2.12)$$

$$\theta = \theta_{\max} \cdot \exp(\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda) / [\theta_{\max} + \exp(\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda)]. \quad \dots \quad (2.13)$$

Окончательное преобразование равенства (2.13) дает зависимость, которую можно принять в качестве математической модели оценки качества получаемой гомогенизированной композиционной смеси по ее однородности

$$\theta = \theta_{\max} / [1 + \theta_n \cdot \exp(-\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda)], \quad (2.14)$$

По результатам анализа, ранее проведенных исследований [77] известно, что

$$G = G_n \cdot \exp(C \cdot \theta), \quad (2.15)$$

В этой связи имеем, что показатель качества прессованно-формованных изделий, с учетом формулы (2.14) может быть представлен как:

$$G = G_n \cdot \exp\left\{\theta_{\max} / [1 + \theta_n \cdot \exp(-\theta_{\max} \cdot \xi \cdot \lambda)]\right\}, \quad (2.16)$$

2.2 Обоснование параметров процесса дезинтеграции-гомогенизации корнеплодно-зерновой композиции решёточно-ножевым аппаратом устройства

Для рассматриваемой системы дезинтеграции сырья в принятой композиции уравнение баланса имеет вид [21]:

$$\frac{n \sum_{i=1}^n V_{K_i} \cdot \rho_{K_i} \cdot \psi_3}{F_p} = \frac{\sum_{z=1}^m V_{q_z} \rho_{q_z}}{F_p}, \quad (2.17)$$

где V_{K_i} – объем частиц исходной композиции в площади кольцевого сектора ножа, м³;

ρ_i – плотность композиционного продукта, кг/м³;

ψ_3 – коэффициент заполнения межперьевого пространства ножа;

F_p – площадь решётки, м²;

n – количество перьев ножей, шт;

λ_j – степень измельчения на j -ой ступени дезинтеграции частиц композиции,

мм;

V_{q_z} – объем частиц конечного размера, принимаемых за шар, м³;

ρ_{q_z} – плотность измельчённого продукта, кг/м³;

F_{0p} – площадь отверстий измельчающей решетки, м².

Уравнение (2.17) перепишем с учетом рисунка 2.3.

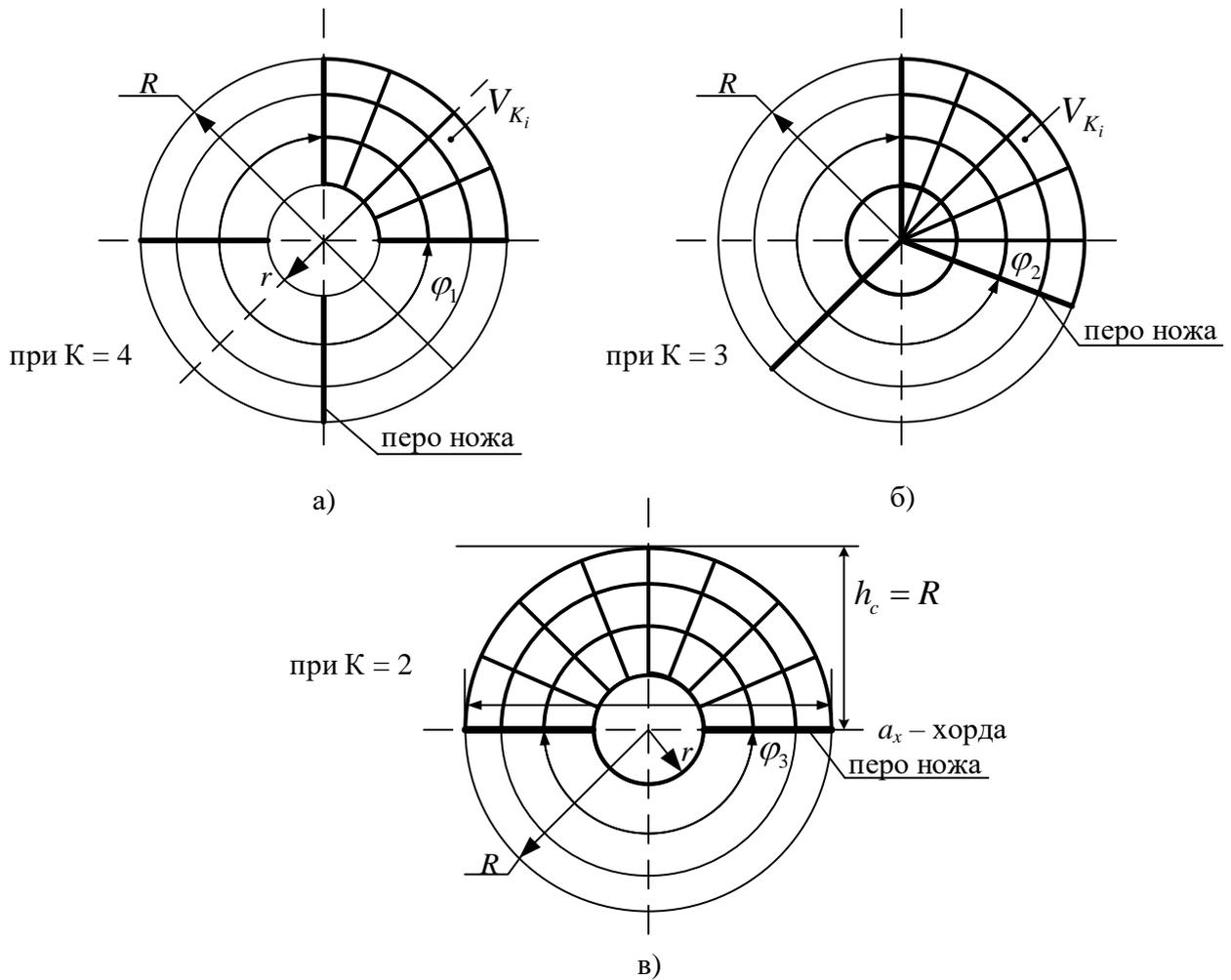


Рисунок 2.3 – Схема к обоснованию параметров измельчающего аппарата
и степени измельчения

При этом фигурами, представленными на рисунке 2.3 а и б, являются кольцевые сектора различного объема, а на рисунке 2.3 в – сегмент.

Тогда, согласно схемы на рисунке 2.3 а и б, имеем, что

$$\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_{1,2} (R^2 - r^2) h_K \cdot \rho_K \cdot \psi_3}{F_p} = \frac{\pi \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \cdot \rho_{u_z}}{6F_p}, \quad (2.18)$$

а согласно рисунку 2.3 в

$$\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \varphi_3 \cdot \psi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot h_K}{2 \cdot 360^\circ \cdot F_p} = \frac{\pi \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}{6F_p}, \quad (2.19)$$

где φ_3 – угол, образующий сектор, град;

R – радиус решетки, м;

r – радиус ступицы ножа, м;

h_K – толщина ножа, м;

l – дуга, м;

a_x – хорда, м;

h_c – стрелка (для нашего случая, $h_c = 2R$), м;

$d_{u_z}^3$ – конечный диаметральный размер частицы, принятой за шар, м.

Преобразование данных уравнений относительно соответствующих параметров дает следующие расчетные формулы:

– для степени измельчения:

$$\lambda_{j-1}^y = \frac{K \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_i (R^2 - r^2) \rho_{K_i} \cdot \varphi_3 h_K \cdot 6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} \cdot 360^0 \cdot F_p \cdot \pi \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}} = \frac{0,017K \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i \varphi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot h_K \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} \cdot F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (2.20)$$

где $\rho_K / \rho_{u_z} = k_y^{-1}$ – степень уплотнения

$$\lambda_{j-1}^c = \frac{0,017 \cdot \sum_{i=1}^n h_K [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{\prod_{j=1}^{\gamma} \cdot F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (2.21)$$

– для конечного размера частицы:

$$d_{u_{z1,2}}^y = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot n \cdot \varphi_{1,2} \cdot h_K \cdot \rho_K \cdot \psi_3 (R^2 - r^2)}{\rho_{u_z} \cdot \lambda_{1,2}^3}} \leq [d_u], \quad (2.22)$$

$$d_{u_{z3}}^c = \sqrt[3]{\frac{0,017 \cdot [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot h_K \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3 \cdot \psi_3}{\rho_{u_z} \cdot \lambda_{1,2}^3}} \leq [d_u], \quad (2.23)$$

где $[d_u]$ – требуемый размер частиц, мм.

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

$$Q_{ПИСБ} = 0,125 d_o^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n, \quad (2.24)$$

где d_o – диаметр отверстия решетки, равный значению $d_{u_z}^c$, определяемому по выражению (2.23);

z_o – число отверстий в решетке, шт;

h_p – толщина решетки, м;

ρ – плотность продукта, кг/м³;

z_n – число ножей в аппарате, шт.

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

$$N_{\text{ПИСБ}} = Q_{\text{ПИСБ}} \cdot A_{\text{ПИСБ}}, \quad (2.25)$$

где $A_{\text{ПИСБ}}$ – работа, затрачиваемая на осуществление процесса и определяемая по формуле Мельникова С.В. [51].

С учетом равенства (2.24) и формулы Мельникова С.В., для определения энергоёмкости ПИСБ, имеем следующее уравнение

$$N_{\text{ПИСБ}} = \frac{0,125d_0^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n [C_1 \cdot \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}{Q_{\text{ПИСБ}} \cdot \lambda}, \quad (2.26)$$

где $C_1 = (10 - 15) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ и $C_2 = (6 - 9) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ [86].

В уравнении (2.26) значение параметра λ определяется по формуле (2.21).

2.3 Обоснование параметров прессующе-формующего блока устройства

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

$$Q_1 \leq Q_2 \leq Q_i \leq Q_n, \quad (2.27)$$

где Q_1, Q_2, Q_i, Q_n – подача соответствующего структурного элемента кормо-перерабатывающего устройства.

Для дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока (ПИСБ), как базового (рисунки 2.2) подача определяется неравенством:

$$Q_{\text{П}} \leq Q_{\text{ПИСБ}} \leq Q_{\text{ПФБ}}, \quad (2.28)$$

где $Q_{\text{П}}$ – подача питателя, кг/ч;

$Q_{\text{ПИСБ}}$ – пропускная способность дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока, кг/ч;

$Q_{\text{ПФБ}}$ – пропускная способность прессующе-формующего сопла, соответствующего диаметра и конфигурации, кг/ч.

В общем случае имеем:

– для винтового питателя:

$$Q_{\text{П}} = \pi \left[(D^2 - d^2) / 4 \right] \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi, \quad (2.29)$$

где D и d – соответственно диаметры винта и вала, м;

S – шаг винта, м;

n – частота вращения винта, мин⁻¹;

ρ – плотность продукта, кг/м³;

ψ – коэффициент заполнения межвиткового пространства винта.

Следует отметить, что произведение $S \cdot n$, по сути, есть параметр, характеризующий скорость движения продукта в камере питателя по длине – $L_{\text{П}}$ вдоль его оси – v_0^k .

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

$$L_{\text{П}} = S \cdot n \cdot t_{\text{рел}} \geq v_0^k \cdot t_{\text{рел}}, \quad (2.30)$$

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

Осевую скорость перемещения продукта по соплу – v^c определим, используя следующий методологический подход.

Во-первых, примем, что продукт имеет массу q .

Во-вторых, продукт движется по каналу прямолинейно, под действием осевой силы F_0 .

С учетом принятых допущений, имеем, что расход мощности на подачу составляет

$$N_{\text{ПФБ}} = 0,01kQ_{\text{ПФБ}} \cdot L_{\text{П}}, \quad (2.31)$$

где k – приведенный коэффициент сопротивления движению корма по кожуху прессующего устройства $k = 8-10$.

Для схемы рабочего процесса ПФБ прессующего устройства (рисунок 2.2) и формализованной схемы его прессующего сопла, согласно рисункам 2.4 и 2.5, запишем следующее условие [20]:

$$\left. \begin{aligned} v_n \cdot \rho_n &= v_z \cdot \rho_z = v_k \cdot \rho_k \\ \frac{P_n}{\rho_n} &= \frac{P_z}{\rho_z} = \frac{P_k}{\rho_k} \end{aligned} \right\}, \quad (2.32)$$

где v_n, v_z, v_k – скорость движения продукта внутри сопла, соответственно в начальный, текущий и конечный момент обработки и продвижения продукта в канале прессования, м/с;

ρ_n, ρ_z, ρ_k – плотность соответственно начальная, текущая и конечная, кг/м³;

P_n, P_z, P_k – давление, фиксируемое на соответствующих этапах процесса, МПа.

Решая совместно уравнения в системе (2.32) (путем умножения) имеем, что

$$v_n \cdot P_n = v_z \cdot P_z = v_k \cdot P_k, \quad (2.33)$$

Для начального момента времени, согласно рисункам 2.4 и 2.5, получаем

$$-dp_z = \Delta \cdot \rho_z \cdot v_z^2 / 2 \cdot d_{ГС}, \quad (2.34)$$

где Δ – коэффициент, учитывающий сопротивление передвижению продукта в канале;

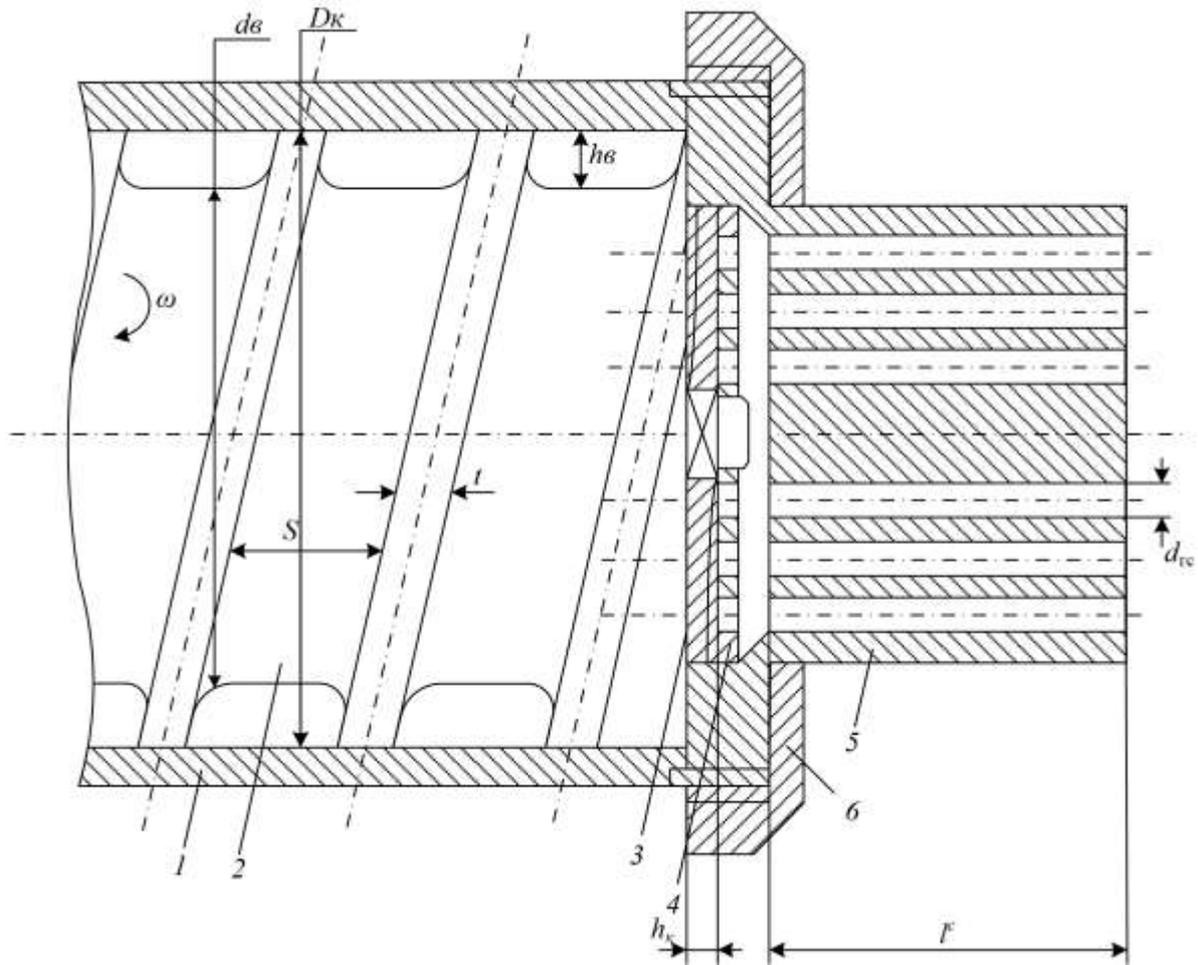
$$\Delta = 0,25 - 0,30$$

$d_{ГС}$ – диаметр канала – сопла, м;

Решая совместно уравнения (2.32) и (2.34) получаем, что

$$v_z = v_n \cdot P_n / \rho_z, \quad (2.35)$$

$$\text{и } -dp_z = \frac{0,5 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot P_n \cdot \Delta}{d_{ГС} \cdot P_z} \cdot dz, \quad (2.36)$$



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

Рисунок 2.4 – Схема к обоснованию параметров прессующего устройства

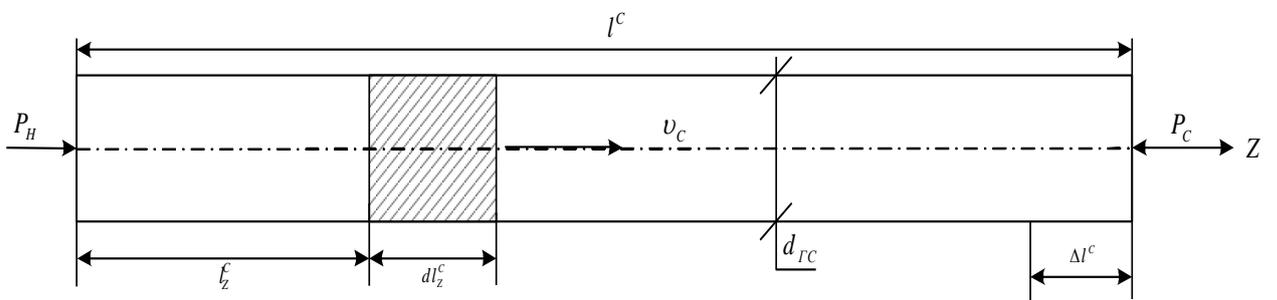


Рисунок 2.5 – Схема к расчету параметров формирующего сопла (канала)

Уравнение (2.36) преобразуем к следующему виду

$$-\int_{P_H}^{P_z} P_z \cdot d_z = \frac{0,5 \cdot \Delta \cdot \rho_H \cdot v_H^2 \cdot P_H}{d_{GC}} \int_0^z dz, \quad (2.37)$$

Интегрирование данного уравнения дает

$$-0,5P_z^2 + 0,5P_H^2 = \frac{0,5 \cdot \rho_H \cdot v_H^2 \cdot P_H \cdot l_z^c}{d_{GC}}, \quad (2.38)$$

Давление прессования в произвольном сечении канала-сопла равно

$$P_z = P_H \left(1 - \frac{0,5 \Delta \cdot \rho_H \cdot v_H^2 \cdot l_z^c}{d_{GC}} \right)^{0,5}, \quad (2.39)$$

Исходя из уравнений (2.32) и (2.33) получаем равенство

$$v_z = v_k \cdot P_k / P_z, \quad (2.40)$$

$$\text{и } -dp_z = \frac{0,5 \cdot \Delta \cdot \rho_k \cdot v_k^2 \cdot P_k}{d_{GC} \cdot P_z}, \quad (2.41)$$

Преобразовав уравнение (2.41) к виду

$$\left. \begin{aligned} -\int P_z \cdot dz &= \frac{0,5 \Delta \cdot \rho_k \cdot v_k^2 \cdot P_k}{d_{GC}} \int dz; \\ -0,5P_z^2 &= \left[0,5 \Delta \rho_k \cdot v_k^2 \cdot P_k \cdot l_z^c / d_{GC} \right] + C; \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

и, приняв, что $z=0$ и $P_z = P_H$, имеем, что

$$C = -0,5P_H^2, \quad (2.43)$$

Используя исходные значения параметров, таких как $Z=l^c$, $P_z=P_k$, и подставляя их в первое уравнение системы (2.42) имеем

$$P_H = P_k \left(1 + \frac{\Delta \cdot v_k^2 \cdot l^c \cdot \rho_k}{d_{GC} \cdot P_k} \right)^{0,5}, \quad (2.44)$$

Работа прессования на элементарном участке dz (рисунок 2.5) составит

$$A_{np} = 0,785 d_{GC}^2 \cdot P_H \cdot dz, \quad (2.45)$$

При этом полная работа на длине прессующего канала-сопла равна

$$A_{np} = 0,785 d_{GC}^2 \int_0^z P_H \cdot dz, \quad (2.46)$$

Мощность на осуществление процесса прессования продукта в предлагаемом устройстве определяется как

$$N_{\text{ПФБ}} = K_K \cdot A_{\text{ПФБ}} \cdot Q_{\text{ПФБ}}, \quad (2.47)$$

где K_K – количество прессующих каналов;

$Q_{\text{ПФБ}}$ – подача прессующего устройства, кг/ч.

Подача прессующего устройства предложенного типа определяется по выражению

$$Q_{\text{ПФБ}} = 0,785 d_{\text{ГС}}^2 \cdot \rho_k \cdot v^c \cdot K_K, \quad (2.48)$$

где параметр v^c определили в результате следующего методического подхода, согласно источникам [26,144,154].

В рамках принятых допущений, согласно рисунку 2.5, дифференциальное уравнение движения продукта в канале прессующе-формующего устройства винтового типа имеет вид

$$q \frac{d^2 l^c}{dt} = F_0, \quad (2.49)$$

Для уравнения (2.49) начальными условиями являются

$$l^c = l_n^c, \quad v^c = v_n^c \quad \text{при } t = t_n,$$

(2.50)

Так как $\frac{dl^c}{dt} = v$, а $\frac{d^2 l^c}{dt} = \frac{dv}{dt}$, то уравнение (2.49) сводится к уравнению с разделяющимися переменными $q \frac{dv}{dt} = F_0(t)$ и, соответственно,

$$v = \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz + C_1, \quad (2.51)$$

где Z – переменная интегрирования

Значение C_1 найдем из принятых за начальные условия (2.50) согласно которым $C_1 = v_0^c$ и, тогда

$$v = v_0^c + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz, \quad (2.52)$$

$$\frac{dl^c}{dt} = v_0^c + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz, \quad (2.53)$$

Повторное интегрирование дает

$$l^c = v_0^c t + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du + C_2, \quad (2.54)$$

где $\int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du$ есть вторичный интеграл.

Постоянную C_2 найдем исходя из начальных условий $l^c = l_n^c$, при $t = t_n$

$$C_2 = l_n^c - v_0^c \cdot t_n, \quad (2.55)$$

Тогда закон движения кормового продукта внутри канала-сопла определенного поперечного сечения имеет следующий вид

$$l^c = l_n^c + v_0^c (t - t_n) + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du, \quad (2.56)$$

Вполне очевидно, что сила F_0 равна силе трения продукта о стенки сопла:

$$F_0^o = f \xi \cdot \pi d_c \int_0^{l^c} P_e \cdot dl, \quad (2.57)$$

где f – коэффициент трения;

ξ – коэффициент бокового распора;

P_e – осевое давление в продукте, МПа;

d_c – диаметр сопла, м.

По условию принятых допущений, сила F_0 равна

$$F_0 = F^o - \gamma t,$$

где F^o – начальное значение осевой силы;

γ – коэффициент пропорциональности.

Так как $F^o = 0$, при $t = t_{\text{рел}}$, то $F_0^o - \gamma t_{\text{рел}} = 0$, откуда $\gamma = F_0^o / t_{\text{рел}}$ и, следовательно, $F_0 = F_0^o (1 - t / t_{\text{рел}})$.

В этой связи имеем, что

$$v^c = \frac{F_0^o}{q} \int_0^t \left(1 - \frac{z}{t_{\text{рел}}} \right) dz \quad \text{или} \quad v^c = \frac{F_0^o}{q} \left(t - \frac{t^2}{2t_{\text{рел}}} \right), \quad (2.58)$$

При этом

$$l^c = \frac{F_0^o}{q} l \int_0^t \left(\int_0^u \left(1 - \frac{z}{t_{\text{пер}}} \right) dz \right) \cdot du \quad \text{или} \quad l^c = \frac{F_0^o \cdot t^2}{2q} \left(1 - \frac{t}{3t_{\text{пер}}} \right), \quad (2.59)$$

Примем, что $t = t_{\text{пер}}$ и тогда

$$\left. \begin{aligned} v^c &= \frac{F_0^o \cdot t_{\text{пер}}}{2q} \\ l^c &= \frac{F_0^o \cdot t_{\text{пер}}^2}{3q} \end{aligned} \right\}, \quad (2.60)$$

Запишем уравнение движения для случая, когда

$$q \frac{d^2 l^c}{dt^2} = F(v^c), \quad (2.61)$$

Произведя замену $\frac{dl^c}{dt} = v^c$, получим

$$q \frac{dv}{dt} = F(v^c), \quad (2.62)$$

и тогда имеем следующее равенство

$$q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{F(z)} = t + C_1, \quad (2.63)$$

При $t = t_0$ $v^c = v_0^c$, а потому $C_1 = -t_0$.

Следовательно,

$$q = \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{F(z)} = t - t_0, \quad (2.64)$$

Интегрирование данного уравнения и его решение относительно $\frac{dl^c}{dt} = v^c$, где

$v^c = \psi(t; t_0; v_0^c)$ и, тогда

$$l^c = \int_0^t \psi(u; t_0; v_0^c) \cdot du + C_2, \quad (2.65)$$

В уравнении (2.65) C_2 определяется из условия, что $l^c = l_0^c$ при $t = t_0$, т.е.

$$C_2 = v_0^c.$$

Следовательно, в конечном итоге имеем, что

$$l^c = l_0^c + \int_{t_0}^t \psi(u; t_0; v_0^c) \cdot du, \quad (2.66)$$

Произведем в уравнении (2.61) замену

$$\frac{dl^c}{dt} = v^c \frac{d^2 l^c}{dt^2} = \frac{dv^c}{dt} = \frac{dv^c}{dt} \cdot \frac{dl^c}{dt} = v^c \frac{dv^c}{dl^c}, \quad (2.67)$$

и запишем уравнение

$$q \cdot v^c \frac{dv^c}{dl^c} = F(v^c), \quad (2.68)$$

Из данного уравнения следует, что

$$l^c = q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{z dz}{F(z)} + C, \quad (2.69)$$

Из начальных условий при $v^c = v_0^c$, также следует, что $l^c = l_0^c$; $C = l_0^c$. В данном случае движущая сила должна быть больше силы трения, определяемой по уравнению (2.43). В этом случае можно считать, что $F(v^c) = -\gamma v^c$ и тогда уравнение (2.55) примет вид

$$l^c = l_0^c - \frac{q}{\gamma} (v^c - v_0^c), \quad (2.70)$$

Уравнение (2.64) в этом случае может быть приведено к следующей форме

$$\frac{q}{\gamma} \ln \frac{v_0^c}{v^c} = t - t_0, \quad (2.71)$$

$$\text{или } v^c = v_0^c \cdot e^{-\gamma(t-t_0)/q}, \quad (2.72)$$

Рассмотрим случай, когда $F = q \cdot a - \gamma v^{c(2)}$

Для этого случая

$$t_{\text{пер}} = q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{q \cdot a - \gamma v^{c(2)}}, \quad (2.73)$$

При $F > 0$ и $ta - \gamma v^{c(2)} > 0$ или $v^c < \sqrt{m \cdot a / \gamma}$. Примем, что $\sqrt{m \cdot a / \gamma} = v_{\text{ПП}}^c$, и тогда

$$t_{\text{пер}} = \frac{q}{2\gamma v_{\text{ПП}}^c} \left(\ln \frac{v_{\text{ПП}}^c + v^c}{v_{\text{ПП}}^c - v^c} - \ln \frac{v_{\text{ПП}}^c + v_0^c}{v_{\text{ПП}}^c - v_0^c} \right), \quad (2.74)$$

или

$$t_{\text{пер}} = \frac{q}{\gamma v_{\text{ПР}}^c} \left(\text{Arth} \frac{v^c}{v_{\text{ПР}}^c} - \text{Arth} \frac{v_0^c}{v_{\text{ПР}}^c} \right), \quad (2.75)$$

Здесь существует равенство $\frac{q}{\gamma} = \frac{v_{\text{ПР}}^{c(2)}}{a}$, а потому получаем, что

$$\frac{\gamma v_{\text{ПР}}^c}{q} = \frac{a}{v_{\text{ПР}}^c}, \quad (2.76)$$

В то же время, с учетом (2.76) имеем следующее равенство

$$\text{Arth} \frac{v^c}{v_{\text{ПР}}^c} = \text{Arth} \frac{v_0^c}{v_{\text{ПР}}^c} + \frac{at}{v_{\text{ПР}}^c}, \quad (2.77)$$

Возьмем гиперболические тангенсы от обеих частей уравнения (2.77) и тогда

$$v^c = v_{\text{ПР}}^c \frac{(v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) + \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}{1 + (v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}, \quad (2.78)$$

$$\text{или } v^c = v_0^c + v_{\text{ПР}}^c \frac{(1 - v_0^{c(2)}) \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}{1 + (v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}, \quad (2.79)$$

В частом случае, при $v_0^c = 0$ имеем, что

$$v^c = v_{\text{ПР}}^c \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c), \quad (2.80)$$

а, при $v_0^c = v_{\text{ПР}}^c$ получаем

$$v^c(t)^0 = v_0^c = v_{\text{ПР}}^c, \quad (2.81)$$

Для нахождения длины формирующего канала-сопла проинтегрируем уравнение (2.78)

$$dl^c = v_{\text{ПР}}^c \frac{(v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) + \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}{1 + (v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)} dt, \quad (2.82)$$

и получим

$$l^c = v_{\text{ПР}}^c \int_0^t \frac{(v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) + \text{th}(at/v_{\text{ПР}}^c)}{1 + (v_0^c/v_{\text{ПР}}^c) \text{th}(a \cdot u/v_{\text{ПР}}^c)} dt + C, \quad (2.83)$$

Для вычисления интеграла в правой части используем подстановку $\text{th}(a \cdot u/v_{\text{ПР}}^c) = z$ или $u = (v_{\text{ПР}}^c/a) \text{Arth} z$ и замену $v_0^c/v_{\text{ПР}}^c = \varphi$. Тогда интеграл примет

следующую форму

$$J = \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \int_0^{z_0} \frac{\varphi + z}{(1 + \varphi \cdot z)(1 - z^2)} dz, \quad (2.84)$$

В уравнении (2.84) $z_0 = th(at/\nu_{\text{ПП}}^c)$

Разложение подынтегрального выражения дает

$$\frac{\varphi + z}{(1 + \varphi \cdot z)(1 - z^2)} = \frac{\varphi}{1 + \varphi z} - \frac{1}{2(1 + z)} + \frac{1}{2(1 - z)}, \quad (2.85)$$

В результате подстановки (2.85) в (2.84) имеем, что

$$\begin{aligned} J &= \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \left[\ln(1 + \varphi \cdot z) - \frac{\ln(1 + z)}{2} - \frac{\ln(1 - z)}{2} \right]_0^{z_0} = \left| \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \frac{1 + \varphi \cdot z}{(1 - z^2)^{0.5}} \right|_0^{z_0} = \\ &= \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \frac{1 + (\nu_0^c/\nu_{\text{ПП}}^c) th(at/\nu_{\text{ПП}}^c)}{(1 - th^2(at/\nu_{\text{ПП}}^c))^{0.5}} = \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ПП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} \right) \end{aligned} \quad (2.86)$$

В конечном итоге получаем

$$l^c = \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ПП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} \right) + C, \quad (2.87)$$

С целью определения значения C примем $l^c = l_0^c$, при $t = 0$ $C = l_0^c$, и тогда

$$l^c = l_0^c + \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(\frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ПП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} \right), \quad (2.88)$$

Примем, что $l_0^c = 0$, и тогда получаем

$$l^c = \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ПП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c} \right), \quad (2.89)$$

Если принять, что $\nu_0^c = 0$, то в конечном итоге имеем

$$l^c = \frac{\nu_{\text{ПП}}^{c(2)}}{a} \ln ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ПП}}^c}, \quad (2.90)$$

Для уравнения движения

$$q \frac{d^2 l^2}{dt^2} = F(l^c), \quad (2.91)$$

справедливы следующие равенства

$$\frac{dl^2}{dt} = v^c; \frac{d^2 l^2}{dt^2} = \frac{dv^c}{dt} = v^c \frac{dv^c}{dt}, \quad (2.92)$$

С учетом равенства (2.92), уравнение движения продукта по каналу-соплу, принимает вид

$$q \cdot v^c \frac{dv^c}{dt} = F(l^c), \quad (2.93)$$

Путем разделения переменных в уравнении (2.93) получаем, что

$$0,5q \cdot v^{c(2)} = \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz + C, \quad (2.94)$$

где z – переменная интегрированная.

Исходя из начального условия $v^c = v_0^c$ при $l^c = l_0^c$ $C_1 = 0,5q \cdot v_0^{c(2)}$ и тогда

$$C_1 = 0,5q \cdot v_0^{c(2)} + \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz, \quad (2.95)$$

Решая уравнение (2.95) относительно параметра v^c , с учетом того, что $v^c = \frac{dl^c}{dt}$ имеем

$$\frac{dl^c}{dt} = \left[v_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz \right]^{0.5}, \quad (2.96)$$

$$\text{или } t = \int_{l_0^c}^{l^c} \left\{ du / \left[v_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u F(z) dz \right] \right\} + C_2, \quad (2.97)$$

Равенство $l^c = l_0^c$ справедливо при $t^c = t_0^c$, поэтому $C_2 = t_0^c$.

С учетом данного условия имеем, что

$$t = t_0^c + \int_{l_0^c}^{l^c} du / \left[v_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u F(z) dz \right]^{0.5}, \quad (2.98)$$

С учетом того, что $F = \gamma \cdot q / l^{c(3)}$, при значении $l^c = l_0^c, v^c = v_0^c, t^c = t_0^c$ имеем

$$t = \int_{l_0^c}^{l^c} du / \left(v_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u \frac{\gamma \cdot q}{z^3} dz \right)^{0.5} = l_0^c \int_{l_0^c}^{l^c} u \cdot du / \left[\left(v_0^{c(2)} \cdot l_0^{c(2)} + \gamma \right) \cdot u^2 - \gamma l_0^{c(2)} \right]^{0.5}, \quad (2.99)$$

В конечной форме уравнение (2.99) принимает вид:

$$t = l_0^c \left(\nu_0^{c(2)} l_0^{c(2)} + \gamma \right)^{-1} \left\{ \left[\left(\nu_0^{c(2)} \cdot l_0^{c(2)} + \gamma \right) \cdot l_0^{c(2)} - \gamma \cdot l_0^{c(2)} \right]^{0.5} - \nu_0^c \cdot l_0^c \right\}, \quad (2.100)$$

Решая это уравнение, относительно параметра l^c , имеем:

$$l^c = \left[\left(l_0^c + \nu_0^c t \right)^2 + \frac{\gamma t^2}{l_0^{c(2)}} \right]^{0.5}, \quad (2.101)$$

Приняв, что $t = t_{\text{рел}}$ и преобразовав уравнение (2.101) получаем:

$$t_{\text{рел}} = \left(l_0^{c(2)} / \gamma \right) - \left(l_0^{c(2)} / \nu_0^c \cdot l_0^c \right), \quad (2.102)$$

Общая мощность составит:

$$N_o = (N_{\Pi} + N_{\text{ПИСБ}} + N_{\text{ПФБ}} + N_{\text{ХХ}}) / \eta, \quad (2.103)$$

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

η – КПД передачи.

Выводы по главе

1. На основании принятых инновационных подходов обоснован новый способ приготовления прессованно-формованных кормовых продуктов, для которого разработана формализованная модель потоковой трансформации композиционной кормовой системы, а также структурно-функциональная схема устройства для эффективной реализации предложенного способа в виде двухблочной системы.

2. Для предложенного устройства, позволяющего получать прессованно-формованные изделия, разработана математическая модель оценки процесса по таким показателям эффективности функционирования, как энергоемкость с учетом однородности композиционной смеси и степени однородности, а также прочности прессованно-формованных изделий (ПФИ) (система уравнений 2.1).

3. На основании теоретического анализа разработаны аналитические модели оценки однородности смеси в получаемых композициях в зависимости от степени измельчения (формула шнек 2.14), а также прочности прессованно-формованных изделий в зависимости от значений однородности смеси и степени измельчения (формула 2.16).

4. На основе принятых методологических подходов разработана функцио-

нальная модель, характеризующая степень измельчения в зависимости от параметров измельчающего аппарата предложенного устройства (формула 2.20 и 2.21).

С учетом данных зависимостей получена формула для расчета мощности (формула 2.26).

5. Для предложенных конструкций ПФБ получены аналитические зависимости и расчетные формулы по определению мощности и параметров (формулы 2.49, 2.101, 2.102 и 2.103).

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

3.1 Программа исследований

Программой экспериментальных исследований решались задачи в пять этапов [58].

На первом и втором этапах – определялся выбор общих методик и показателей исходного сырья и компонентов;

На третьем этапе – определялись требования к организации проведения опытов и пилотной установке для их реализации;

На четвертом этапе – проводилась разработка и изготовление пилотной установки, обеспечивающей возможность варьирования на ней факторами в требуемом диапазоне значений;

На пятом этапе – ставились собственно опыты по изучению следующих процессов:

- одновременной дезинтеграции и гомогенизации корнеплодно-зерновых композиции с учетом усреднения влажности в них и установлением однородности гранулометрического состава частиц;
- получение прессованно-формованных смесей с установлением их плотности.

По первой совокупности процессов за критерии оптимизации были приняты:

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

Зависимости в общем их виде, подлежащие раскрытию, представлены совокупностью следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{opt}; \\ \theta &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{max}; \\ N_g &= f(\omega_g; d_0; R_{жс}) \rightarrow \text{min} \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

где ω_g – угловая скорость вала винта устройства, с^{-1} ;

d_0 – диаметр отверстий решетки, мм;

$R_{жс}$ – коэффициент «живого сечения» решетки, б/р.

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

$$v = f(\lambda), \quad (3.1^*)$$

По второму процессу за критерий оптимизации приняты:

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

$$\rho_g = f(P; d_c; l^c) \rightarrow \text{opt}, \quad (3.2)$$

где P – давление прессования, МПа;

d_c – диаметр отверстий матрицы (сопла), мм;

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

- во-вторых: однородность смеси в брикетах, их прочность и энергоемкость для тыквенно-кукурузной композиции:

$$\left. \begin{aligned} \theta_B &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{max}; \\ G &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{max}; \\ N_g &= f(\omega_n; l^c; \Delta d) \rightarrow \text{min} \end{aligned} \right\}, \quad (3.3)$$

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

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

Δd – толщина стенки брикета, мм.

3.2 Описание разработанной установки и применяемого оборудования для проведения опытов

Общий вид оборудования для проведения эксперимента представлен на рисунках 3.1 – 3.6.

В качестве базового устройства, в котором имелась возможность варьирования всеми необходимыми для управления факторами, использовался волчок. При этом были изготовлены соответствующих размеров сменные сопла, а также совокупность сменных прессующе-формующих матриц.



Рисунок 3.1 – Общий вид экспериментального оборудования



Рисунок 3.2 – Общий вид оборудования с различными типами формирующего канала – сопла

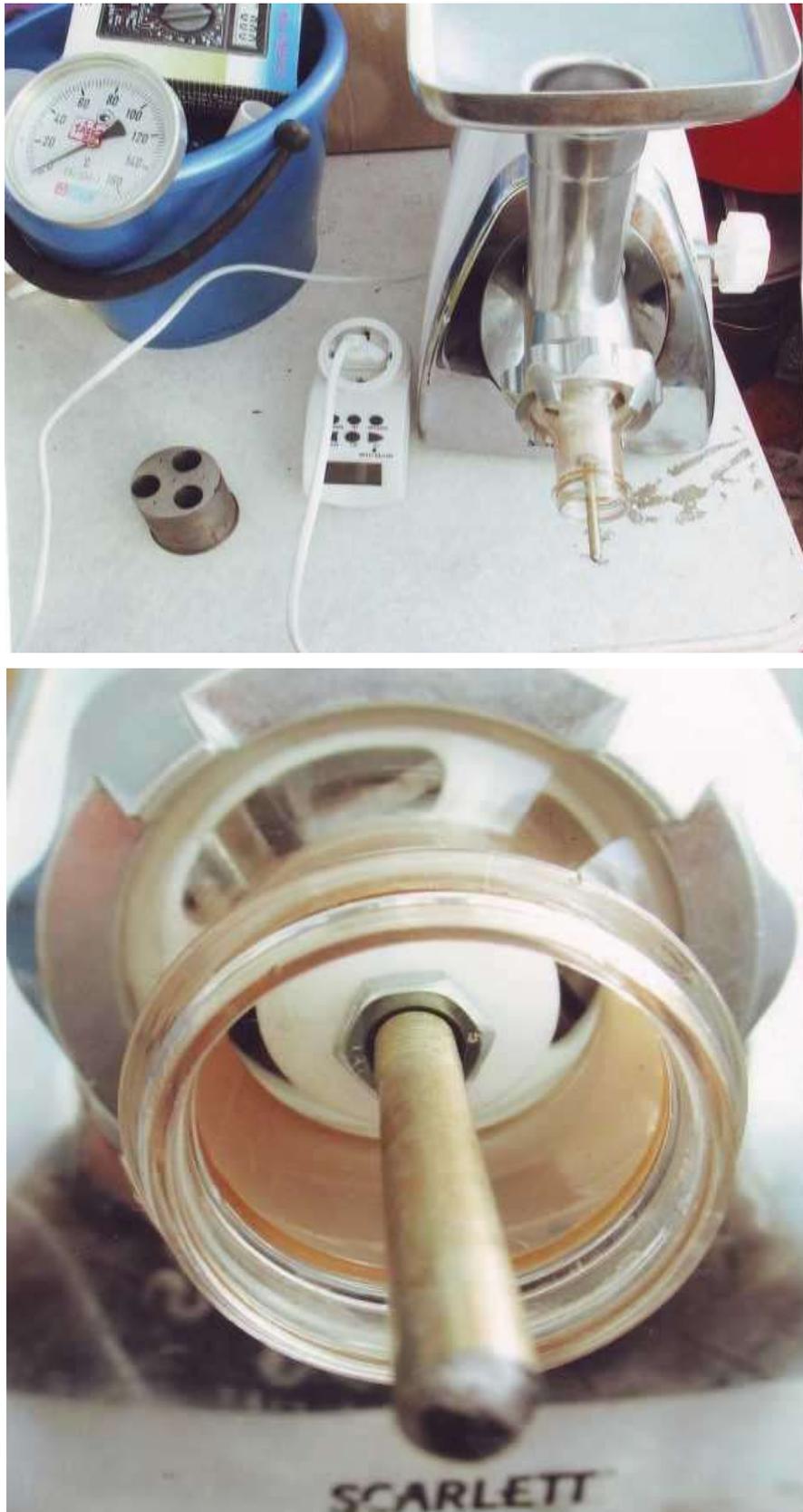


Рисунок 3.3 – Общий вид пилотной установки и приборного оборудования по изучению процесса получения брикетов



а)



б)

Рисунок 3.4 – Общий вид реле времени, прибора для замеров мощности



Рисунок 3.5 – Общий вид экспериментального комплекса по изучению процесса получения корнеплодно-зернового гранулята



Рисунок 3.6 – Общий вид пилотной установки для приготовления брикетов цилиндрической формы

Для регулирования режима работы волчка и сушилки применялось реле времени-таймер электронный АТМ-24.

Для определения температуры использовался термометр ТБ-100-1 кл. 1.5

Для замеров потребляемого тока использовался «Multimeter» модели DT-830 В (рисунок 3.4).

3.3 Методика установления физико-механических показателей и свойств кормового сырья и компонентов

При проведении исследований по определению данных показателей и свойств, в качестве объектов использовались корнеплоды – тыква и морковь, а также фуражное зерно: кукуруза, пшеница, ячмень и овес и соя (приложения 1 – 5).

Средняя проба для анализа отбиралась так, чтобы она точно и объективно характеризовала всю партию материала. Для этого пробы брались при установившейся работе установки в течении 10 мин с интервалом в 5 мин.

Повторность опытов, равная трем, выбрана в соответствии с тем, что наибольшей ошибкой для большинства технических измерений является $\Delta n = \pm 3\sigma$. Надежность опытов принята равной $\varepsilon = 0,95$.

Экспериментальные исследования проводились на основании работ В.Р. Алешкина, Т.В. Веденяпина, А.И. Завражнова, Г.М. Кукты, С.В. Мельникова и других ученых [3, 15, 17, 61, 69, 77, 80-82, 88, 131].

Влажность определяли способом разделяющего признака – выделением влаги, по методу Уланова И.А., со взвешиванием проб на весах типа ВЛКТ-500 с определением влажности – W по формуле:

$$W = 100 \cdot [M_1 - M_2] \cdot [M_2 - M_B]^{-1}, \quad (3.4)$$

где M_1, M_2 – массы проб с бюксой до сушки и после нее, г;

M_B – масса бюксы, г.

Влажность композиционной смеси – W_{CM} , входящей в состав гранулы, устанавливали с учетом ее процентного содержания в компонентах:

$$W_{CM} = (W_1\alpha_1 + W_2\alpha_2 + \dots + W_n\alpha_n) \cdot 100^{-1}, \quad (3.5)$$

где W_1, W_2, W_n – влажность компонентов, входящих в состав смеси, %;
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$ – процентное содержание компонентов в смеси, %.

3.4 Методика установления прочности гранул

Прочность высушенных гранул устанавливали на приборе, в виде коробки – сетчатого параллелепипеда.

Навеска гранул имел массу 1,5 – 2,0 кг, который подвергался вращению в коробке в пределах 50 минут при 13 мин⁻¹.

Показатель прочности – G_k рассчитывали по формуле:

$$G_k = 100 \cdot M_{III} \cdot M_{БР}^{-1}, \quad (3.6)$$

где M_{III} – масса гранул или брикетов после испытания, кг;

$M_{БР}$ – масса гранул до испытания, кг.

Результатом являлось среднее арифметическое из трех опытов [3, 15, 17, 19, 56].

3.5 Методика установления степени измельчения, однородности гранулометрического состава, энергоемкости и подачи устройства

Размерные характеристики ККП определяли замерами, которые брали из разных мест хранилища продукта, с проведением замеров диаметра, длины и определением их среднего значения [14, 52-55].

Для определения степени измельчения, однородности гранулометрического состава и средневзвешенной длины измельченного корма, измельченный продукт собирали при установившемся режиме рабочих органов методом квартования по методике ВИСХОМ, с помощью сетки [88]. На измельченный продукт, распределяемый ровным слоем, накладываем сетку из 20...50 квадратов. Из намеченных квадратов брали по 3,0...4,0 пробы определенного объема. Результат усредняли.

Средняя проба, в зависимости от средневзвешенного размера частиц – l ,

и коэффициента вариации размера – v , определялась как

$$q = (74,33)^{-1} \cdot l \cdot v^{12,95}, \quad (3.7)$$

Разбор проб проводили вручную с промыванием массы водой и разделением на фракции. Каждую из фракций взвешивали с определением средней длины частиц. Средняя длина частиц:

$$l_{cp} = \left[\sum_{i=1}^n m_i l_{cpi} \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n m_i \right]^{-1}, \quad (3.8)$$

где l_{cpi} , m_i – длина и масса частиц в пределах каждой фракции, мм.

Для оценки измельченного корма по однородности состава в соответствии с ГОСТ 70.19.2-83 рассчитываем среднеквадратичное отклонение σ размера частиц

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum (l_i \cdot l_{cp})^2 q_i}{\sum q_i}}, \quad (3.9)$$

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

q_i – масса частиц каждой фракции,

а также коэффициент вариации

$$v_\lambda = \frac{\sigma_\lambda}{l_{cp}} \cdot 100 \%, \quad (3.10)$$

Для исследования процесса подачи, осуществляемой прессующе-формуемого устройства винтового типа, определяли его производительность путем взвешивания кормового материала, выданного за промежуток времени, равный 10 секундам.

Среднеквадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (m_i - m_{cp})^2}{n-1}}, \quad (3.11)$$

где m_i – масса корма одной пробы 1 м длины транспортера, г;

m_{cp} – среднеарифметическая масса всех проб, г;

n – число проб, шт.

$$m_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \quad (3.12)$$

Коэффициент вариации, с целью оценки отклонений данных опыта определяли по формуле

$$v_m = \frac{\delta}{m_{cp}} \cdot 100\%, \quad (3.13)$$

Для определения удельных затрат энергии (энергоёмкости):

- измеряем мощность, потребляемую рабочим органом на измельчение продукта и холостой ход, для чего используем прибор ДТ-830В;

- измеряем мощность на холостом ходу;

- при установившемся режиме работы записываем показания прибора;

- данные заносим в таблицу.

При определении затрат мощности при измельчении тыквы, моркови и зерна:

- отбираем навеску массой $\sigma = 5$ кг. при включенном в работу волчке (рисунок 3.5);

- после достижения рабочего режима подаем продукт в приемную горловину волчка и с помощью таймера отключаем его в течение 10 сек.

Удельную мощность определяем по формуле

$$N_{уд} = \frac{N_{px} - N_{xx}}{Q}, \quad (3.14)$$

где Q – производительность, кг/с;

$N_{px}; N_{xx}$ – мощность рабочего и холостого хода.

Производительность соответствующих блоков предложенного устройства определяли при установленных параметрах и режимах функционирования по формуле:

$$Q_i = G_i \cdot t_i^{-1}, \text{ кг/с}, \quad (3.15)$$

где G_i – масса взятой пробы, кг;

t_i – время взятия пробы, с.

Частоту вращения электродвигателя изменяли с помощью преобразователя частоты SJ100-022HF фирмы Hitachi. Время измеряли с помощью секундомера СОПР-6Т-2-000. Пробы взвешивали на весах марки ВЛТК-500 [31-38].

3.6 Методика определения однородности смеси в корнеплодно-зерновых композициях

При оценке однородности смеси одной случайной величиной смесь считали двухкомпонентной. Для этого вводили в смесь контрольный компонент, остальные объединяли во второй – условный. Выделенные из смеси гранулы считали и определяли их долю в смеси.

Степень однородности смеси определяем также по величине отношения теоретического – σ_T и опытного среднеквадратического отклонения – S [95, 102]

$$\theta_{CM} = \sigma_T \cdot S^{-1}, \quad (3.16)$$

Величина σ_T равна

$$\sigma_T = \left\{ \left[\sum_{i=1}^m (X_i - P)^2 \cdot (m-1)^{-1} \right] \right\}^{0,5}, \quad (3.17)$$

где X_i – содержание контрольного компонента в i -й пробе;

P – заданное расчетом содержание контрольного компонента;

m – эмпирическое (опытное) среднеквадратическое отклонение

$$S = \left[\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 \cdot (m-1) \right]^{0,5}, \quad (3.18)$$

где \bar{X} – среднеарифметическая величина контрольного компонента;

m – общее число проб

Коэффициент вариации – θ_c , характеризующий однородность смеси:

$$\theta_c = 100 \cdot S \cdot [\bar{X}]^{-1}, \quad (3.19)$$

Степень усреднения влаги в композициях, на всех этапах, определяем методом разделяющего признака по влажности, разработанного И.А. Улановым [148].

3.7 Методика реализации многофакторного эксперимента и обработки опытных данных

Опыты по обоснованию дезинтеграционно-гомогенизационного процесса

корнеплодно-зерновых композиций реализуем в соответствии со стандартной матрицей, приведенной в литературе [1].

Анализом, ранее проведенных исследований установлено, что изучаемые процессы описываются уравнением второго порядка:

$$B = C_0 + \sum_{i=1}^k C_i \mu_i + \sum_{i < j}^k C_{ij} \mu_i \mu_j + \sum_{i=1}^k C_{ii} \mu_i^2 \quad (3.20)$$

где C_0, C_i, C_{ij} – эмпирические коэффициенты.

Для упрощения расчетов переходили от натуральных значений исследуемых величин к кодовым переменным – C .

Для расширения исследуемой области выбираем звездные точки.

Проверку адекватности полученных моделей осуществляли путем вычисления F-критерия Фишера.

При этом были приняты – надежность $E=0,95$ и ошибка исследований равная 5 %, при трехкратной повторности.

В исследованиях использованы положения, изложенные в работах [1, 3, 12, 18, 19, 56, 95, 96, 100, 148, 151] с обработкой результатов посредством программ «Statistika-7», «KPS», «Apollo» и др.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

На первом этапе исследований определялись размеры, а свойства и показатели исходного зернового, корнеклубнеплодного сырья и соевой муки (таблицы 4.1 и 4.2).

Таблица 4.1 – Данные по размерным характеристикам фуражного зерна и соевому компоненту ($\bar{x} \pm m; p \leq 0,05$)

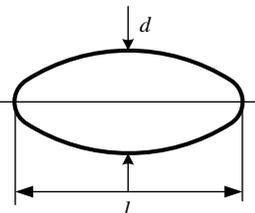
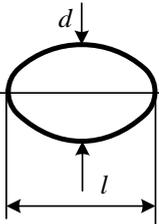
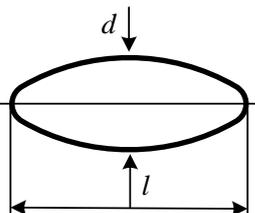
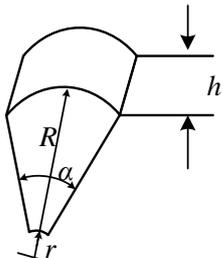
Зерновая культура (сортовая смесь), компонент	Параметры семян					
	d , мм	l , мм	R , мм	r , мм	α , °	h , мм
Пшеница 	2,0 – 3,0	5,0 – 6,0	–	–	–	–
Ячмень шелушённый 	3,0 – 4,0	5,0 – 7,0	–	–	–	–
Овёс 	3,0 – 4,0	10,0 – 13,0	–	–	–	–
Кукуруза 	–	–	8,0 – 10,0	1,0 – 2,0	45,0 – 60,0	4,0 – 5,0
Соевая необезжиренная термообработанная мука	24 мкм	–	–	–	–	–

Таблица 4.2 – Физико-химические показатели корнеклубнеплодов

Наименование показателей	Ед. изм.	Вид продукта		
		морковь	свекла кормовая	тыква
Диаметр (ширина)	мм	45,0 – 65,0	155,0 – 175,0	160,0 – 460,0
Длина	мм	140,0 – 190,0	145,0 – 195,0	140,0 – 435,0
Влагосодержание	%	79,0 – 80,0	80,0 – 82,0	85,0
Плотность	кг/м ³	710,0	645,0	590,0

Анализ данных, представленных в таблицах 4.1 и 4.2 показывает, что характеристики, свойства и показатели исходного сырья изменяются в широких пределах, что необходимо учитывать при проектировании соответствующих процессов и технических средств, предназначенных для их обработки и переработки [24, 28].

На втором этапе исследований по установлению параметров предложенного устройства (рисунок 2.2) в качестве варьируемых факторов приняты: угловая скорость винта и ножей – ω_v , имеющая размерность - с⁻¹; диаметр отверстий решетки – d_0 , имеющий размерность - мм; коэффициент «живого» сечения решетки – $R_{ж}$, имеющий размерность – б/р, для корнеплодно-зерновой композиции.

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

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

В таблице 4.3 представлены данные по факторной совокупности процесса.

Таблица 4.3 – Принятая факторная совокупность и числовые значения

Уровневая градация	Числовые значения		
	$\mu_1 / \omega_v, \text{с}^{-1}$	$\mu_2 / d_0, \text{мм}$	$\mu_3 / R_{ж}, \text{б/р}$
Верхняя	10,000	6,000	4,000
Основная	9,500	4,000	3,500
Нижняя	9,000	2,000	3,000
Интервальный диапазон (E)	0,500	2,000	0,500

В таблице 4.4 представлена стандартная матрица реализации трехфакторного эксперимента с полученными данными.

Таблица 4.4 – Стандартная матрица реализации эксперимента и полученные данные

Номер опыта	Факторы в кодированной форме			Факторы в натуральной форме			Искомый параметр (показатель)		
	μ_1	μ_2	μ_3	$\mu_1 / \omega_6, c^{-1}$	$\mu_2 / d_0, мм$	$X_3/R_{ж}, б/р$	$B_1/\lambda, б,р$	$B_2/\theta_y, \%$	$\frac{B_3}{N_{уд}}, \frac{Вт \cdot ч}{кг}$
1	-1,0	-1,0	1,0	9,00	2,00	4,00	10,4	81,4	$0,547 \cdot 10^2$
2	1,0	-1,0	-1,0	10,00	2,00	3,00	10,9	79,3	$0,520 \cdot 10^2$
3	-1,0	1,0	-1,0	9,00	6,00	3,00	10,8	80,0	$0,503 \cdot 10^2$
4	1,0	1,0	1,0	10,00	6,00	4,00	7,5	85,6	$0,380 \cdot 10^2$
5	-1,0	-1,0	-1,0	9,00	2,00	3,00	13,0	78,0	$0,560 \cdot 10^2$
6	1,0	-1,0	1,0	10,00	2,00	4,00	9,4	83,4	$0,532 \cdot 10^2$
7	-1,0	1,0	1,0	9,00	6,00	4,00	8,6	89,9	$0,400 \cdot 10^2$
8	1,0	1,0	-1,0	10,00	6,00	3,00	8,3	78,4	$0,445 \cdot 10^2$
9	-1,215	0,0	0,0	8,8925	4,00	3,50	8,1	88,1	$0,386 \cdot 10^2$
10	+1,215	0,0	0,0	10,1255	4,00	3,50	7,6	79,9	$0,394 \cdot 10^2$
11	0,0	-1,215	0,0	9,50	1,570	3,50	12,8	87,7	$0,560 \cdot 10^2$
12	0,0	+1,215	0,0	9,50	6,502	3,500	10,5	84,3	$0,391 \cdot 10^2$
13	0,0	0,0	-1,215	9,50	4,00	2,8745	12,0	89,0	$0,554 \cdot 10^2$
14	0,0	0,0	+1,215	9,50	4,00	4,1255	8,5	95,1	$0,382 \cdot 10^2$
15	0,0	0,0	0,0	9,50	4,00	3,50	8,4	96,6	$0,367 \cdot 10^2$

В таблицах 4.5 – 4.7 приведены обработанные данные.

Таблица 4.5 – Данные по анализу функциональных зависимостей $B_{1-3} = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3)$

Критериальный показатель	Показатель стандартного отклонения - σ	Показатель в виде R-корреляции	Показатель в виде коэффициента детерминации R^2	Показатель в виде F-критерия (Фишера)	Значимость F-критерия (P=0,95)
$B_1 \rightarrow \text{opt}$	0,773000	0,968000	0,937000	8,30000	0,01000
$B_2 \rightarrow \text{max}$	0,755000	0,955000	0,913000	5,60000	0,03000
$B_3 \rightarrow \text{min}$	0,765000	0,957000	0,916000	6,07000	0,03000

Таблица 4.6 – Данные по результатам регрессионного анализа

Показатель	t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}	Заключение об адекватности	
											F_R	F_T
B_1	9,250	-0,650	-1,040	-1,030	-	0,310	-	-1,110	1,390	0,450	8,000	3,590
B_2	94,640	-1,090	0,740	2,900	-1,150	-	1,20	-6,530	-5,230	-1,180	5,600	3,590
B_3	38,580	-1,110	-5,840	-3,450	-	-	-2,090	-	5,510	4,850	6,070	3,590

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

– в кодированной форме:

$$B_1 = 9,2500 - 0,650 \cdot \mu_1 - 1,040 \cdot \mu_2 - 1,030 \cdot \mu_3 + 0,310 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 + 1,110 \cdot \mu_1^2 + 1,390 \cdot \mu_2^2 + 0,450 \cdot \mu_3^2 \rightarrow opt; \quad (4.1)$$

$$B_2 = 94,6400 - 1,090 \cdot \mu_1 + 0,740 \cdot \mu_2 + 2,90 \cdot \mu_3 - 1,150 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 1,200 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 - 6,530 \cdot \mu_1^2 - 5,230 \cdot \mu_2^2 - 1,180 \cdot \mu_3^2 \rightarrow max; \quad (4.2)$$

$$B_3 = 38,5800 - 1,110 \cdot \mu_1 + 5,840 \cdot \mu_2 - 3,450 \cdot \mu_3 - 2,090 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 + 5,510 \cdot \mu_2^2 + 4,850 \cdot \mu_3^2 \rightarrow min; \quad (4.3)$$

– в раскодированной форме:

$$\lambda = -300,100 + 78,680\omega_g - 3,180 \cdot d_0 - 26,950 \cdot R_{жс} + 1,250 \cdot \omega_g \cdot R_{жс} - 4,430 \cdot \omega_g^2 + 0,350 \cdot d_0^2 + 1,780 \cdot R_{жс}^2 \rightarrow opt; \quad (4.4)$$

$$\theta = -2401,0051 + 502,000\omega_g + 17,560 \cdot d_0 + 43,490 \cdot R_{жс} - 1,150 \cdot \omega_g \cdot d_0 + 1,200 \cdot d_0 \cdot R_{жс} - 26,110 \cdot \omega_g^2 - 1,310 \cdot d_0^2 - 4,710 \cdot R_{жс}^2 \rightarrow max; \quad (4.5)$$

$$N_s = 382,5200 - 16426,00 \cdot R_{жс} - 2,090 \cdot d_0 \cdot R_{жс} + 1,380 \cdot d_0^2 + 19,40 \cdot R_{жс}^2 \rightarrow min; \quad (4.6)$$

Адекватность полученных моделей – уровнем обусловлена наличием неравенства $F_R > F_T$, согласно таблице 4.6.

В таблице 4.7 приведены данные по экстремуму для факторов μ_1 , μ_2 и μ_3 , при которых значения B_{1-3} следуют к принятым рациональным значениям их оценок.

Таблица 4.7 – Данные, входящие в область экстремальных значений

Критерий	μ_1 / ω_g	μ_2 / d_0	$\mu_3 / R_{жс}$	B_{1-3}
$B_1 \rightarrow opt$	0,8100/9,500	1,1300/4,100	1,0200/3,5000	8,400/8,400
$B_2 \rightarrow max$	0,000/9,500	0,2700/4,400	1,1400/4,1000	96,600/96,200
$B_3 \rightarrow min$	0,990/9,500	1,02000/4,000	1,0300/3,5200	36,700/36,700

В соответствии с таблицей 4.7 оптимальными значениями параметров предложенного устройства по приготовлению гранул являются:

- угловая скорость винта – $\omega_g = 9,5 \text{ с}^{-1}$;
- диаметр отверстий решетки – $d_0 = 4,0-4,4 \text{ мм}$;
- коэффициент «живого» сечения решетки – $R_{жс} = 3,5-4,1$;

при которых:

- степень измельчения – $\lambda = 8,4$, б/р;
- однородность трансформированной композиции = $\Theta = 96,6$ %;
- энергоёмкость – $N_э = 36,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$

На рисунках 4.1 – 4.18 приведены результаты графического анализа зависимостей $B_{1-3} = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \text{opt}$

На рисунках 4.1 – 4.18 приведены данные для проведения графического анализа полученных зависимостей.

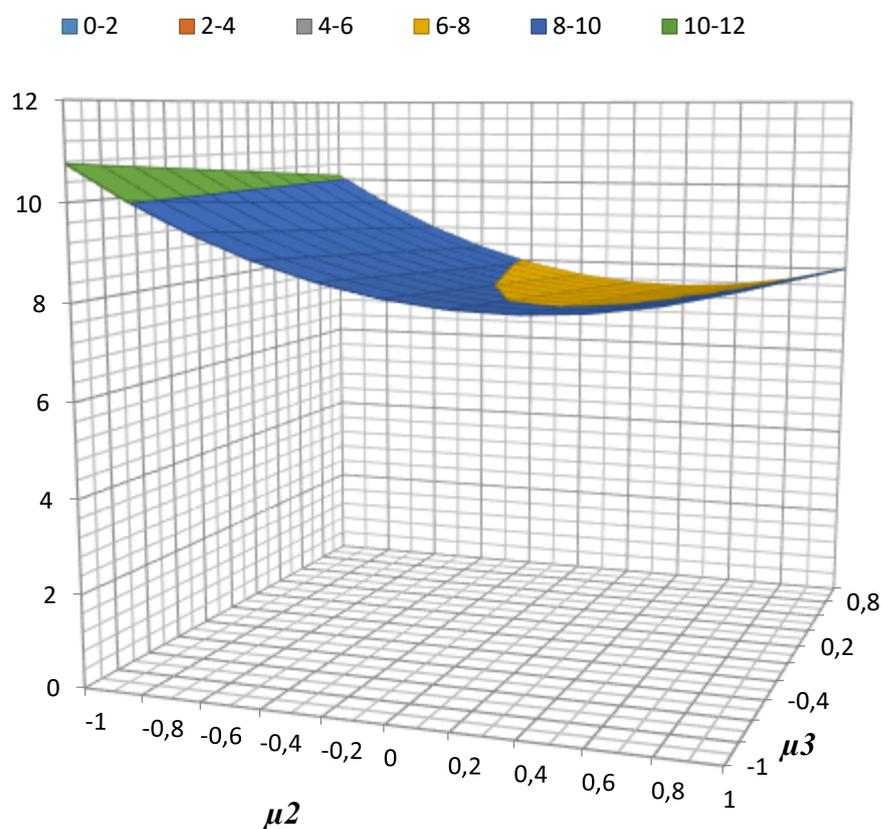


Рисунок 4.1 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1 = 0,81; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \text{opt}$$

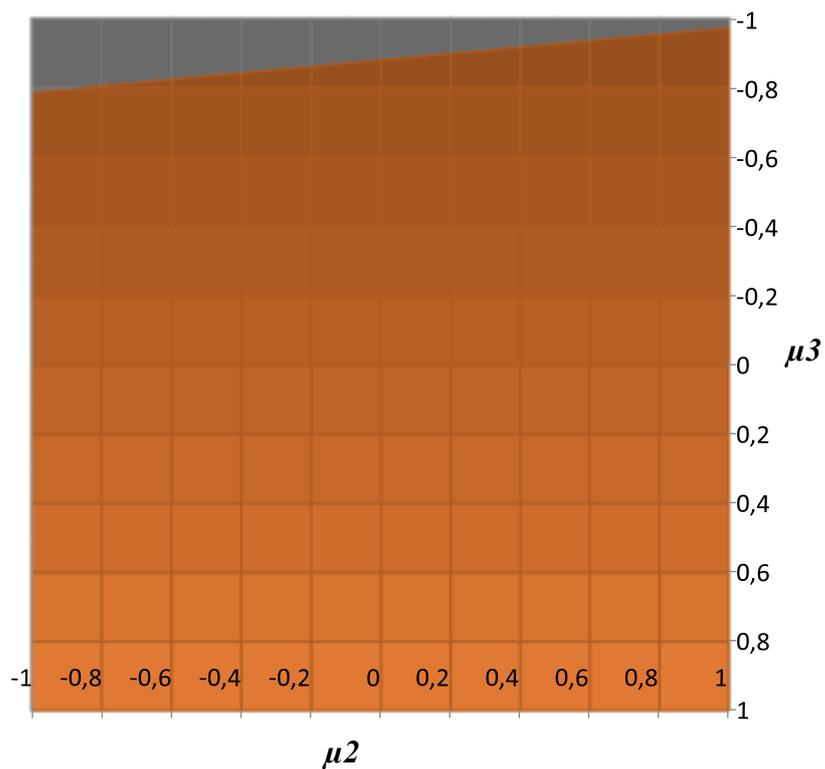


Рисунок 4.2 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1 = 0,81; \mu_2; \mu_3) \rightarrow opt$$

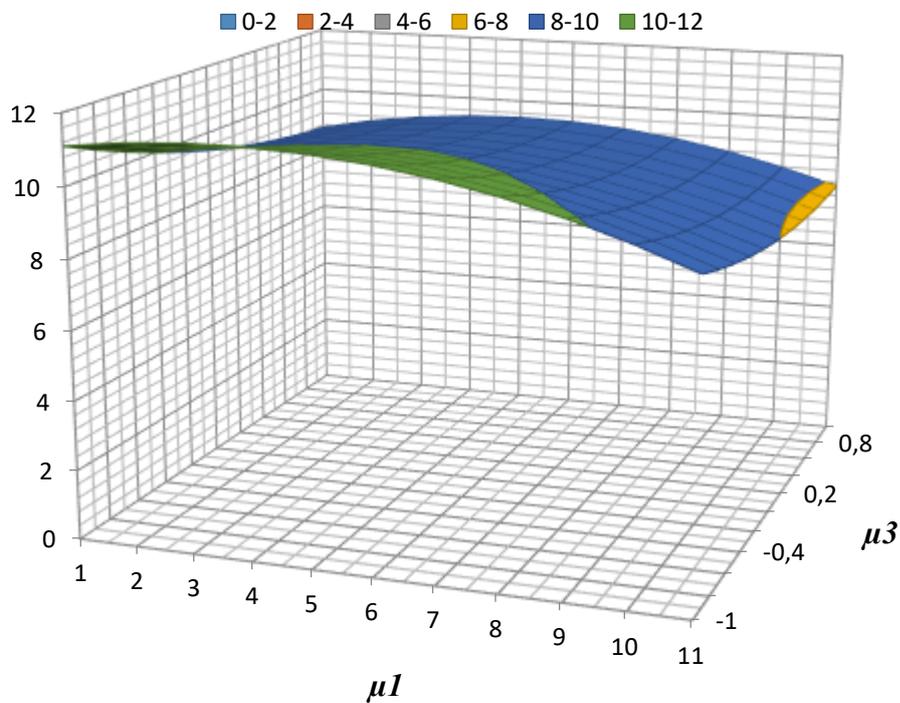


Рисунок 4.3 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1 = 0,81; \mu_2; \mu_3) \rightarrow opt$$

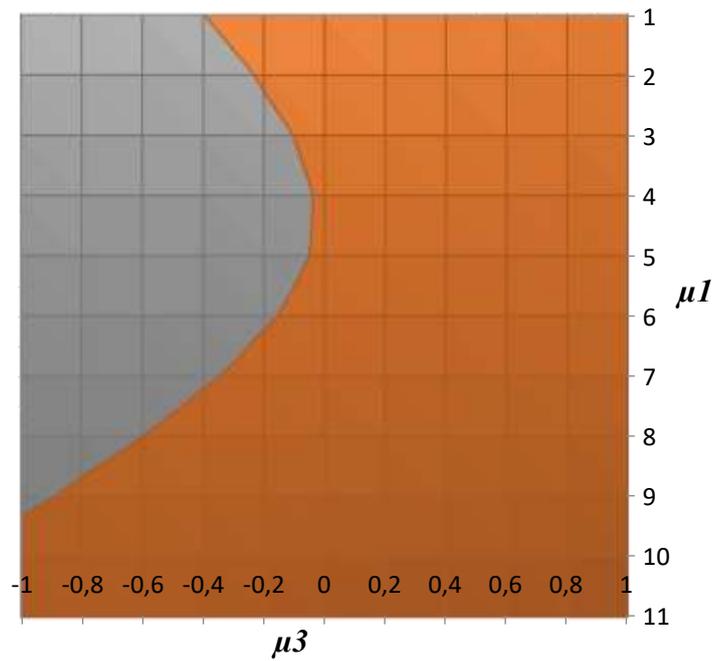


Рисунок 4.4 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1; \mu_2 = 1,13; \mu_3) \rightarrow opt$$

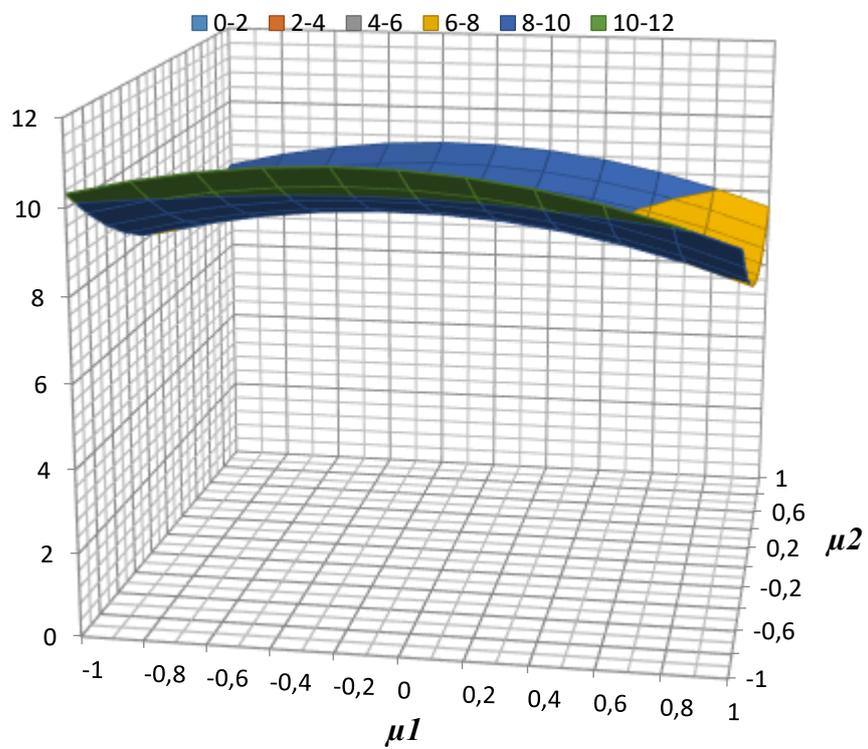


Рисунок 4.5 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,02) \rightarrow opt$$

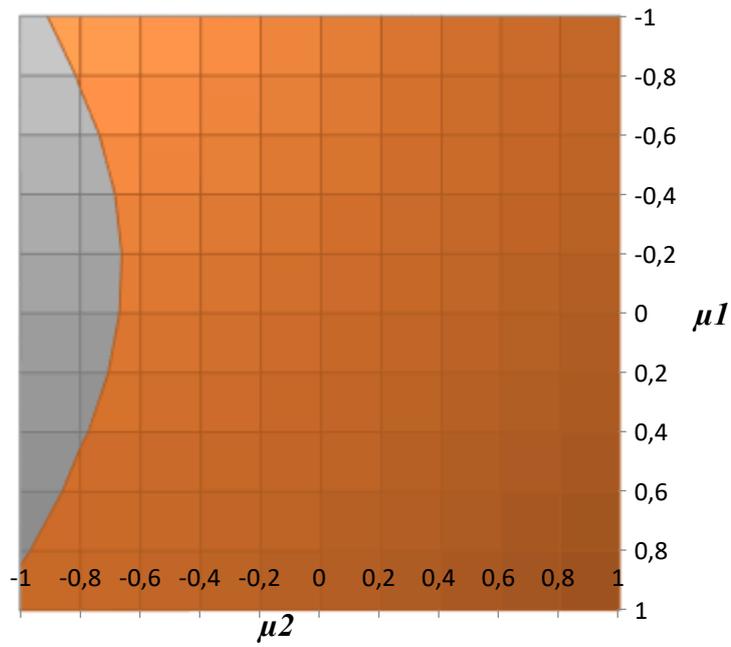


Рисунок 4.6 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_1 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,02) \rightarrow opt$$

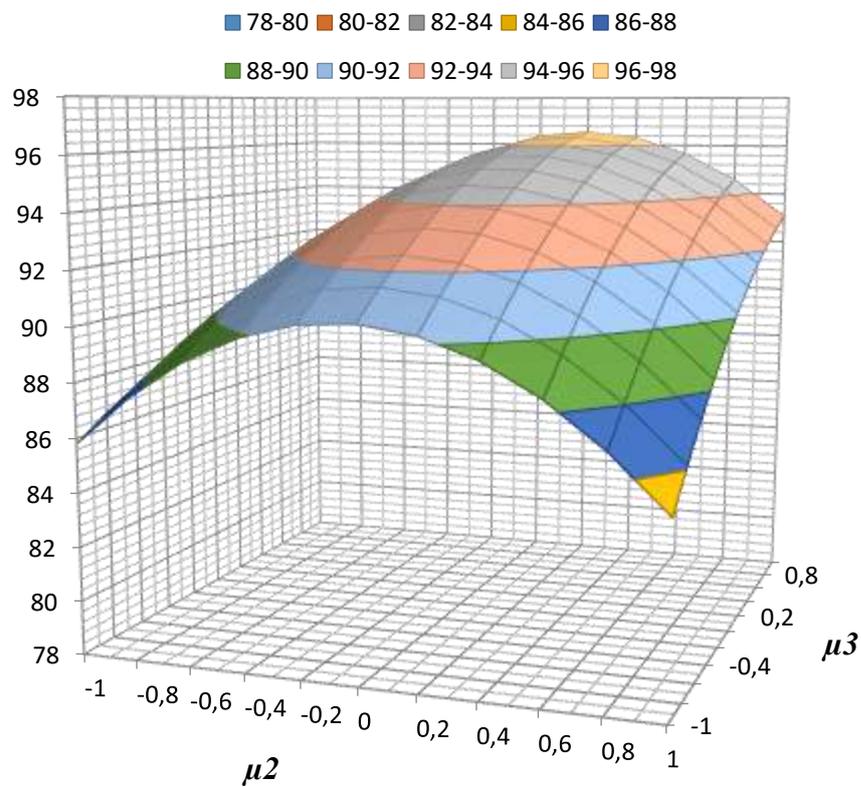


Рисунок 4.7 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1 = 0; \mu_2; \mu_3) \rightarrow max$$

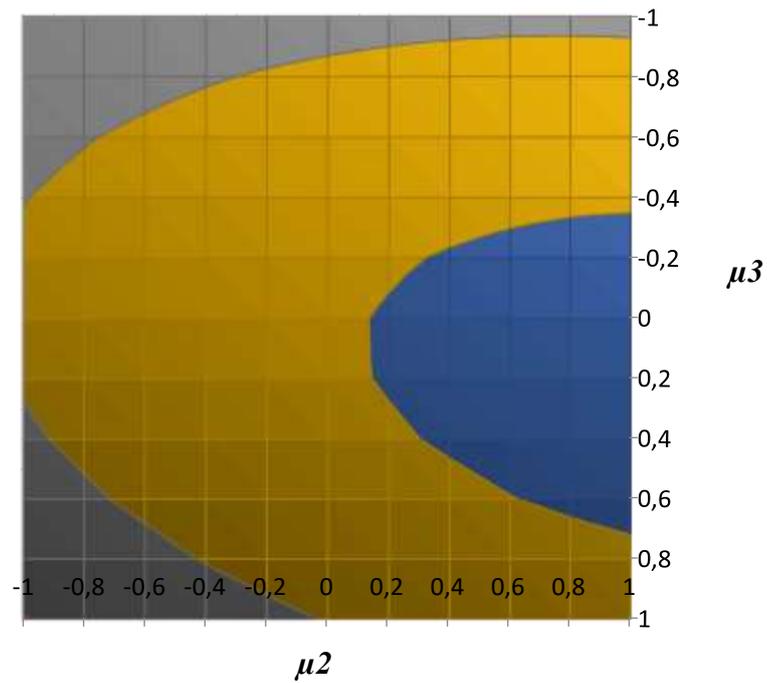


Рисунок 4.8 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1 = 0; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max$$

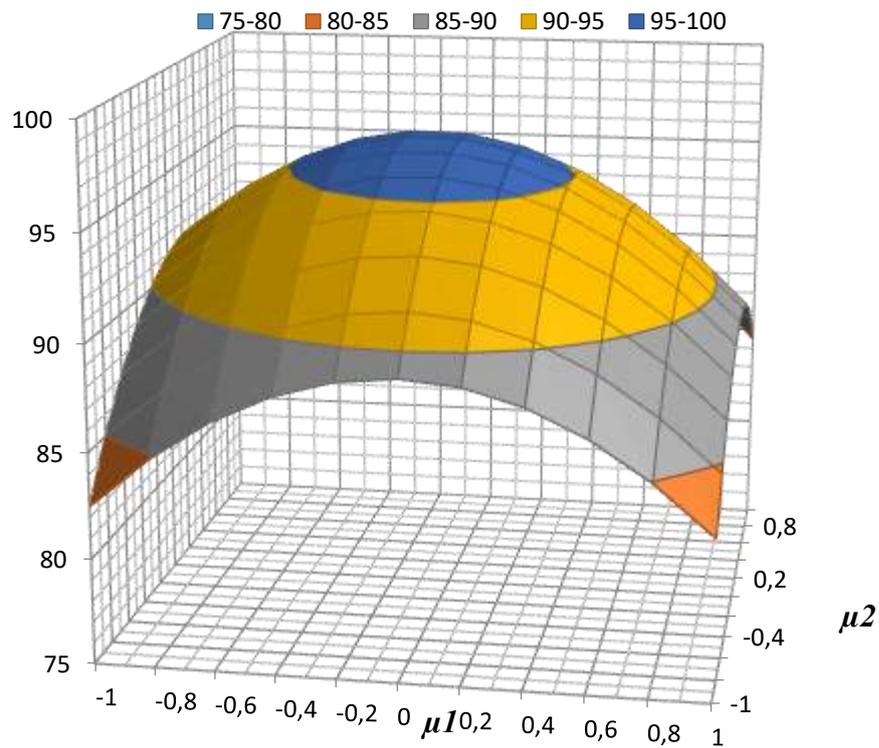


Рисунок 4.9 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,27; \mu_3) \rightarrow \max$$

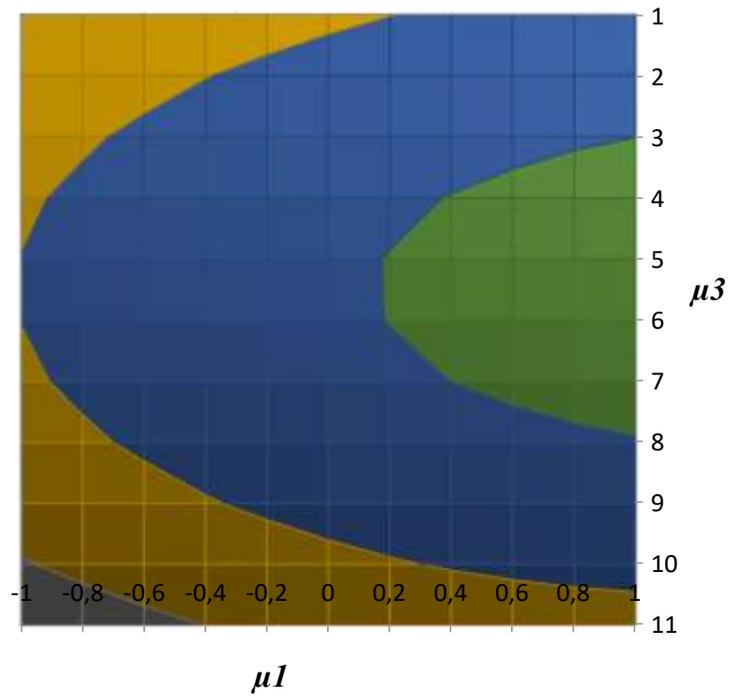


Рисунок 4.10 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,27; \mu_3) \rightarrow \max$$

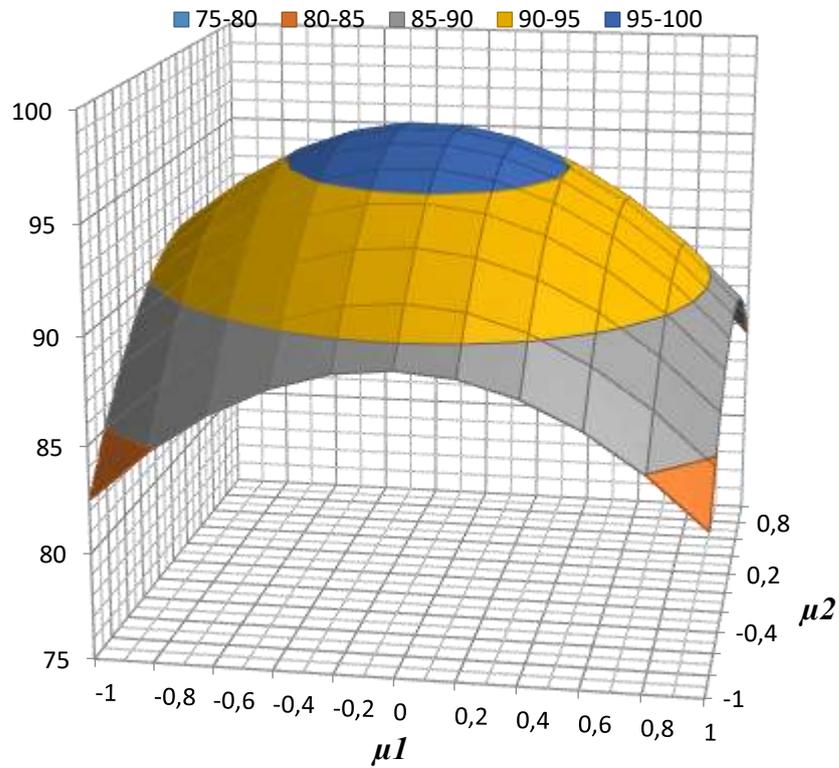


Рисунок 4.11 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,14) \rightarrow \max$$

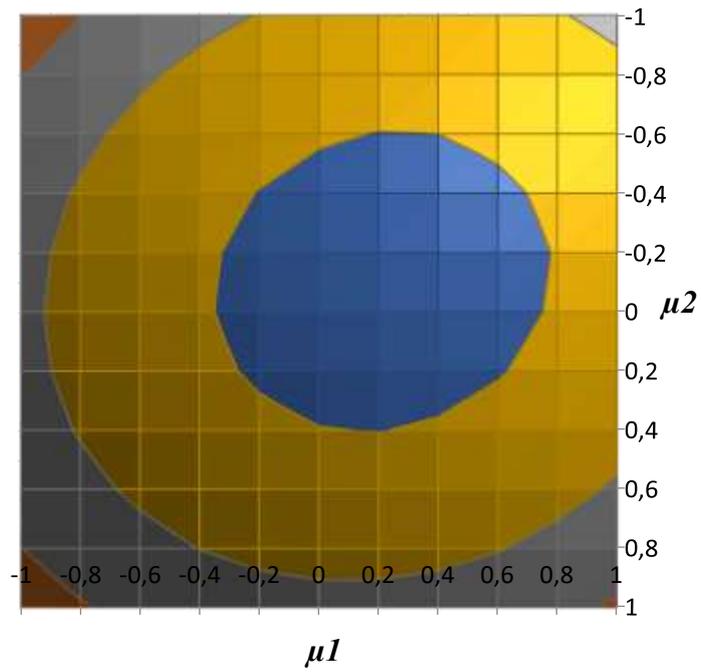


Рисунок 4.12 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_2 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,14) \rightarrow \max$$

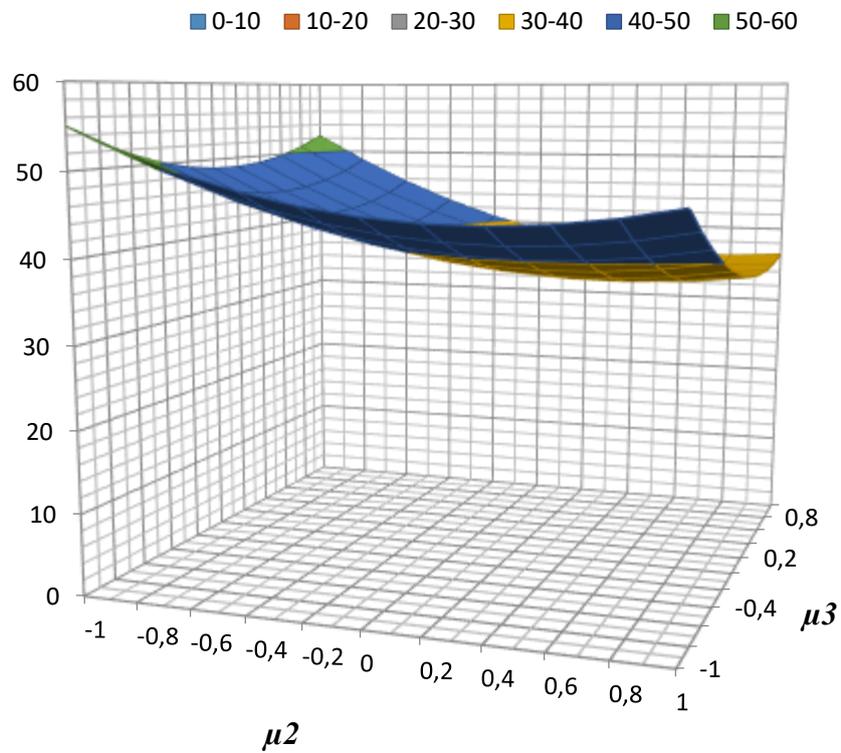


Рисунок 4.13 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1 = 0,99; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \min$$

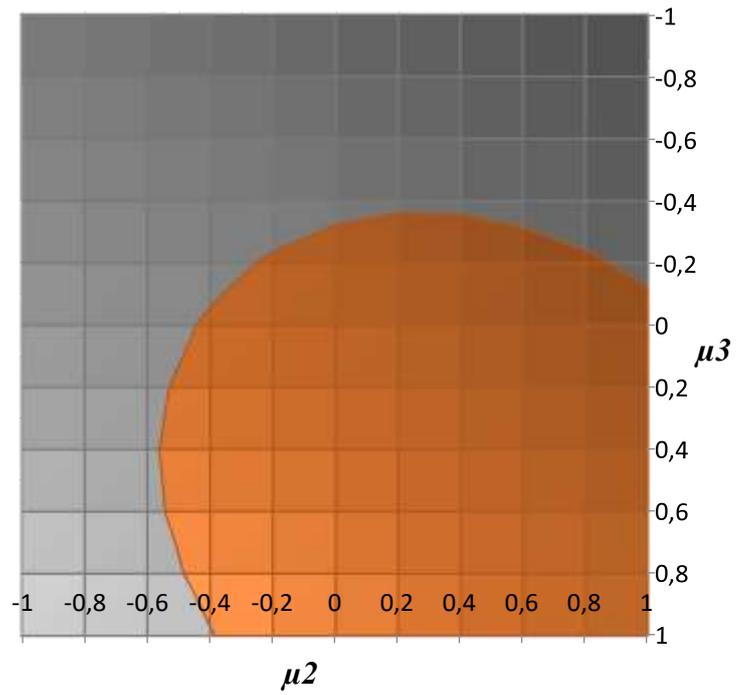


Рисунок 4.14 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1 = 0,99; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \min$$

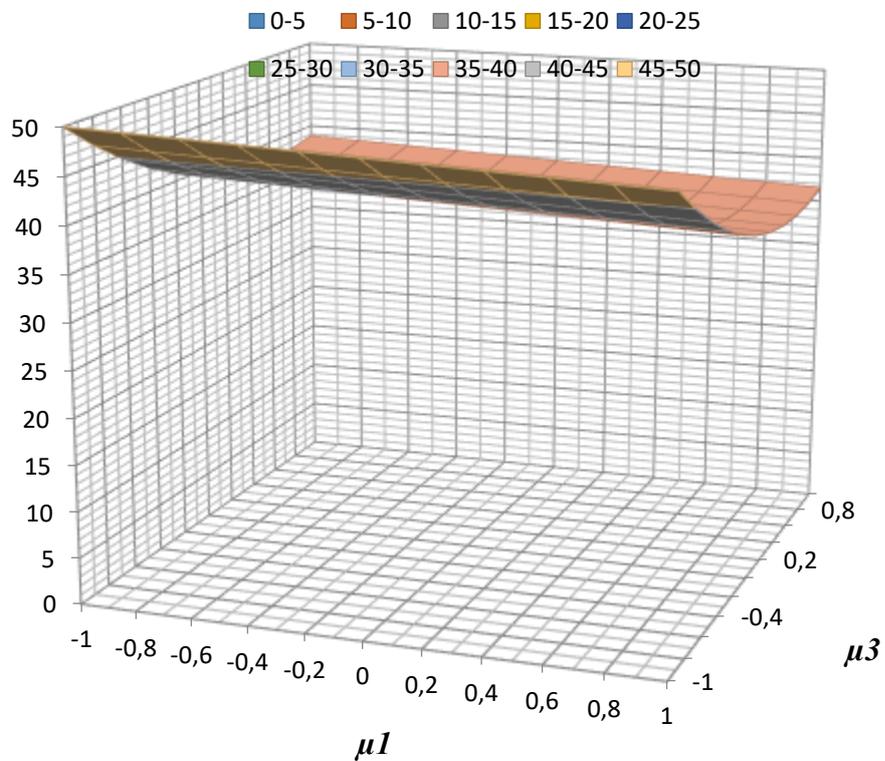


Рисунок 4.15 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1; \mu_2 = 1,02; \mu_3) \rightarrow \min$$

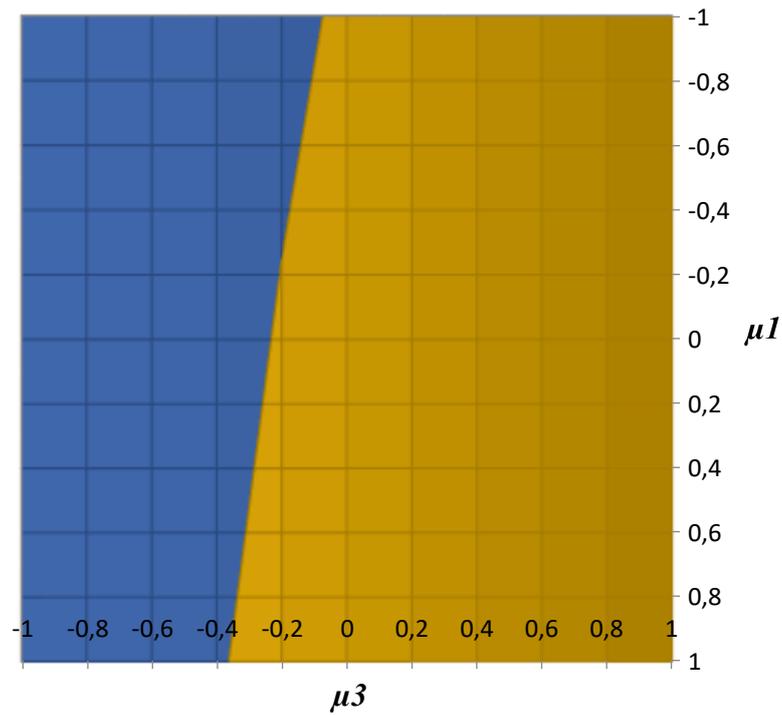


Рисунок 4.16 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1; \mu_2 = 1,02; \mu_3) \rightarrow \min$$

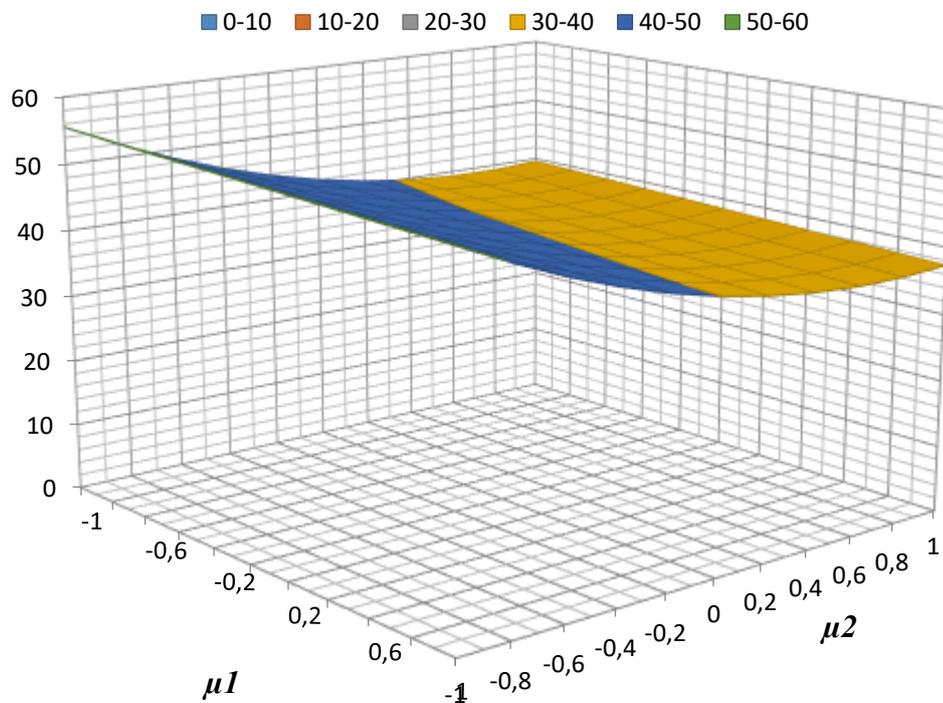


Рисунок 4.17 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,03) \rightarrow \min$$

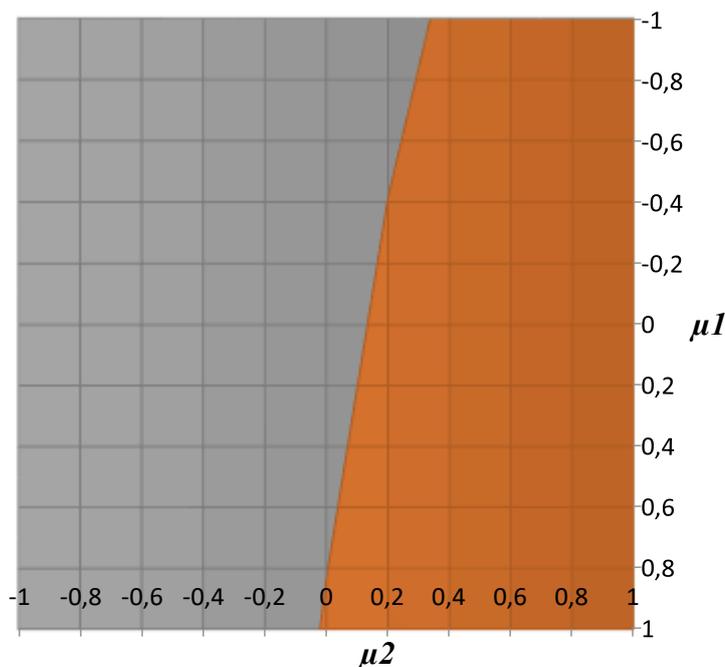


Рисунок 4.18 – Результаты графического анализа для зависимости

$$B_3 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,03) \rightarrow \min$$

Анализ данных с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_1=0,968$, $R_2=0,955$ и $R_3=0,957$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$ (таблица 4.6). Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, $0,05$, то есть $p_1 = 0,01$, $p_2 = 0,03$ и $p_3 = 0,03$, а это означает, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R_{1-3}^2 находится в пределах больших чем $0,8 - 0,95$ (таблица 4.5), то можно говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

На третьем этапе исследований установились зависимости $v_i = f(\lambda)$ для конкретного вида зерна.

Полученные зависимости приведены на рисунке 4.19.

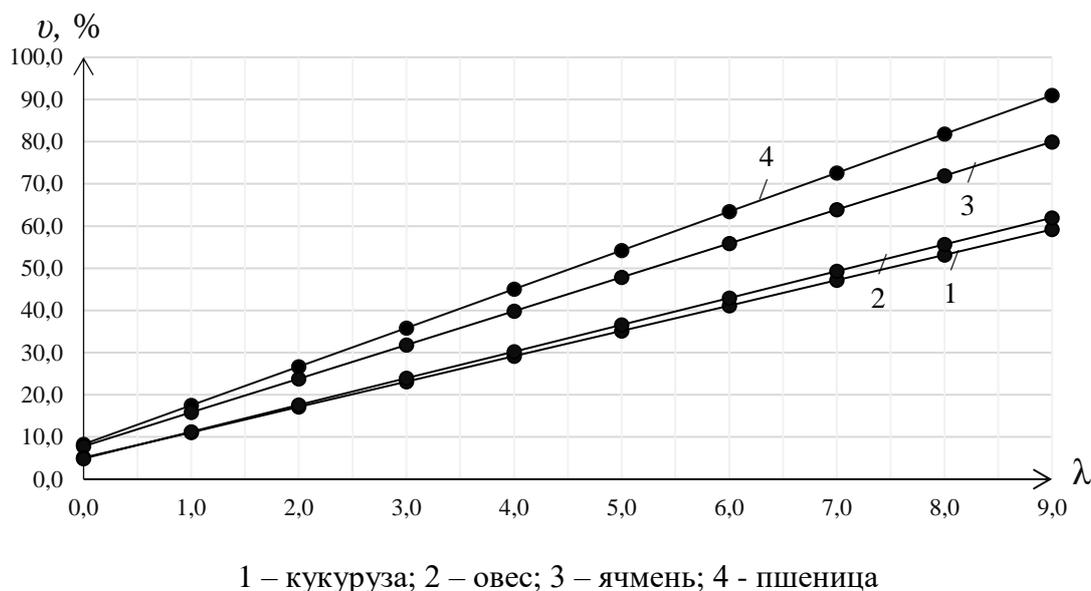


Рисунок 4.19 – Зависимости однородности гранулометрического состава частиц в составе корнеплодно-зерновой композиции

Математическая обработка представленных зависимостей, с помощью метода наименьших квадратов [22], позволила получить следующие эмпирические уравнения:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= 8,3 + 9,19 \cdot \lambda; \\ v_2 &= 7,8 + 8,02 \cdot \lambda; \\ v_3 &= 5,1 + 6,01 \cdot \lambda; \\ v_4 &= 4,9 + 6,34 \cdot \lambda \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Решение полученных функциональных зависимостей относительно неизвестного параметра λ дает следующие экспериментальные модели оценки процессов измельчения и гомогенизации корнеплодно-зерновой композиции:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= 0,108v_1 - 0,903; \\ \lambda_2 &= 0,124v_2 - 0,972; \\ \lambda_3 &= 0,166v_3 - 0,848; \\ \lambda_4 &= 0,157v_4 - 0,772 \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

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

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

В таблице 4.8 представлены данные по факторной зависимости и числовые значения.

Таблица 4.8 – Факторы и пределы их изменения при изучении процесса формования

Уровневая градация	Числовые значения		
	μ_1/l^c мм	$\mu_2/\Delta d$, мм	μ_3/ω_n с ⁻¹
Верхняя	40,000	14,000	10,000
Основная	30,000	12,000	9,500
Нижняя	20,000	10,000	9,000
Интервальный диапазон (E)	10,000	2,000	0,500

В таблице 4.9 представлена стандартная матрица реализации трехфакторного эксперимента с полученными данными.

Таблица 4.9 – Стандартная матрица эксперимента и данные по результатам опытов

Но- мер опыта	Факторы в кодирован- ной форме			Факторы в натуральной форме			Искомый параметр в виде показателя:		
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_1/l^c	$\mu_2/\Delta d$	μ_3/ω_n	B_4/θ_B , %	B_5/Pr	$B_6/N_э$, кВт·ч т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1,0	-1,0	1,0	20,000	10,000	10,000	86,000	77,000	$0,424 \cdot 10^2$
2	1,0	-1,0	-1,0	40,000	10,000	9,000	81,000	76,000	$0,405 \cdot 10^2$
3	-1,0	1,0	-1,0	20,000	14,000	9,000	86,000	78,000	$0,430 \cdot 10^2$
4	1,0	1,0	1,0	40,000	14,000	10,000	77,000	84,000	$0,458 \cdot 10^2$
5	-1,0	-1,0	-1,0	20,000	10,000	9,000	73,000	70,000	$0,413 \cdot 10^2$
6	1,0	-1,0	1,0	40,000	10,000	10,000	81,000	89,000	$0,436 \cdot 10^2$
7	-1,0	1,0	1,0	20,000	14,000	10,000	93,000	77,000	$0,409 \cdot 10^2$
8	1,0	1,0	-1,0	40,000	14,000	9,000	78,000	79,000	$0,467 \cdot 10^2$
9	-1,215	0,0	0,0	17,850	12,000	9,500	97,000	73,000	$0,420 \cdot 10^2$
10	+1,215	0,0	0,0	42,510	12,000	9,500	91,000	85,000	$0,453 \cdot 10^2$
11	0,0	-1,215	0,0	30,000	9,570	9,500	92,000	78,000	$0,402 \cdot 10^2$
12	0,0	+1,215	0,0	30,000	14,502	9,500	89,000	88,000	$0,400 \cdot 10^2$
13	0,0	0,0	-1,215	30,000	12,000	8,8745	92,000	89,000	$0,394 \cdot 10^2$
14	0,0	0,0	+1,215	30,000	12,000	10,1255	95,000	93,000	$0,380 \cdot 10^2$
15	0,0	0,0	0,0	30,00	12,000	9,500	96,500	95,000	$0,3508 \cdot 10^2$

В таблицах 4.10 – 4.12 приведены обработанные статистические данные.

Таблица 4.10 – Данные по регрессионному анализу зависимостей

$$B_{4-6} = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max(\min)$$

Показатель	Показатель стандартного отклонения - σ	Показатель в виде R-корреляции	Показатель в виде коэффициента детерминации R^2	Показатель в виде F-критерия (Фишера)	Значимость F-критерия (P=0,95)
$B_4 \rightarrow \max$	0,8220	0,9680	0,9600	8,180	0,0200
$B_5 \rightarrow \max$	0,8110	0,9660	0,9330	7,690	0,0200
$B_6 \rightarrow \min$	0,7660	0,9570	0,9160	6,100	0,0300

Таблица 4.11 – Данные по результатам регрессионного анализа

Кри-терий	t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{11}	t_{22}	t_{33}	Заключение об адекватности	
											F_R	F_T
B_4	100,60	-2,520	0,920	2,040	-3,380	-2,630	-0,880	-5,210	-7,60	-5,390	8,180	3,590
B_5	92,190	3,770	1,710	2,60	-1,250	1,50	-2,00	-8,110	-5,43	-0,220	7,690	3,590
B_6	36,970	1,150	0,740	-	1,020	0,40	-0,90	3,970	1,61	0,710	6,100	3,590

Установленные математические модели, характеризующие процесс получения прессованно-формованных брикетов:

– в кодированном виде:

$$B_4 = 100,600 - 2,520 \cdot \mu_1 + 0,920 \cdot \mu_2 + 2,040 \cdot \mu_3 - 3,380 \mu_1 \cdot \mu_2 - 2,630 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 - 0,880 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 - 5,210 \cdot \mu_1^2 - 7,60 \cdot \mu_2^2 - 5,390 \mu_3^2 \rightarrow \max; \quad (4.9)$$

$$B_5 = 92,1900 + 3,770 \cdot \mu_1 + 1,710 \cdot \mu_2 + 2,600 \cdot \mu_3 - 1,250 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 1,50 \mu_1 \cdot \mu_3 - 2,000 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 - 8,110 \cdot \mu_1^2 - 5,430 \cdot \mu_2^2 - 0,220 \cdot \mu_3^2 \rightarrow \max; \quad (4.10)$$

$$B_6 = 36,9700 + 1,150 \cdot \mu_1 + 0,740 \mu_2 + 1,020 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 0,40 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 - 0,90 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 + 3,970 \cdot \mu_1^2 + 1,610 \cdot \mu_2^2 + 0,710 \cdot \mu_3^2 \rightarrow \min \quad (4.11)$$

– в раскодированной форме:

$$\theta_B = -2513,590 + 9,890 \cdot l_c + 59,460 \cdot \Delta d + 440,160 \cdot \omega - 0,170 \cdot l_c \cdot \Delta d - 0,530 \cdot l_c \cdot \omega - 0,880 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,050 \cdot l_c^2 - 1,90 \cdot \Delta d^2 - 21,570 \cdot \omega^2 \rightarrow opt; \quad (4.12)$$

$$G = -493,100 + 3,150 \cdot l_c + 54,340 \cdot \Delta d - 0,060 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,30 \cdot l_c \cdot \omega - 2,000 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,080 \cdot l_c^2 - 1,360 \cdot \Delta d^2 \rightarrow \max; \quad (4.13)$$

$$N'_3 = 320,3700 - 3,640 \cdot l_c - 46,000 \cdot \omega + 0,050 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,080 \cdot l_c \cdot \Delta d - 0,900 \cdot \Delta d \cdot \omega + 0,040 \cdot l_c^2 + 0,400 \cdot \Delta d^2 + 2,860 \cdot \omega^2 \rightarrow \min \quad (4.14)$$

Адекватность приведенных выше моделей характеризуется наличием неравенства $F_R > F_T$ согласно таблице 4.10.

В таблице 4.12 приведены данные по области экстремума для факторов μ_1 , μ_2 и μ_3 , при которых критерии оптимизации B_{4-6} стремятся к оптимальному значению.

Таблица 4.12 - Области экстремума для полученных значений

Показатель	μ_1/l^c , мм	$\mu_2/\Delta d$, мм	μ_3/ω_n , с ⁻¹	B_{4-6}
$B_4 \rightarrow \max$	0,3500/30,000	0,3800/12,700	0,5800/9,900	96,500/96,400
$B_5 \rightarrow \max$	0,3500/30,000	0,2900/12,000	1,1200/9,700	95,000/95,000
$B_6 \rightarrow \min$	0,000/30,000	0,000/12,000	0,0300/9,500	36,900/36,400

Согласно данным, приведенным в таблице 4.12 оптимальными значениями параметров устройства на приготовлении пустотелых цилиндрических брикетов являются:

- угловая скорость ножей – $\omega_n = 9,5 \text{ с}^{-1}$;
- длина каналов (сопла) – $l^c = 30,0 \text{ мм}$;
- толщина стенки цилиндрического брикета – $\Delta d = 12,0 \text{ мм}$

при которых значения показателей равны:

$$\theta_B = 96,4 \text{ \%};$$

$$G = 95,0 \text{ \%}$$

$$N_{\text{Э}} = 36,4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$$

На рисунках 4.20 – 4.37 приведены результаты по графическому анализу полученных результатов.

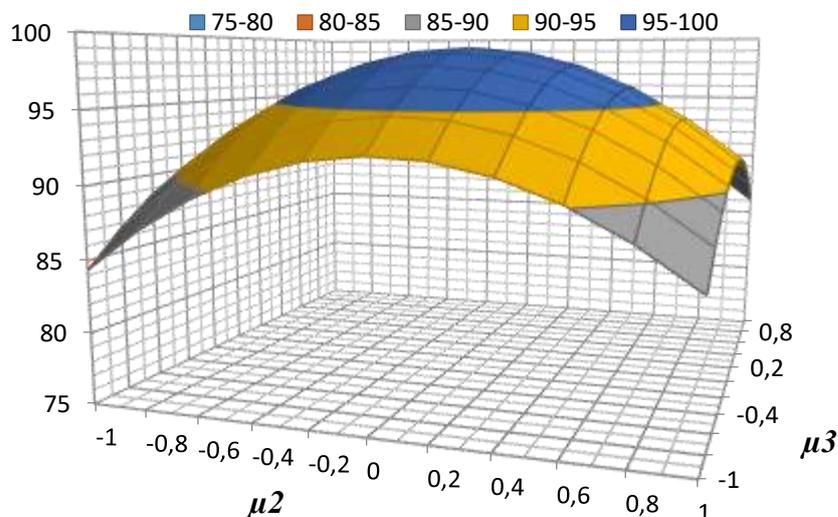


Рисунок 4.20 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_4 = f(\mu_1 = 0,35; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max$$

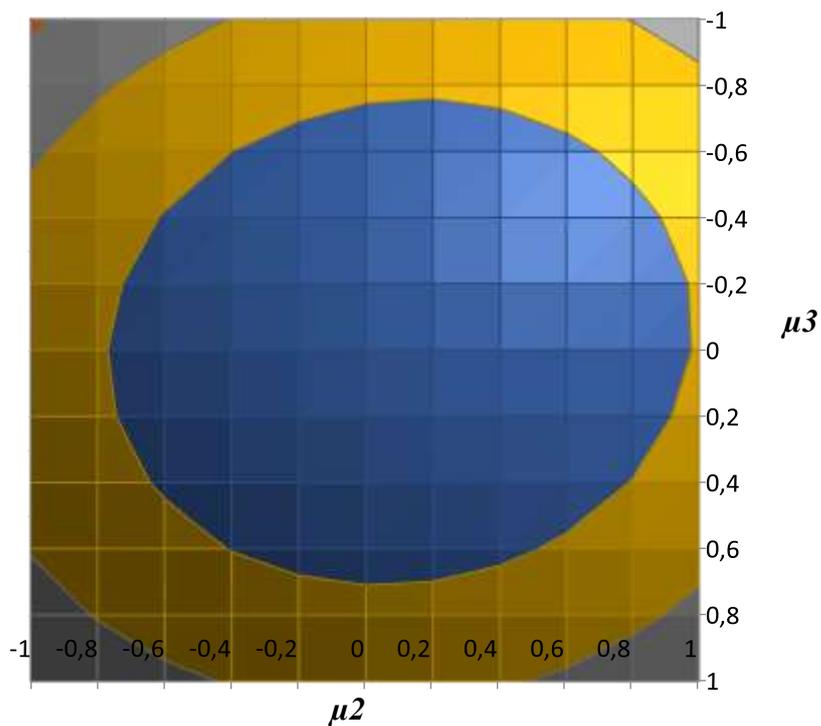


Рисунок 4.21 – Результаты графического анализа зависимости $B_4 = f(\mu_1 = 0,35; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max$

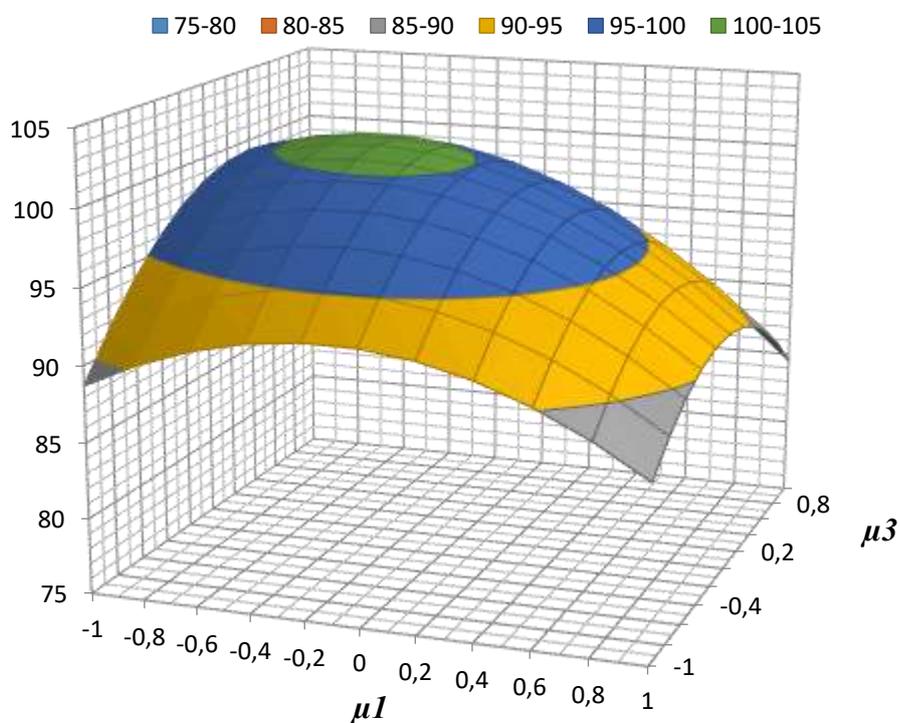


Рисунок 4.22 – Результаты графического анализа зависимости $B_4 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,38; \mu_3) \rightarrow \max$

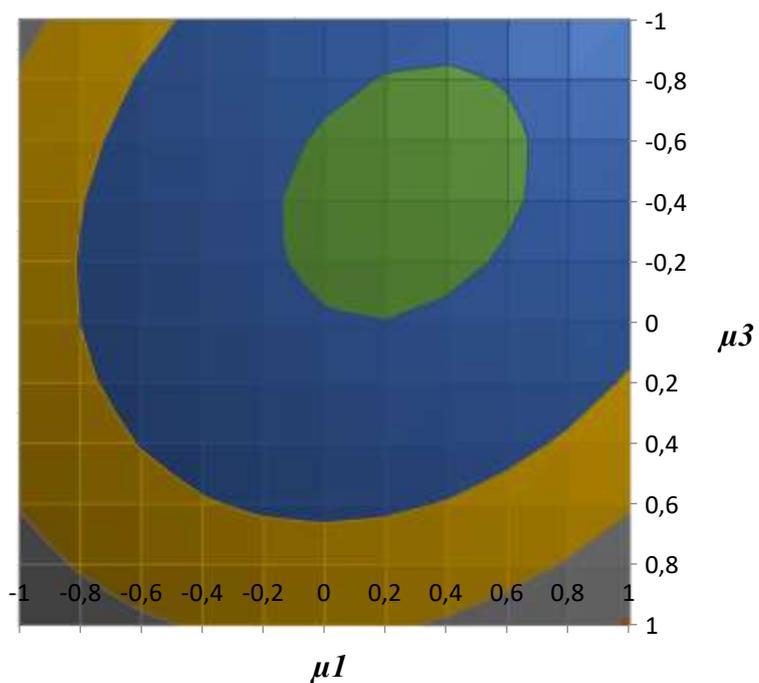


Рисунок 4.23 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_4 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,38; \mu_3) \rightarrow \max$$

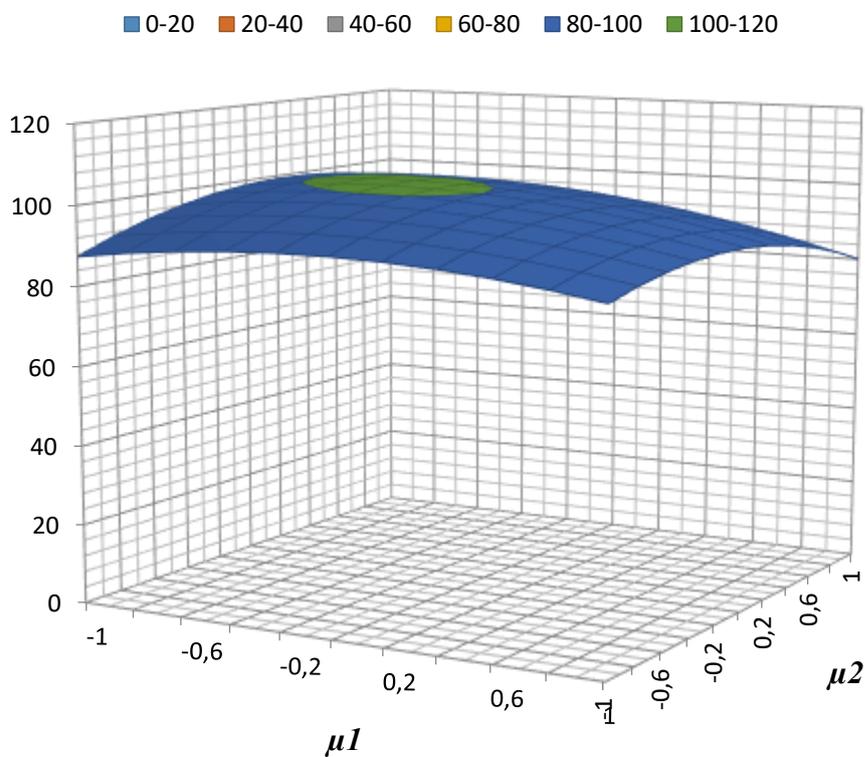


Рисунок 4.24 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_4 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 0,58) \rightarrow \max$$

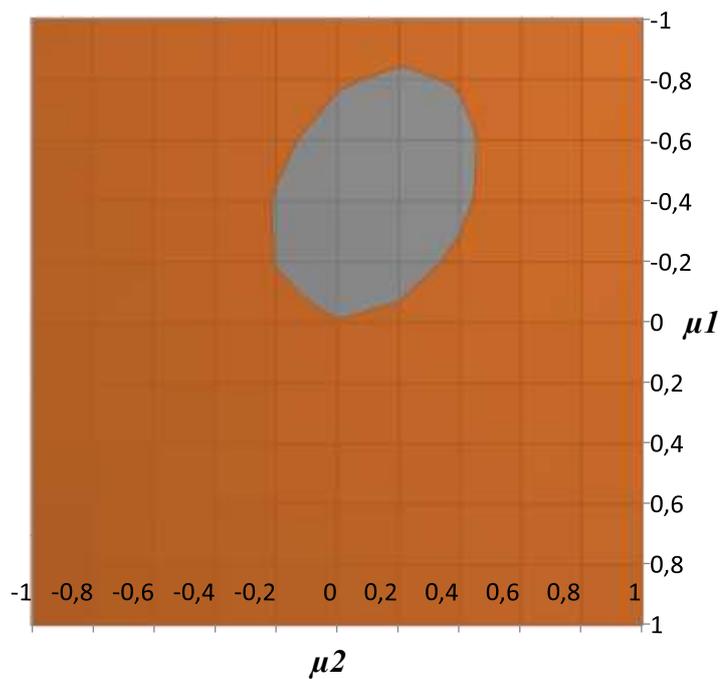


Рисунок 4.25 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_4 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 0,58) \rightarrow \max$$

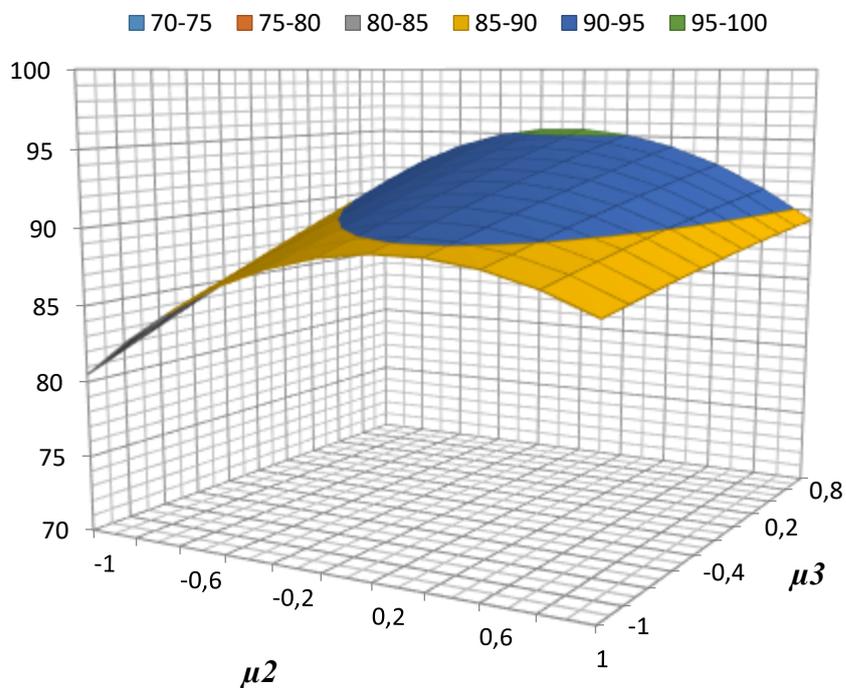


Рисунок 4.26 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1 = 0,35; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max$$

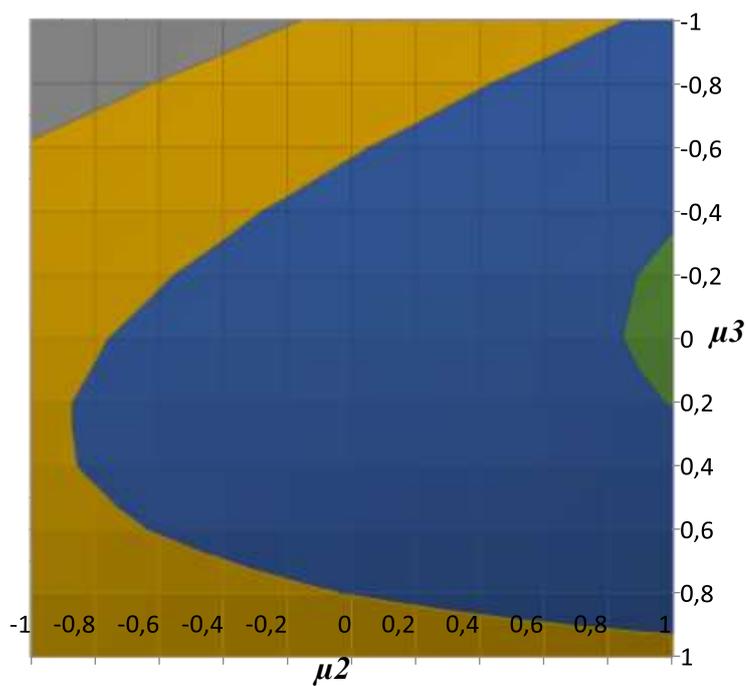


Рисунок 4.27 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1 = 0,35; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \max$$

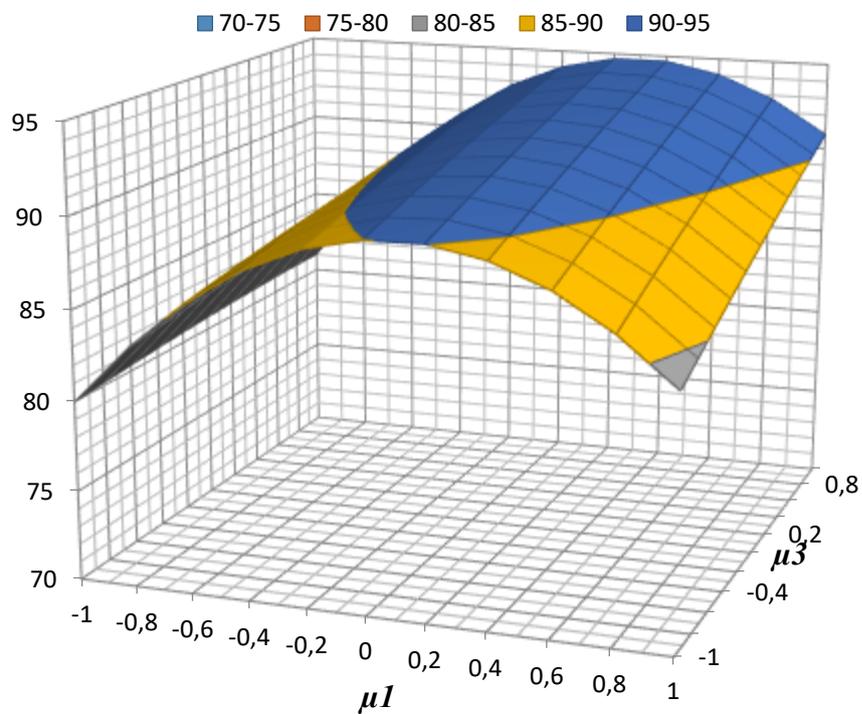


Рисунок 4.28 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,29; \mu_3) \rightarrow \max$$

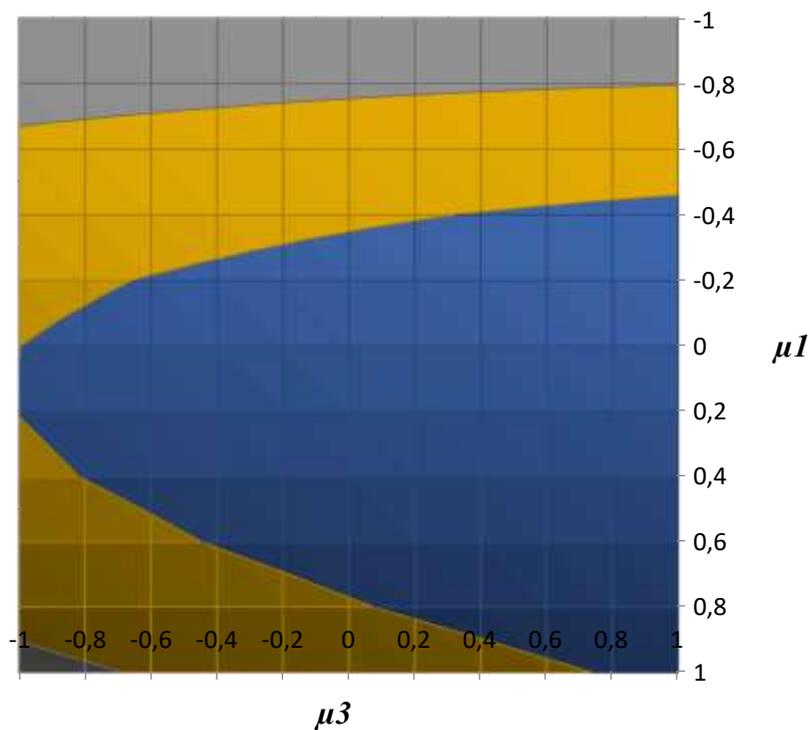


Рисунок 4.29– Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1; \mu_2 = 0,29; \mu_3) \rightarrow \max$$

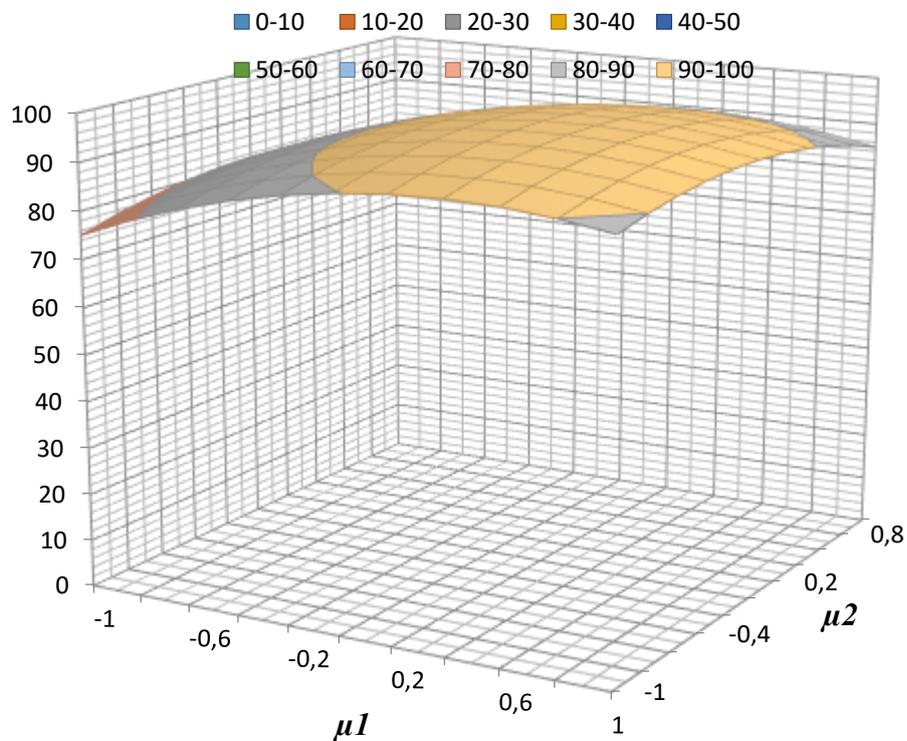


Рисунок 4.30 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,12) \rightarrow \max$$

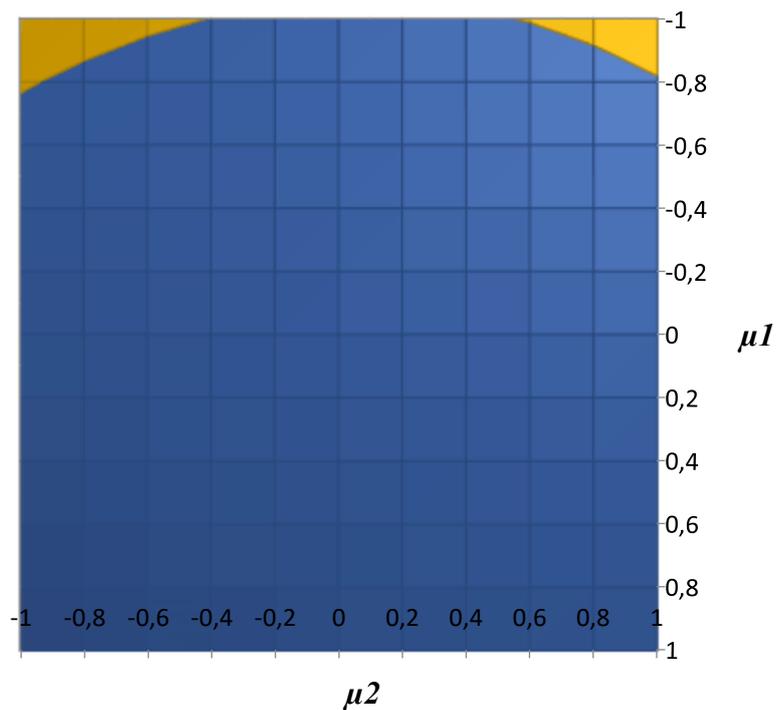


Рисунок 4.31 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_5 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 1,12) \rightarrow \max$$

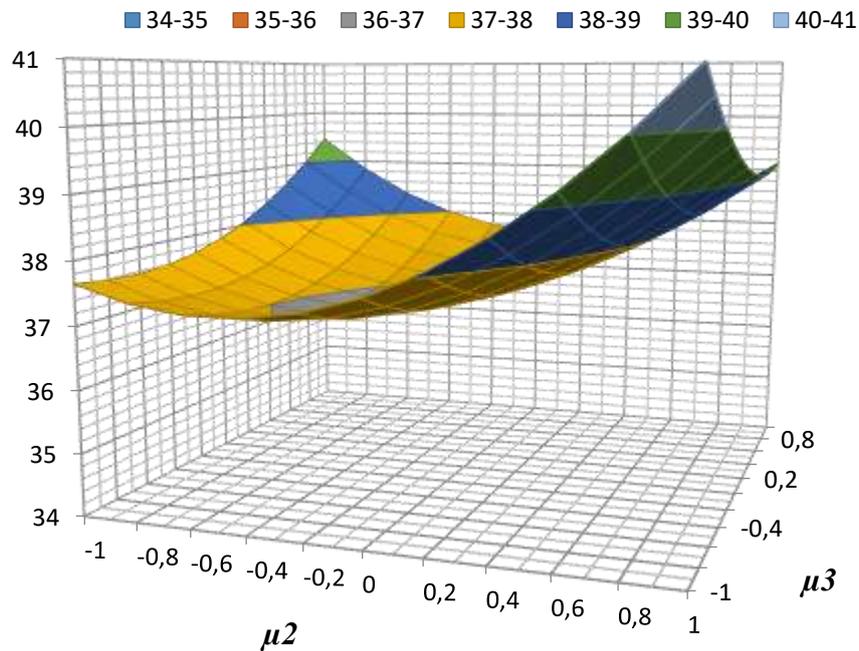


Рисунок 4.32 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1 = 0; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \min$$

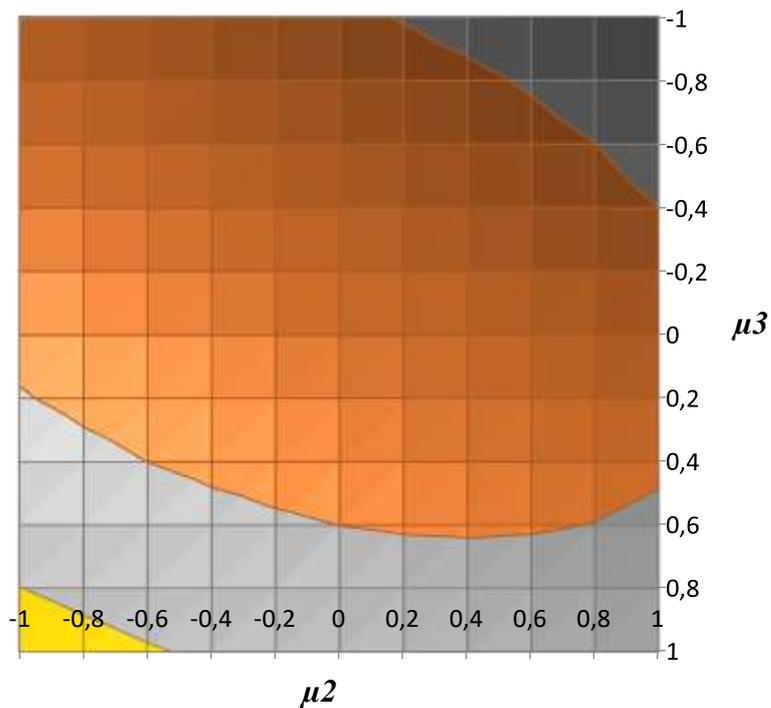


Рисунок 4.33 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1 = 0; \mu_2; \mu_3) \rightarrow \min$$

- | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ■ 33-34 | ■ 34-35 | ■ 35-36 | ■ 36-37 | ■ 37-38 | ■ 38-39 |
| ■ 39-40 | ■ 40-41 | ■ 41-42 | ■ 42-43 | ■ 43-44 | |

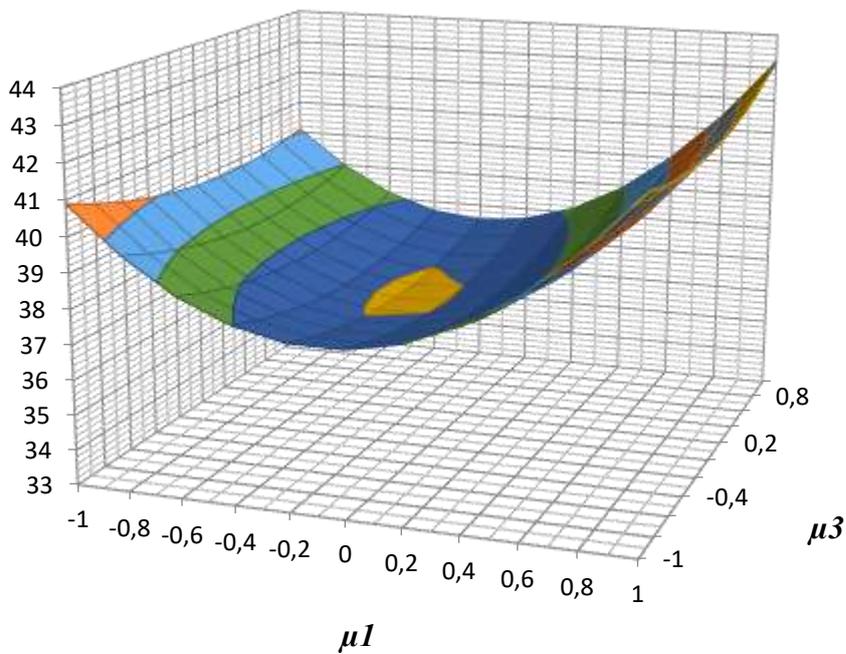


Рисунок 4.34 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1; \mu_2 = 0; \mu_3) \rightarrow \min$$

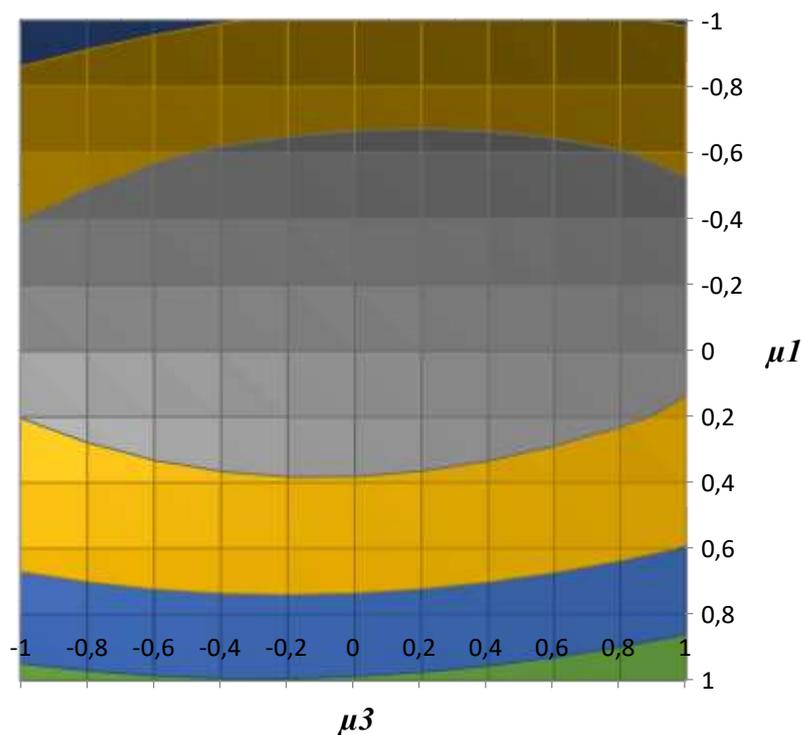


Рисунок 4.35 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1; \mu_2 = 0; \mu_3) \rightarrow \min$$

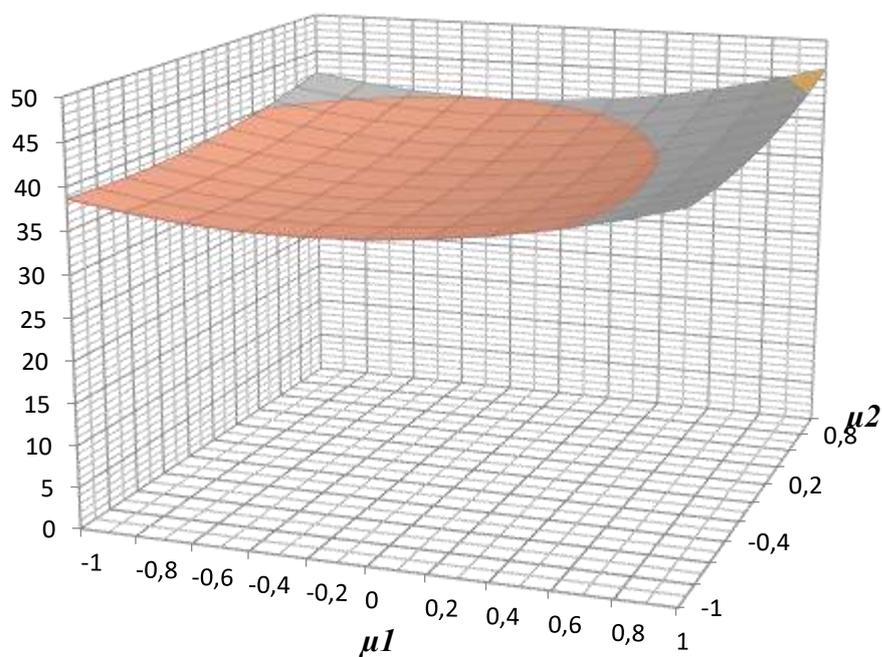


Рисунок 4.36 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 0,03) \rightarrow \min$$

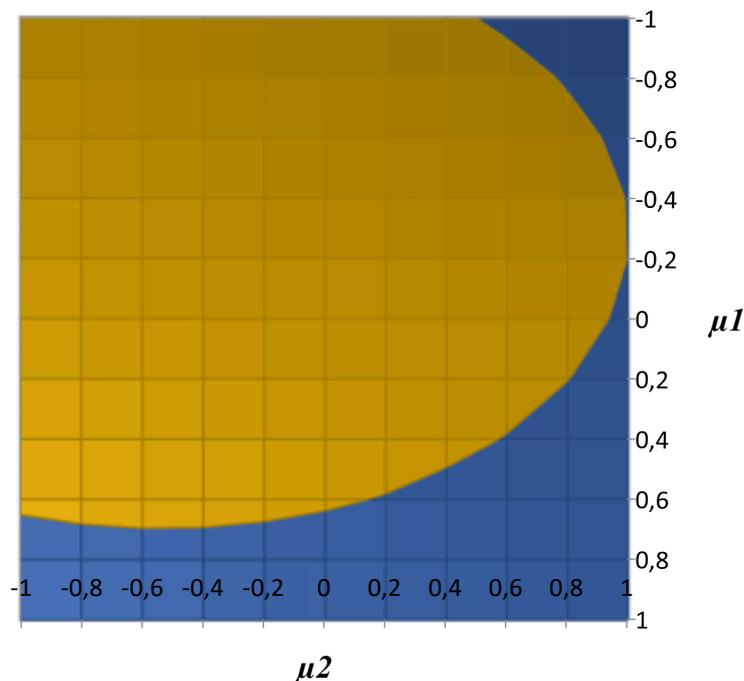
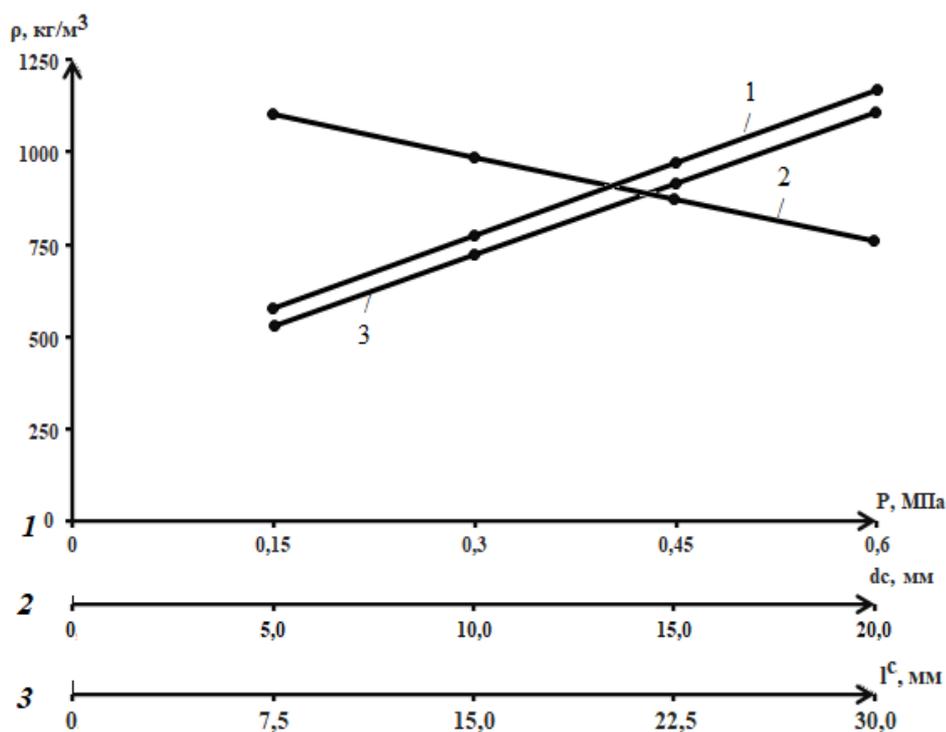


Рисунок 4.37 – Результаты графического анализа зависимости

$$B_6 = f(\mu_1; \mu_2; \mu_3 = 0,03) \rightarrow \min$$

Анализ данных с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_4=0,968$, $R_5=0,966$ и $R_6=0,957$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$ (таблица 4.10). Достоверность моделей также оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше $0,05$, то есть $P_4 = 0,02$, $P_5 = 0,02$ и $P_6 = 0,03$, а это означает, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью этого процесса также характеризует коэффициент детерминации (R^2), а поскольку R_{4-6}^2 находится в пределах больших чем $0,8 - 0,95$ (таблица 4.9) то можно также говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

На данном этапе исследований также установлены зависимости плотности сформованного продукта ρ от давления прессования P , диаметра – d_c и длины формирующих каналов – l^c (рисунок 4.36).



$$1 - \rho = f(P); 2 - \rho = f(d_c); 3 - \rho = f(l^c)$$

Рисунок 4.38 – Зависимости плотности гранул от соответствующих параметров процесса – P , d_c , l^c

В результате математической обработки методом наименьших квадратов [51] и проведенной аппроксимации графических зависимостей (рисунок 4.20) получены следующие эмпирические уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= 520 + 1150P; \\ \rho_2 &= 1100 - 23,3d_c; \\ \rho_3 &= 415 + 35,30l^c \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

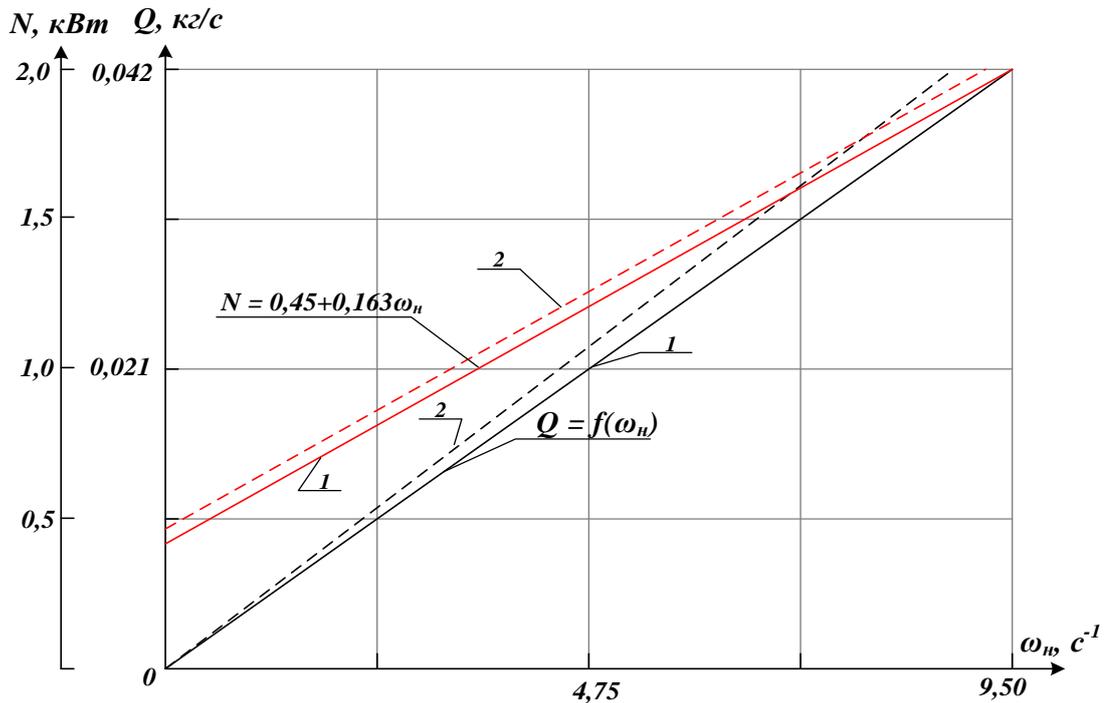
Их решение относительно неизвестных параметров P , d_c и l^c дает зависимости следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} P &= 0,00086[\rho_1] - 0,45; \\ d_c &= 47,2 - 0,043[\rho_2]; \\ l^c &= 0,028[\rho_3] - 11,750 \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

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

На рисунке 4.39 представлены экспериментальные и теоретические зависи-

мости, характеризующие линейный рост затрат мощности – N и производительности – Q предложенного устройства при увеличении угловой скорости ножа – ω_n .



1 – экспериментальные;

2 – теоретические по формулам (2.48) и (2.103)

Рисунок 4.39 – Зависимости затрат энергии (мощности) – N и производительности Q от угловой скорости ножа – ω_n

$$\text{- для } \Delta_Q = \left(1 - \frac{0,040}{0,042}\right) \cdot 100\% = \pm 4,8\%;$$

$$\text{- для } \Delta_N = \left(1 - \frac{1,55}{1,60}\right) \cdot 100\% = \pm 3,2\%$$

Данные эксперимента обработаны методом наименьших квадратов [19].

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

$$N = 0,45 + 0,163 \omega_n, \quad (4.17)$$

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

Сходимость по теоретическим и экспериментальным данным составляет $\Delta'_Q \pm 4,8\%$ и $\Delta'_N \pm 3,2\%$ соответственно.

Выводы по главе

1. В результате эксперимента определены физико-механические показатели фуражного зерна и корнеклубнеплодов.

Установлено, что размерные характеристики семян, а также корнеплодов изменяются в относительно широких пределах их значений, что следует учитывать при разработке, проектировании и конструировании технических средств для получения прессованно-формованных корнеплодно-зерновых продуктов;

2. По процессу трансформации исходной корнеплодно-зерновой композиции, посредством предложенного технического средства, получены математические модели его оценки по таким критериям как степень измельчения – λ , б/р, однородность смеси – Θ , % и удельные затраты энергии (энергоемкость) – $N_э, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

На основании полученных моделей установлены оптимальные значения параметров устройства, которые равны:

- угловая скорость винта – $\omega_в = 9,5 \text{ с}^{-1}$;
- диаметр отверстий пассивного ножа – решетки – $d_0 = 4,0 \text{ мм}$;
- коэффициент «живого» сечения решетки – $Rж = 3,5-4,1$, б/р.

При данных значениях параметров, величина критериев оптимизации составила:

- степень измельчения продуктов в корнеплодно-зерновой композиции – $\lambda = 8,4$, б/р;
- однородность состава измельченной корнеплодно-зерновой композиции – $\Theta = 96,6 \%$;
- удельные затраты энергии (энергоемкость) – $N_э = 36,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

3. Экспериментально установлены зависимости, характеризующие процесс измельчения по следующим показателям:

неоднородность гранулометрического состава частиц – ν , %, от степени измельчения – λ (формула (4.7));

4. По процессу формования гранул и брикетов на основе тыквенно-ячменной

композиции определены математические модели оценки получения прессованно-формованных изделий в виде достоверных уравнений регрессии.

Решение данных уравнений позволило получить оптимальные значения параметров:

- угловая скорость винта (ножа) – $\omega_n = 9,5 \text{ с}^{-1}$;
- длина канала – $l^c = 30,0 \text{ мм}$;
- толщина стенки цилиндрического брикета – $\Delta d = 12,0 \text{ мм}$.

Значения оценочных показателей при данных величинах параметров равны:

- однородность $\theta_B = 96,4 \%$;
- прочность $G = 95,0 \%$
- энергоёмкость $N_{\text{э}} = 36,4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$.

5. Получены зависимости плотности – ρ , кг/м^3 от давления – P , МПа, диаметра канала – d_c , мм и длины формирующих каналов l^c , мм. Путем преобразования данных зависимостей относительно указанных параметров, получены расчетные формулы для их определения (формула 4.15 и 4.16).

6. Установлено, что зависимости производительности – Q и затрат энергии – $N_{\text{э}}$ предложенного технического средства от угловой скорости ножей – ω_n носят линейный функциональный характер.

При этом, зависимость $N_{\text{э}} = f(\omega_n)$ аппроксимирована выражением в виде формулы (4.17).

Расхождение по теоретическим и экспериментальным данным находится в пределах $\Delta'_Q \pm 4,8 \%$ и $\Delta'_N \pm 3,2 \%$.

5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ЛИНИИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРЕССОВАННО-ФОРМОВАННЫХ ПРОДУКТОВ КРОЛИКАМ НА ОСНОВЕ КОРНЕПЛОДНО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

5.1 Условия проведения производственной проверки основных результатов исследований

Производственная проверка основных результатов исследований проводилась в ЛПХ «Амурский кролик» Благовещенского района, АО «МТС» Михайловского района, ООО «МиС Агро» Серышевского района Амурской области. В качестве гранулированного продукта готовилась тыквенно-ячменная или корнеплодно-зерновая композиции в соответствии с технологической и аппаратурной схемами, приведенными на рисунках 5.1 – 5.3 [29,30].

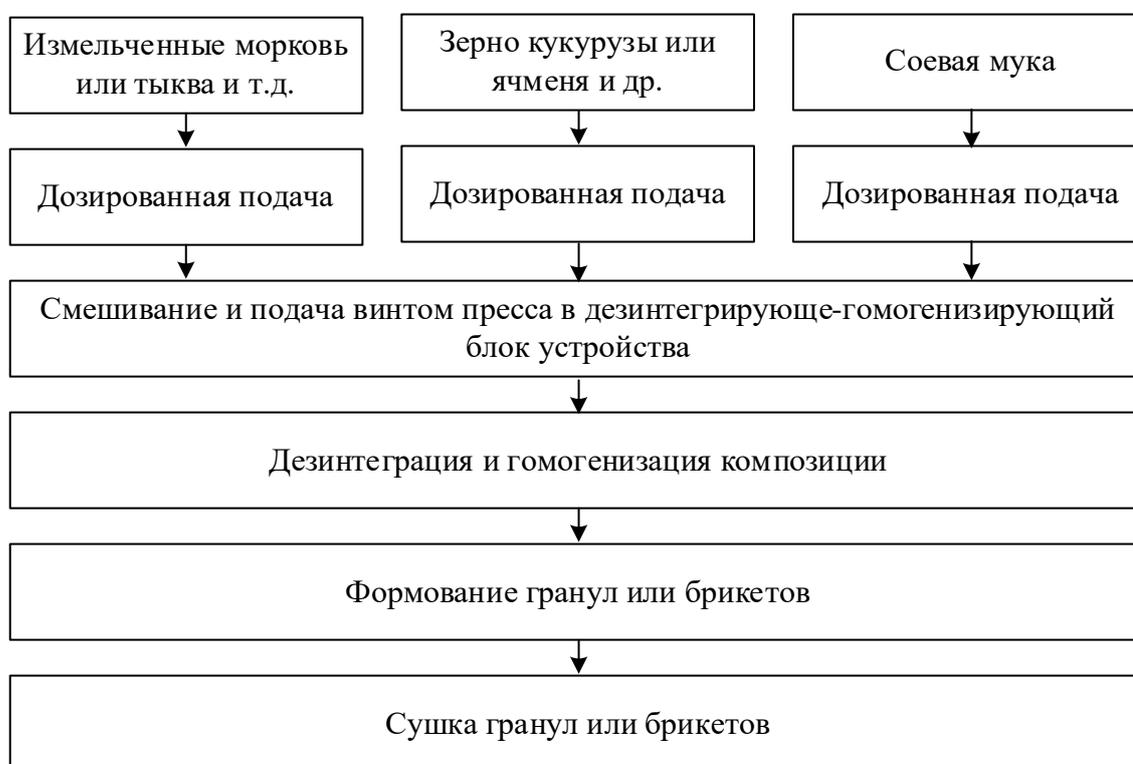
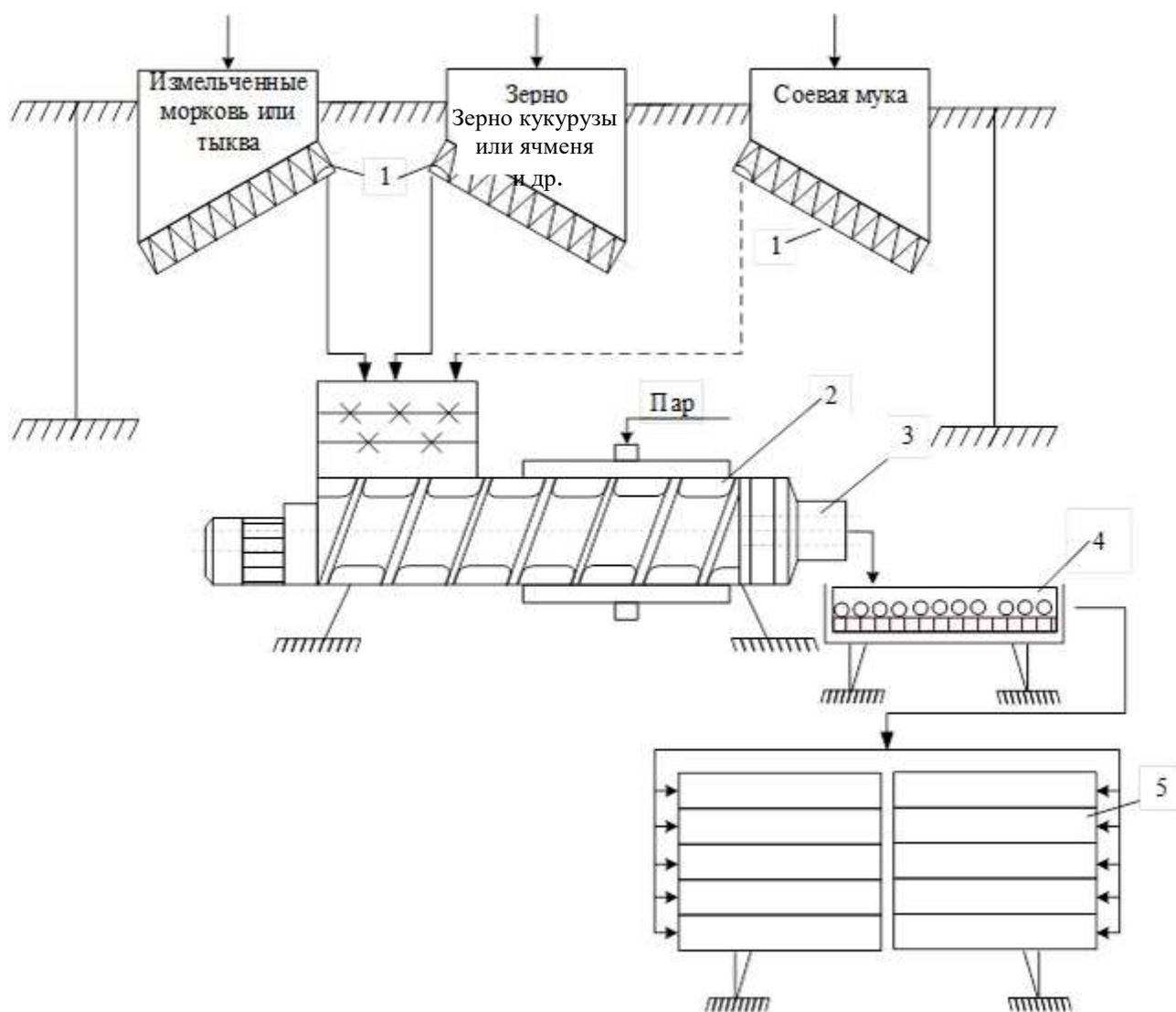


Рисунок 5.1 – Технологическая схема производства корнеплодно-зерновых
прессованно-формованных продуктов кроликам



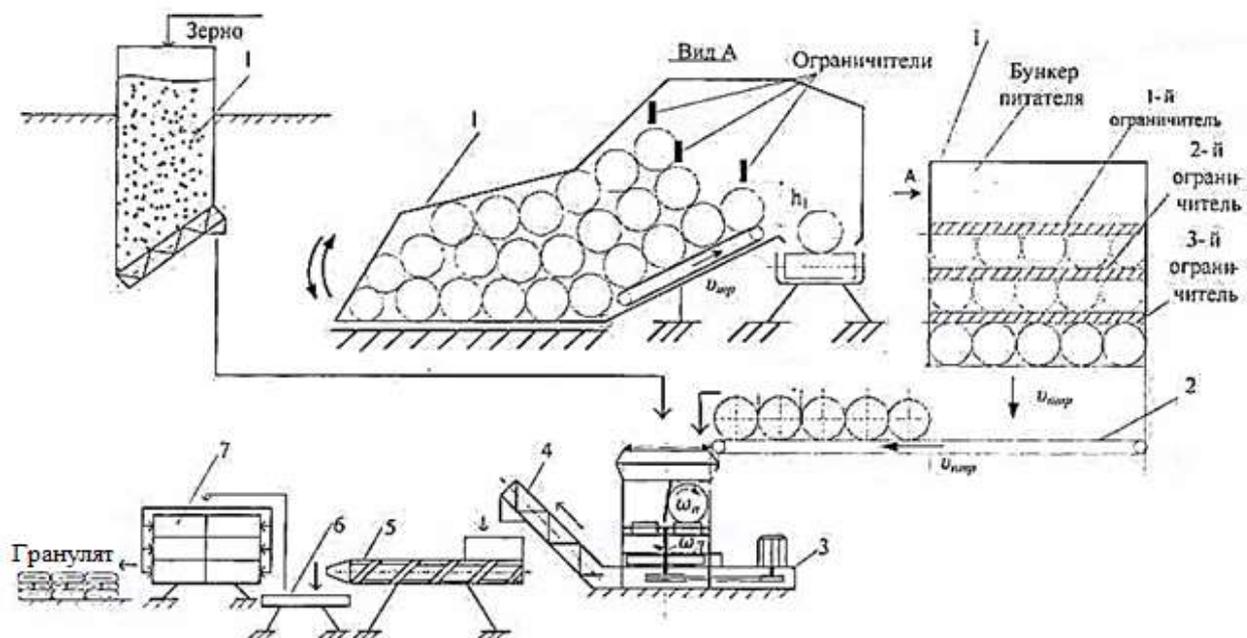
1- бункера-питатели-дозаторы; 2 - прессующее устройство; 3 – прессующе-формующий узел;
4 – сборный лоток; 5 - сушильная камера «ЭСПИС-4»-Универсал

Рисунок 5.2 – Аппаратурная схема производственной линии по получению прессованно-формованных продуктов на основе корнеплодно-зернового сырья

На рисунке 5.3 представлена аппаратурная схема приготовления прессованно-формованных продуктов с использованием корнеплодно-зернового сырья.

Производственной проверкой основных результатов исследований установлено, что предложенные способы приготовления тыквенно-ячменных и корнеплодно-зерновых прессованно-формованных кормовых продуктов, реализуемые посредством предложенного устройства, позволяют получить витаминно-углевод-

ные продукты, отвечающие зоотехническим требованиям по влажности и прочности гранул и брикетов (Приложение 14).



- 1 – питатель сырья; 2 – транспортер; 3 – дисково-ножевой измельчитель-смеситель;
 4 – транспортер; 5 – прессующее устройство, 6 – лоток сборный;
 7 – сушильная камера «ЭСПИС-4»-Универсал

Рисунок 5.3 – Аппаратурная схема производственной линии прессованно-формованных продуктов на основе предложенных композиций

5.2 Техничко-экономическая эффективность основных результатов исследований

Определение технико-экономической эффективности проводили на основе сравнительной оценки [99, 100]. В этой связи за базовый вариант была принята технология получения гранул на основе комбикорма, смешанного с мелассой. Для этой цели используется линия, скомпонованная на основе машин Б6-ДАК и Б6-ДГВ, характеристика которых приведена в литературном источнике [91].

Данным комплектом предусмотрено использование устройства для разрушения гранул и получения мелкой крупки [82].

Данные по сравнительным технико-экономическим показателям приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнительные технико-экономические показатели

№ п/п	Показатели	Ед.изм.	Сравниваемые варианты		Степень превышения, раз.
			Базовый на основе агрегатов Б6-ДАК и Б6-ДГВ	Предлагаемый на основе СПГ-150	
1	Производительность	т/ч	При Ø гранул от 4,7 мм до 19 мм 2500-4500 При Ø 2,0 - 3,0 мм неработоспособен (принимаем 120-150)	При Ø гранул 2-3 мм – 120 кг/ч и Ø 12 мм брикетов – 150 кг/ч	-
2	Установленная мощность:	кВт		-	-
2.1	Линии-мелассы Б6-ДАК		13,0	-	-
2.2	Установки Б6-ДГВ		137,5	-	-
2.3	Линии получения крупки		11,0	-	-
3	Линия подачи сырья и компонентов				
3.1	Питатель-дозатор тыквы и корнеклубнеплодов		-	6,0	-
3.2	Измельчитель-смеситель		-	5,0	-
3.3	Шнековый-транспортер		-	1,5	-
3.4	Пресс-гранулятор-брикетировщик		-	2,5	-
3.5	Сушильная камера «ЭС-ПИС-4»-Универсал		-	9,0	-
	Всего:		161,5	24,0	6,73
4	Масса оборудования	т	5,4	5,2	1,04
5	Энергоемкость	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	161,5	24,0	6,73
6	Металлоемкость	т	5,4	5,2	1,04

Годовой экономический эффект по эксплуатационным издержкам определен по ценам на 01.01.2025 г. по методикам, изложенным в работах [80 – 82].

Годовые эксплуатационные издержки по сравниваемым вариантам:

$$I_{\Sigma} = T_{И} + A_{И} + \mathcal{E}_{И} + \Phi_{И}, \quad (5.1)$$

где $T_{И}$, $A_{И}$ - издержки на текущий ремонт и амортизацию, руб.;

$\mathcal{E}_{И}$ - издержки на электроэнергию, руб.;

$\Phi_{И}$ - фонд зарплаты, руб.

Амортизационные издержки (руб./год):

$$A_{И} = (B \cdot \beta_a) / 100, \quad (5.2)$$

где B - балансовая цена, руб.;

β_a - норма амортизации, равная 12 %.

В таблице 5.2 приведены данные по известному и новому вариантам (получение корнеплодно-зернового гранулята).

Таблица 5.2 - Состав оборудования сравниваемых вариантов комплектов оборудования

№, п/п	Перечень машин	Кол-во	Установленная мощность электродвигателей, кВт	Балансовая стоимость, руб.
1	Комплект оборудования существующего	1,0		
1.1	Оборудование для ввода мелассы в комбикорм Б6-ДАК	1,0	13,0	1100000,00
1.2	Агрегат Б6-ДГВ	1,0	137,5	160500,00
1.3	Комплект получения крупки из гранул	1,0	11,0	165000,00
	Всего:	4,0	161,5	1425500,00
2	Линия на основе нового оборудования	1,0	–	–
2.1	Питатель-дозатор тыквы и корнеклубнеплодов	1,0	6,0	158000,00
2.2	Измельчитель-смеситель	1,0	5,0	189000,00
2.3	Шнековый транспортер	1,0	1,5	51000,00
2.4	Пресс-гранулятор-брикетировщик	1,0	25,5	265000,00
2.5	Сушильная камера-шкаф «ЭСПИС – 4» - Универсал	1,0	9,0	60000,00
	Всего:	5,0	24,0	723000,00

Тогда $A_{\text{Ибазовый}} = (1425500 \cdot 12) : 100 = 171060$ руб.

$A_{\text{Иновый}} = (723000 \cdot 12) : 100 = 86760$ руб.

Издержки на текущий ремонт (руб./год) по базовому и новому вариантам

$$T_{\text{И}} = (B \cdot \beta_p^m) / 100, \quad (5.3)$$

где β_p^m - издержки на текущий ремонт, равные 14 %.

$A_{\text{Ибазовый}} = (1425500 \cdot 14) : 100 = 199570,000$ руб.

$A_{\text{Иновый}} = (723000 \cdot 14) : 100 = 101220,000$ руб.

Издержки по годовому фонду зарплаты:

$$I_{\text{Ф}} = Z_p \cdot \text{ФРВ} \cdot I_p \cdot K_H \cdot K_P, \quad (5.4)$$

где Z_p – тарифная ставка, руб.;

ФРВ – фонд рабочего времени, мес.;

I_P - районный коэффициент, равный 1,5;

K_H – соответствующие начисления, равные 1,358;

K_P – количество работников, чел.;

$$I_\Phi = 30000,000 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,358 \cdot 3,92 = 2874614,40 \text{ руб.}$$

Издержки, связанные с потреблением электроэнергии:

$$I_\mathcal{E} = N_\mathcal{E} \cdot C_\mathcal{E}, \quad (5.5)$$

где $N_\mathcal{E}$ - годовое потребление электроэнергии, кВт·ч;

$C_\mathcal{E}$ - цена кВт·ч, руб.

При этом, издержки, связанные с потреблением энергии:

$$I_\mathcal{E} = \left(\sum_{i=1}^n N_H \cdot \xi_i \cdot T \right) D \cdot C_\mathcal{E}, \quad (5.6)$$

где N_H - мощность каждого из потребителей, кВт;

ξ_i – коэффициент использования номинальной мощности;

T - продолжительность функционирования потребителя в сутки;

D – продолжительность работы, дней.

$$\text{Тогда } I_{\text{Эбазовый}} = (161,5 \cdot 0,85 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 3,92 = 1374891,50 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{Эновый}} = (24,0 \cdot 0,85 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 3,92 = 204318,24 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки составят:

$$\mathcal{E}_{\text{баз}} = 171060,00 + 199570,00 + 2874614,40 + 1374891,50 = 4620135,90 \text{ руб./год.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{зн}} = 86760,00 + 101220,00 + 2874614,40 + 204318,24 = 3266912,60 \text{ руб./год.}$$

Годовой экономический эффект по разнице издержек:

$$\Delta \mathcal{E} = 4620135,90 - 3266912,60 = 1353223,30 \text{ руб./год} \quad (5.7)$$

Экономическую целесообразность производства и применения корнеплодно-зернового гранулята, определили как:

$$\mathcal{E}_{CC} = G_{kg} (k \cdot D_{1.2}), \quad (5.8)$$

где G_{kg} – годовой объем производства КЗГ;

k – коэффициент, учитывающий налоговые издержки;

$D_{1.2}$ – доход от производства и применения КЗГ, руб./т.

Доход от производства КЗГ составляет:

$$D_1 = (C_p - C_{\text{э}} - C_n), \quad (5.9)$$

а от его применения:

$$D_2 = (C'_n - C_p), \quad (5.10)$$

где C_p – цена продажи КЗГ, руб.;

$C_{\text{э}}$ – эксплуатационные издержки, руб.;

C_n – цена сырья, руб.;

C'_n – цена продукта, заменяемого предложенным гранулятом, руб.

Тогда имеем, что:

$$D_1 = (20000,00 - 4855,90 - 10000,00) = 5144,06 \text{ руб./т.};$$

$$D_2 = (25000,00 - 20000,00) = 5000,00 \text{ руб./т.};$$

$$\text{Э}_{\text{с}}^1 = 94,5 \text{ т} \cdot (0,8 \cdot 5144,06) = 388890,90 \text{ руб.};$$

$$\text{Э}_{\text{с}}^2 = 94,5 \text{ т} \cdot (0,8 \cdot 5000) = 378000,00 \text{ руб.}$$

Расчетные данные по экономической эффективности приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Данные по экономической эффективности полученных результатов

Показатели	Ед. изм.	Значения показателя
Степень снижения энергоемкости	раз.	6,73000
Степень снижения металлоемкости	-//-	1,04000
Цена оборудования:		
- с комплектами Б6-ДГВ и Б6-ДАК	рублей	1 425 500,00
- с комплектом ПГ-150	рублей	723 000,00
Эксплуатационные издержки:		
- по базовому варианту	рублей/год	4 620 135,90
- по новому варианту	рублей/год	3 266 912,60
Годовой экономический эффект по ЭЗ	рублей	784 165,25
Верхняя лимитная цена:	рублей	735 291,00
Доход производителя предложенного гранулята	рублей/т.	5 144,06
Доход потребителя предложенного гранулята	рублей/т.	5 000,00
Экономическая целесообразность производства кормов:		
- для производителя	рублей	388 890,90
- для потребителя	рублей	378 000,00

5.3 Методика инженерного расчета оборудования для приготовления прессованно-формованных кормов кроликам на основе принятого рациона

Исходными данными для расчета являются:

- 1) обслуживаемое поголовье кроликов с расчетом структуры стада;
- 2) допустимое время по зоотехническим требованиям на приготовление кормов;
- 3) разовая и суточная нормы выдачи кормов кроликам;
- 4) физико-механические показатели исходного сырья.

Необходимое разовое количество кормовых продуктов на все поголовье кроликов:

$$M_{раз} = \sum_{i=1}^u \cdot \sum_{j=1}^m a_i \cdot m_j, \quad (5.11)$$

где a_i – количество корма на одного кролика, кг.;

m_j – количество кроликов j -й половозрастной группы, шт.

Необходимый объем емкостей для i -го вида сырья и компонентов:

$$V_{пол} = \frac{M_{раз} \cdot \gamma}{\rho_i}, \quad (5.12)$$

где γ – коэффициент заполнения емкости;

ρ_i – плотность i -го вида сырья и компонентов.

Необходимая производительность базовой машины:

$$Q \geq \frac{M_{раз}}{t_{см}}, \quad (5.13)$$

где $t_{см}$ – время смены $Q \geq \sum_i^n Q_i$

По требуемой производительности прессующе-формующего устройства винтового типа рассчитываются его параметры по формуле (2.29).

Диаметр отверстий решетки и их число определяется по формуле (2.24) исходя из заданного (требуемого) значения производительности.

Степень измельчения определяется по формулам (2.20) и (2.21), а потребная мощность – по формуле (2.84).

Выводы по главе

Практикой доказано, что использование в кормлении полнорационных кормосмесей позволяет повысить продуктивность животных на 10 – 25 %, при этом

сократить срок откорма и на 10 – 15 % уменьшить расход кормов на единицу продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа данных, приведенных в литературных и патентных

источниках, а также с учетом современного тренда на использование экологически чистого местного сырья, обоснованы необходимость, возможность и целесообразность приготовления прессованно-формованных изделий с использованием корнеплодно-зерновых композиционных смесей.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- диаметр отверстий решетки – $d_0 = 4,0 \text{ мм}$;

при коэффициенте «живого» сечения решетки – $R_{ж} = 3,5-4,1$;

- длина канала – $l^c = 30,0 \text{ мм}$

при толщине стенки цилиндрического брикета – $\Delta d = 12,0 \text{ мм}$.

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

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

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

6. Технико-экономической оценкой результатов исследований показано, что по сравнению с базовым вариантом (комплект оборудования Б6-ДАК и Б6-ДГВ для получения мелассированных комбикормов) предложенные способ и устройство для его реализации позволяют снизить энергоемкость в 6,73 раза, металлоемкость – в 1,04 раза и получить годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам в размере 1353223,30 руб./год при объеме производства кормов, равном 94,5 тонны/год, с доходом для производителя кормов в сумме 5144,06 руб./т и их потребителя – 5000,00 руб./т.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

При разработке и эксплуатации оборудования, предложенного на основании

проведенных исследований, необходимо использовать значения технологических, конструктивных и режимных параметров, которые приведены в заключении данной работы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

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

СПИСОК 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. Алейникова, Л.Д. Основы кормопроизводства / Л.Д. Алейникова, Козлов Ю.С. – М.: Агропромиздат, 1988. – 191 с.
3. Алешкин, В.Р., Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 284 с.
4. Алябьев, Е.В. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Е.В. Алябьев. – М.: издательство Колос, 1977. – 315 с.
5. Андреев, П.А. На промышленную основу / П.А. Андреев. – Техника в сельском хозяйстве. – 1981. – № 11. – С. 3-5.
6. Астахов, А.С., Еленев А.В. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм / А.С. Астахов, А.В. Еленев. – М.: издательство Колос, 1977. – 120 с.
7. Бондаренко, С.П. Содержание кроликов мясных пород / С.П. Бондаренко. – М.: издательство АСТ, 2009. – 224 с.
8. Бондаренко, С.П. Содержание кроликов мясо-шкурных пород / С.П. Бондаренко. – М.: издательство АСТ, 2009. – 223 с.
9. Бондаренко, С.П. Содержание кроликов пуховых пород / С.П. Бондаренко. – М.: издательство АСТ, 2009. – 224 с.
10. Бурмага, А.В. Совершенствование процессов и средств механизации кормления крупного рогатого скота полнорационными кормовыми смесями с использованием тыквы: монография / А. В. Бурмага, С. М. Доценко. – Благовещенск: издательство ДальГАУ, 2012. – 228 с.
11. Бурмага, А. В. Повышение эффективности функционирования Производственных процессов приготовления и раздачи смесей в системе механизированного кормления КРС: автореферат / А.В. Бурмага. – Благовещенск: издательство ДальГАУ, 2014. – 48 с.
12. Бурмага, А.В. Рекомендации по разработке и использованию технологии приготовления полнорационных кормовых смесей с использованием плодов

тыквы / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. – Благовещенск: издательство ДальГАУ, 2012. – 26 с.

13. Бурмага, А.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя плодов тыквы. / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. – Красноярск: издательство Вестник КрасГАУ, 2012. – С. 153 – 158.

14. Бурмага, А.В. Размерные характеристики тыквы. / А.В. Бурмага, С.М. Доценко, Е.В. Сохимо. – Благовещенск: Сборник научных трудов ДальГАУ, 2012. – С. 24 – 27.

15. Вагин, Б.И. Практикум по механизации животноводческих ферм / Б.И. Вагин, В.М. Побединский. – Л.: Колос, 1983. – 239 с.

16. Вараксин, С.В. Использование соевой окары в технологии производства белково-углеводных кормовых продуктов для кроликов / С.В. Вараксин, В.А. Широков, П.Н. Школьников. – Лобня: Кормопроизводство, 2015. – №8. – С. 32 – 36.

17. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин – М.: Колос – 1973. – 198 с.

18. Венедиктов, А.Л. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.Л. Венедиктов, П.И. Викторов, А.П. Калашников [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1989. – 236 с.

19. Вентцель, Е.С. Теория вероятности / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 567 с.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

29. Винокуров, С.А. Обоснование способа приготовления кормовых продуктов на основе соево-корнеплодно-зерновых композиций / С.А. Винокуров

[и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 11 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. – С. 136-138. – EDN RWJZJR.

30. Винокуров, С.А. Теоретические основы процесса приготовления формованных продуктов с зерновой составляющей / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 11 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. – С. 139-144. – EDN XVEQNF.

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

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

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

34. Винокуров, С.А. Теоретический анализ работы пастоизготовителя / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х

томах, Благовещенск, 20–21 апреля 2022 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 33-39. – DOI 10.22450/9785964205470_2_4. – EDN VLPVWF.

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

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

37. Винокуров, С.А. Экспериментальные исследования процесса дезинтеграции влажного зерна пастоизготовителем / С.А. Винокуров [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 20–21 апреля 2023 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. – С. 267-274. – DOI 10.22450/9785964205401_2_267. – EDN JDBNJK.

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

39. Воякин, С.Н. Концептуальные аспекты разработки системы производства гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, В.А. Широков, В.А. Макаров // Материалы

IV Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня – Northcharleston, USA, 2014. – С. 97 – 99.

40. Воякин, С.Н. Обоснование эффективности процесса получения гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы / С.Н. Воякин, В.А. Широков, А.Н. Вишневский. – Благовещенск: издательство ДальГАУ, 2013. – С. 49 – 54.

41. Воякин, С.Н. Оценка технико-экономической эффективности процесса производства кормовых добавок / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, В.А. Широков, А.Н. Вишневский // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО». – Волгоград, 2013. – С. 49 – 54.

42. Воякин, С.Н. Повышение эффективности и функционирования системы производства гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы / С.Н. Воякин, С.М. Доценко, В.А. Широков, А.Н. Вишневский // Materials of the XXII International scientific-technical conference «Technical progress in agriculture@ and the VII All-Ukrainian conference-seminar of graduate students, doctoral candidates, and competitors in the field of agricultural engineering – Glevaha, 2013. – С. 140 – 141.

43. Воякин, С.Н. Получение гранулятов на основе соево-мясокостных и соево-рыбокостных композиций / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы в энергетике и средствах механизации АПК». – Благовещенск: издательство ДальГАУ, 2014. – С. 6 – 11 с.

44. 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.

45. Гаджимуратов, Г.Ш. Фермерское хозяйство. Рыбоводство, раководство, пчеловодство, кролиководство и пушное звероводство / Г.Ш. Гаджимуратов, М.М. Шихшабеков. – М.: издательство Феникс, 2009. – 156 с.

46. Гжиров, Р.И. Краткий справочник конструктора / Р.И. Гжиров. – Л.:

Машиностроение, 1983. – 464 с.

47. Глобин, А.Н. Результаты экспериментальных исследований вертикально-роторной дробилки зерна / А.Н. Глобин [и др.] // Активная честолюбивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. – 2022. – № 2(13). – С. 75-85. – EDN NERWYK.

48. Глобин, А.Н. Оптимизация технологий приготовления и дозирования кормов для КРС / А. Н. Глобин. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2026. – 373 с. – ISBN 978-5-4497-4744-0. – EDN OQCMYE.

49. Горюшинский, В.С. Классификация измельчителей корнеклубнеплодов / В.С. Горюшинский // Механизация заготовки, приготовления и раздача кормов: сборник научных работ. – Саратов, 1982. – С. 95 – 99.

50. Горюшинский, В.С. Теоретические исследования процесса резания корнеклубнеплодов клиновидными ножами / В.С. Горюшинский // Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов: сборник научных работ. – Саратов, 1983. – С. 24 – 33.

51. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. Том 3 / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 719 с.

52. ГОСТ 12036–85 «Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб» – М., 1986. – 13 с.

53. ГОСТ 12047–85 «Семена сельскохозяйственных культур. Правила арбитражного определения качества» – М., 1986. – 6 с.

54. ГОСТ 24055–2016 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки» – М., 2018. – 29 с.

55. ГОСТ 24059–2017 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки» – М., 2019. – 24 с.

56. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: издательство 5-ое Высшая школа, 1977. – 500 с.

57. Дектерев, Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства / Г.П. Дектерев. – М.: издательство 12-ое Агропромиздат, 1986. – 224 с.

58. Денисов, А.М. Методика лабораторных испытаний кормоприготовительных машин / А.М. Денисов – М.: Научные труды ВИЭСХ, 14 выпуск, 1964. – С. 36 – 38.
59. Дмитриченко, А.П. Методы нормированного кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко. – Л.: Колос, 1970. – 350 с.
60. Дмитриченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко, П.Д. Пшеничный. – Л.: Колос, 1975. – 480 с.
61. Доценко, С.М. Кинетическое обоснование процесса сушки белково-минерального гранулята / С.М Доценко, П.Н. Школьников, Л.А. Ковалева. – Красноярск: издательство Вестник КрасГАУ №5, 2018. – С .167 – 171.
62. Доценко, С.М. Теоретические основы рабочего процесса пресса для производства влажных гранул. Электронный ресурс / С.М Доценко, В.А. Широков, В.А. Макаров, П.Н. Школьников. – М.: АгроЭкоИнфо, 2017. – №2 – 444 с. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_202.doc.
63. Егорченков, М.И. Кормоцехи животноводческих ферм / М.И. Егорченков, Н.Г. Шамов. – М.: Колос, 1983. – 175 с.
64. Европейская таблица питательности кормов для кроликов – М.: Кролиководство и звероводство №1, 2004. – 400 с.
65. Завалишин, Ф.С. Методы исследования и механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Манцев. – М.: Колос, 1982. – 231 с.
66. Завражнов, А.И. Технологическое проектирование ферм и комплексов / А.И. Завражнов. – Алма-Ата: Кайнар, 1982 – 282 с.
67. Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
68. Земсков, В. И. Обоснование состава поточных технологических линий кормоцехов / В.И. Земсков, А.В. Алехин. – М.: Техника в сельском хозяйстве №4, 1989. – С. 23 – 24.
69. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машгиз, 1964. – 256 с.
70. Кажуков, В.Н. Разработка и исследование средств кондиционирования

и прессования корма для кроликов и пушных зверей: автореферат / В.Н Кажуков. – Рязань, 1983. – 16 с.

71. Калиновская, О.П. Водостойкие гранулированные комбикорма: монография / О.П. Калиновская, И.Ш. Тюттяев, В.Я. Лысенко. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 155 с.

72. Кирсанов, В. В. Механизация и автоматизация животноводства / В.В. Кирсанов [и др.]. – М.: Академия, 2004. – 400 с.

73. Кирсанов, В. В. Механизация и технология животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. – М.: Колос, 2007. – 400 с.

74. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины / Н.И. Кленин, И.Ф. Попов, В.А. Сакун. – М.: Колос, 1970. – 234 с.

75. Колода, В.Д. Результаты испытания измельчителей кормов / В.Д. Колода, В.А. Ясенецкий. – М.: Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства № 1, 1972. – С. 32-34.

76. Кононов, Б.В. Результаты исследования процесса измельчения кормов барабаном с продольными и поперечными ножами / Б.В. Кононов, Л.Н. Ромазанов. – Саратов: Механизация работ в животноводстве №43, 1975. – 311 с.

77. Красников, В.Б. Краткий справочник по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных грузов / В.Б. Красников. – Саратов, 1975. – 81 с.

78. Краюхин, Г.А. Экономическая эффективность изобретений и рационализаторских предложений / Г.А. Краюхин. – Л.: Лениздат, 1983. – 129 с.

79. Крохина, В.А. Справочник. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных / В.А. Крохиной. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 304 с.

80. Кукта, Г.М. Испытания сельскохозяйственных машин / Г.М. Кукта. – М.: Машиностроение, 1964. – 15 с.

81. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 140 с.

82. Кукта, Г.М. Методика определения технологических и эксплуатационных показателей машин и оборудования для приготовления кормов / Г.М. Кукта, И.И. Губко, В.В. Коврига. – Киев: Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1973. – С. 43 – 45.

83. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1978. – 239 с.
84. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов. Часть 1 и 2: справочник / И.В. Кулаковский [и др.]. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 342 с.
85. Лебедев, А.Т. Тыквенные культуры / А.Т. Лебедев. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 78 с.
86. Макаров, В.А. Кинетика усреднения влаги в соево-сапропелевых композициях при кондиционировании смеси. Электронный ресурс / В.А. Макаров, С.М. Доценко, В.А. Широков, П.Н. Школьников – М.: АгроЭкоИнфо, 2017. – №2 – 205 с. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_205.doc.
87. Машины и оборудование для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию: методические рекомендации. – Новосибирск: РАСХН Сибирское отделение ДальНИПТИМЭС, 1991. – 56 с.
88. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
89. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК, РАСХН – Москва, 2007. – 31 с.
90. Митков, В.В. Технологии переработки сои / В.В. Митков. – М.: Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1993. – №8 — С.16 – 18.
91. Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1961. – 129 с.
92. Монари, С.С. Справочник по использованию в кормлении животных соевых бобов / С.С. Монари. – Вашингтон, 1994. – 64 с.
93. Морозова, Е.И. Повышение эффективности приготовления соевых бобовых кормов путем оптимизации параметров ленточного пресса / Е.И. Морозова. – СПб.: Павловск, 2001. – 16 с.
94. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1967. – 207 с.
95. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных

экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 360 с.

96. Новицкий, А.П. О возможности использования зерна бобовых культур / А.П. Новицкий. – М.: Кролиководство и звероводство, 2006. – № 4 – 8 с.

97. Новое в кормлении кроликов. – М.: Кролиководство и звероводство, 2001. – №3 – С. 24 – 28.

98. О полезности крольчатины – М.: Кролиководство и звероводство, 2004. – №4 – С. 21 – 22.

99. Орлова, И. В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование. / И.В. Орлова, В.А. Полковников. – М.: Вузовский учебник, 2009. – 365 с.

100. О соковыделении при измельчении корнеплодов – Куйбышев: Творческий поиск молодых и научно-технический прогресс: тезисы докладов, 1987. – С. 56-57.

101. Осыпак, В.А. Дробилка-смеситель «Блоунт» / В.А. Осыпак, И.К. Качан – М.: Техника в сельском хозяйстве, 1987. – № 2 – 364 с.

102. Патент РФ № 2665075 Способ приготовления гранулированного концентрата / авторы Винокуров С.А., Бурмага А.В., Школьников П.Н. [и др.]. // Опубликовано 28.08.2019 бюллетень № 25.

103. Патент РФ № 2652387 Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта / авторы Винокуров С.А., Бурмага А.В., Школьников П.Н. [и др.]. – Опубликовано 26.04.2018 бюллетень № 12.

104. Патент РФ № 2690637 Пресс-гранулятор / авторы Винокуров С.А., Школьников П.Н., Якименко А.В. [и др.]. – Опубликовано 04.06.2019 бюллетень № 16.

105. Патент РФ № 2685943 Прессующее устройство / авторы Винокуров С.А., Школьников П.Н., Якименко А.В. [и др.]. – Опубликовано 23.04.2019 бюллетень № 12.

106. Патент РФ № 2116200 Шнековый пресс для производства комбикормов / авторы Доценко С.М., Петров В.В., Широков В.А., Самуйло В.В. – Опубликовано 16.12.1999 бюллетень № 30.

107. Патент РФ № 2563676 Способ приготовления белково-углеводно-минерального кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. [и др.]. – Опубликовано 20.09.2015 бюллетень № 26.

108. Патент РФ № 2563677 Способ приготовления белково-минерально-витаминного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. [и др.]. – Опубликовано 20.09.2015 бюллетень № 26.

109. Патент РФ № 2563673 Способ приготовления белково-витаминно-минерального кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. [и др.]. – Опубликовано 20.09.2015 бюллетень № 26.

110. Патент РФ № 2555581 Способ приготовления гранулированного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. [и др.]. – Опубликовано 10.07.2015 бюллетень № 19.

111. Патент РФ № 2555578 Способ приготовления гранулированного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Широков В.А., Доценко С.М. [и др.]. – Опубликовано 10.07.2015 бюллетень № 19.

112. Патент РФ № 2621354 Способ приготовления гранулированного корма / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 02.06.2017 бюллетень № 16.

113. Патент РФ № 2624947 Измельчитель влажных продуктов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Иванин А.Г. [и др.]. – Опубликовано 11.07.2017 бюллетень № 20.

114. Патент РФ № 2628397 Способ приготовления гранулированного комбикорма для кроликов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 16.08.2017 бюллетень № 23.

115. Патент РФ № 2634004 Способ приготовления белково-витаминных продуктов функциональной направленности / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Иванин А.Г. [и др.]. – Опубликовано 23.10.2017 бюллетень № 30.

116. Патент РФ № 2634005 Способ приготовления кормов для кроликов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 26.10.2017 бюллетень № 30.

117. Патент РФ № 2634359 Способ приготовления гранулированного продукта для кроликов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 26.10.2017 бюллетень № 30.

118. Патент РФ № 2663610 Агрегат для поточного приготовления заменителя цельного молока и комбикормов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Иванин Г.А. [и др.]. – Опубликовано 07.08.2018 бюллетень № 22.

119. Патент РФ № 2652389 Способ приготовления гранулированного комбикорма для кроликов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 26.04.2018 бюллетень № 12.

120. Патент РФ № 2663340 Способ приготовления комбикорма для кроликов / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Гончарук А.И. [и др.]. – Опубликовано 03.08.2018 бюллетень № 22.

121. Патент РФ № 2727270 Способ приготовления каротино-кальциевой добавки / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. [и др.]. – Опубликовано 21.07.2020 бюллетень № 21.

122. Патент РФ № 2727272 Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. [и др.]. – Опубликовано 21.07.2020 бюллетень № 21.

123. Патент РФ № 2729216 Способ приготовления белково-концентратной добавки / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. – Опубликовано 05.08.2020 бюллетень № 22.

124. Патент РФ № 2729393 Способ приготовления белково-витаминного концентрата / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. – Опубликовано 06.08.2020 бюллетень № 22.

125. Патент РФ № 2734264 Способ приготовления белково-углеводного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. [и др.]. – Опубликовано 14.10.2020 бюллетень № 29.

126. Патент РФ № 2727255 Способ получения белково-кальциево-токофероловой добавки / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. [и др.]. – Опубликовано 21.07.2020 бюллетень № 21.

127. Патент РФ № 2738978 Способ получения белково-углеродного продукта для крупного рогатого скота / авторы Школьников П.Н., Доценко С.М., Крючкова Л.Г. [и др.]. – Опубликовано 21.12.2020 бюллетень № 36.

128. Помытко, А.В. Применение соевого белка в пушном звероводстве / А.В. Помытко. – М.: Кролиководство и звероводство, 2004. – № 1. – 11 с.

129. Рахманов, А.И. Кормление кроликов, пушных и декоративных зверей / А.И. Рахманов. – М.: Аквариум ЛДТ, 2007. – 144 с.

130. Ревенко, И.И. Оценка качества работы машин для измельчения кормов / И.И. Ревенко [и др.] – М.: Сборник научных трудов ВНИИМЖ, 1981. – С. 215 – 230.

131. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 230 с.

132. Резник, Е.И. Малым фермам - современную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник. – М.: Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1986. – № 8. – С. 28 – 29.

133. Резник, Е.И. Универсальная техника для обработки кормов / Е.И. Резник. – М.: Кормопроизводство, 1985. – № 5 – С. 40 – 44.

134. Ромазанов, Л. Н. Исследование и совершенствование конструкций рабочих органов для измельчения сочных кормов / Л.Н. Ромазанов. – Саратов, 1974. – 24 с.

135. Садов, В.В. Сравнительный анализ способов прочностного расчета на примере измельчителя фуражного зерна / В.В. Садов., С.А. Сорокин, И.Л. Новожилов. – Барнаул: Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2021. – № 8 (202). – С. 85–92. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-85-92.

136. Садов, В.В. Повышение эффективности производства комбикормов на малогабаритном агрегате / В.В. Садов, С.А. Сорокин // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн. / XX Международная научно-практическая конференция (6 февраля 2025 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2025. – Кн. 1. – С. 145 – 146.

137. Самуйло, В.В. Обоснование и оптимизация параметров технологической линии и технических средств приготовления белково-углеводного гранулята для кроликов: автореферат канд. техн. наук/ В.В. Самуйло. – Благовещенск, 2010.

– 24 с.

138. Сохимо, Е.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя углеводистых кормов: автореферат канд. техн. наук / Е.В. Сохимо. – Благовещенск, 1997. – 24 с.

139. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 318 с.

140. Титенок, А.В. Повышение эффективности процесса измельчения корнеплодов путем применения пакетов режущих элементов: автореферат канд. техн. наук / А.В. Титенок. – Саратов, 1998. – 24 с.

141. Тихонов, Н.И. Определение силы резания ножом / Н.И. Тихонов – М.: Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1983. – № 8 – 24 – 27 с.

142. Уланов, И.А. Машины для измельчения кормов (теория и расчет) / И.А. Уланов. – Саратов, 1976. – 56 с.

143. Федоренко, И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учебное пособие / И.Я. Федоренко. – М.: ФОРУМ, 2007. – 176 с.

144. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – Москва, 1967. – 552 с.

145. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1966. – Т 1. – 522 с.

146. Фролов, В. Ю. Разработка пресс-экструдера для обработки зернобобовых культур / В. Ю. Фролов, Г. Г. Класнер, В. С. Тарасов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 168. – С. 109-126. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-009. – EDN: EYRTFK.

147. Фролов, В. Ю. Шнековый смеситель концентрированных кормов / В. Ю. Фролов, А. В. Бычков, К. П. Рыгов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 184. – С. 248 – 259. – DOI: 10.21515/1990-4665-184-021. – EDN: LCOWJD.

148. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

149. Чабб, Л. Антипитательные факторы в кормлении животных/ Л. Чабб. – М.: Новейшие достижения в исследовании питания животных, 1985. – № 4 – С. 27 – 48.
150. Чайка, И.В. Технологические способы повышения содержания белка в кормах/ И.В. Чайка. – Краснодар: Производство и использование растительного белка, 1984. – 295 с.
151. ЩигOLEв, Б.М. Математическая обработка наблюдений / Б.М. ЩигOLEв. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
152. Элли, А.Я. Анализ, классификация и оценка существующей системы машин для измельчения корнеклубнеплодов / А.Я. Элли. – Ульяновск, 1977. – С. 75-80.
153. Эффективность использования шротов и БМВД для молодняка кроликов – М.: Кролиководство и звероводство, 2004. – № 2 – С. 4 – 6.
154. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Часть 2 / А.А. Яблонский. – Москва, 1977. – 360 с.
155. Якименко, А.В. Совершенствование технологического процесса пресования кормовых смесей и обоснование параметров пресс-брикетировщика: автореферат / А.В. Якименко. – Благовещенск, 1997. – 24 с.
156. Auswertug von Fufferanalysen/ Galler J – Prakt. Landtechn, 1997. – № 2 – С. 21-22.
157. Alladi, S. Lipids, lipoproteins and lypolytic activity in plasma with dietary protein changes: Nutrit. Rep. internet/ S. Alladi; R. Gilbert, K.R. Shanmugasundaram, 1989 – № 4 – P. 653-661.
158. Anon La dieta monocereale neH»alimentazione dei. conigli : Rivisia Coniglicoltura / Anon, 1985 № 5.–58-59 p.
159. Blas, J.C. The use of soya bean hulls in rabbit feeding: a review : World Rabbit Sc./ J.C.de Blas, R. Carabano, N. Nicodemus, J. Garcia G.G. Mateos –Vol.7, fasc.4, 1999. – P. 203-207.
160. Verfahren zum Reinigen und Shnitzeln von Ruben od. Dgl. Sowie Vjrrichtung zuf Durchfun rung des Verfanhkens: Заявка 0436755 ЕПВ, МКИ А01К51001 J.C. Ansink, De Dissel, B.V. Beher – N 90100353.

161. Cringoli, G. Indagine sui mangimi pellettati del commercio suU»alimentazione del coniglio: Riv. Coniglicoltura/ G. Cringoli, B. Mori, M. Bagliacca, M. Rossi, R. Maiolino –1984 – N 6. – P. 43 – 47.

162. Георгиева, В. Влияние на някои технологични параметри при тостирание вверху хронителните качества на соевие шрот. Науч. Труд / В. Георгиева, П. Манева – Висш.инст. Зоотехн. Ветер. Мет. Стара Загора. Зооинженр.фак., 1986. Vol 34. – 373-385 p.

163. Martina, C. Noi aspecte in hrana animalelor crescute pentru blana: Rev. Cresterea anim / C. Martina, V. Iosif – 1985. – N 5. – P. 37-42.

164. Merrier, P. Problemes d»alimentation des lapins et quelques solutions pratiques: Doc. Eleveur / P. Merrier – 1986. – P. 42 – 44.

165. Polidori, F. Prove digeribilita» nel coniglio del seme integrate di soia : Atti Soc. Ital. Sc. Veter. Faenza / F. Polidori, C. Corino, A. Giusi D. Tedesco – 1985. – N 2 – P. 470-473.

166. Sanchez, W.K. Evaluation of raw and extruded soybeans and extruded soy flour as protein souces for weanling rabbits: Proceedings from Annual meeting / W.K. Sanchez, P.R. Cheeke, N.M. Patton – 1986. – P.160-162.

167. Balasubramanian, V.M Design, development and evaluation of a cassava chipper/ V.M. Balasubramanian, V.V. Sreenarayanan, R. Visvanafhan, D. Balasubramanian – Arg., Mech. Asia, Afr. And Lat. Amer. – 1993. – № 1. – P. 60 - 64.

168. Maschine zum Transportieren ind Zerkleinern von Ernteguf, insbesondere von Ruben, Obst, Kartoffeln oder ahnlichen Produkten: патент 677580 Швейцария, MKU A 01F29/02, A 01 F25/18/ Burkaf Hans Rain – № 3191/88.

169. O'Toole D. K. Characteristics and use of okara, the soy bean residue from soy milk production-a review / D.K. O'Toole // J. Agric. Food Chem – 1999. – №. 2. – P. 363-371.

ПРИЛОЖЕНИЯ



а)



б)

а) морковного; б) тыквенного

Рисунок 1П – Общий вид исходного корнеплодного сырья



Рисунок 2П – Общий вид зернового и измельченного корнеплодного сырья



Рисунок 3П – Общий вид исходного сырья к определению его размерных характеристик



Рисунок 4П – К обоснованию способа получения соево-корнеплодной композиции



а)



б)



Рисунок 5П – Общий вид исследуемых композиций:
а) кукурузно-тыквенной; б) пшенично-морковной;
в) кукурузно-тыквенной измельченной; б) пшенично-морковной
измельченной



а)



б)

Рисунок 6П – Общий вид установки для получения гранул и брикетов



а)



б)

Рисунок 7П – Общий вид влажного гранулята:
а) морковно-кукурузного; б) тыквенно-ячменного



Рисунок 8П - Линия на основе нового оборудования с сушильным шкафом «ЭСПИС-4» - УНИВЕРСАЛ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2652387

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-
ВИТАМИННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Винокуров Сергей Александрович (RU), Бурмага Андрей Владимирович (RU), Гончарук Оксана Валентиновна (RU), Школьников Павел Николаевич (RU)*

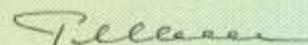
Заявка № 2017123906

Приоритет изобретения 05 июля 2017 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 26 апреля 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 05 июля 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Налиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2665075

**СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО
КОНЦЕНТРАТА**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Доценко Сергей Михайлович (RU), Винокуров Сергей Александрович (RU), Бурмага Андрей Владимирович (RU), Гончарук Оксана Валентиновна (RU), Школьников Павел Николаевич (RU)*

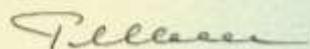
Заявка № 2017123493

Приоритет изобретения 03 июля 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 августа 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 03 июля 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Налиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2685943

ПРЕССУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

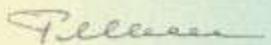
Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет» (RU)**

Авторы: **Доценко Сергей Михайлович (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Винокуров Сергей Александрович (RU), Ковалева Людмила Альбертовна (RU), Якименко Андрей Владимирович (RU), Волков Сергей Петрович (RU)**

Заявка № 2018128654

Приоритет изобретения **03 августа 2018 г.**Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **23 апреля 2019 г.**Срок действия исключительного права на изобретение истекает **03 августа 2038 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2690637

ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет» (RU)**

Авторы: **Доценко Сергей Михайлович (RU), Школьников Павел Николаевич (RU), Винокуров Сергей Александрович (RU), Ковалева Людмила Альбертовна (RU), Якименко Андрей Владимирович (RU)**

Заявка № 2018128653

Приоритет изобретения **03 августа 2018 г.**

Дата государственной регистрации в

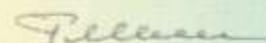
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **04 июня 2019 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **03 августа 2038 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ

О.А.Селихова
2025 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Индивидуальный предприниматель
ЛПХ «Амурский кролик»

С.Г.Кологривый
2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научной исследовательской работы, выполненных соискателем
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Винокуровым С.А.

В период с 01.09.2025 г. по 02.10.2025 г. в личном подсобном хозяйстве «Амурский кролик» проведена производственная проверка результатов исследований разработанного измельчающе-прессующего устройства, в ходе которой выполнен следующий объем работ:

1. Приготовление кормов в виде гранул на основе тыквенно-зерновых композиций в количестве 140 кг;
2. Приготовление кормов в виде пасты на основе соево-кукурузных композиций в количестве 124 кг;
3. Приготовление кормов на основе морковно-соевых композиций в количестве 94 кг.

Заключение. В результате выполненных работ установлено, что предложенное измельчающе-прессующее устройство обеспечивает выполнение следующих процессов:

- получение паст на основе сочных и зерновых кормовых продуктов;
- получение тыквенно-зернового гранулята диаметром до 3,0 мм.

Применение измельчающе - прессующего устройства винтового типа позволило снизить затраты труда и средств на приготовление кормов и довести себестоимость их производства до 5144,06 руб./тонну и обеспечить заготовку кормов с использованием корнеклубнеплодов в осенний период исключив замораживание и соответствующие потери.

Индивидуальный предприниматель ЛПХ «Амурский кролик»

Индивидуальный предприниматель ЛПХ «Амурский кролик»

Исполнитель:

Исполнитель:

С.Кологривый

С.Кологривый

С.Винокуров

Н.Николюков



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научной исследовательской работы, выполненных соискателем ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Винокуровым С.А и аспирантом ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Чубенко А.В.

В период с 01.09.2024 г. по 22.10.2024 г. в хозяйстве АО МТС «Амур» проведена производственная проверка результатов исследований разработанного измельчающе-прессующего устройства, в ходе которой выполнен следующий объем работ:

1. Приготовление кормов в виде гранул на основе тыквенно-зерновых композиций в количестве 112 кг;
2. Приготовление кормов в виде пасты на основе соево-кукурузных композиций в количестве 143 кг;
3. Приготовление кормов на основе морковно-соевых композиций в количестве 94 кг.

Заключение. В результате выполненных работ установлено, что предложенное измельчающе-прессующее устройство обеспечивает выполнение следующих процессов:

- получение паст на основе сочных и зерновых кормовых продуктов;
- получение тыквенно-зернового гранулята диаметром до 6,0 мм;
- получение морковно и соево -кукурузных брикетов диаметром до 20,0 мм.

Применение измельчающе - прессующего устройства винтового типа позволило снизить затраты труда и средств на приготовление кормов и довести себестоимость их производства до 7395 руб./тонну и обеспечить заготовку кормов с использованием корнеклубнеплодов в осенний период исключив замораживание и соответствующие потери.

Генеральный директор АО МТС «Амур»
 Главный агроном
 Исполнители:

Ю.В. Абламский
 Ю.В. Абламский
О.Я. Кузьмин
 О.Я. Кузьмин
С.А. Винокуров
 С.А. Винокуров
А.В. Чубенко
 А.В. Чубенко

Утверждаю:
 Проректор по научной работе
 ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
 Сеичик А.В.
 2017г.



Утверждаю:
 Директор ООО «МиС Агро»
 Самозванов А.В.
 2017г.



АКТ

о внедрении результатов научной исследовательской работы, выполненных к.т.н. Школьниковым П.Н. и соискателем ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Винокуровым С.А.

В период с 10.10.2017г. по 25.11.2017г. в хозяйстве ООО «МиС Агро» проведена производственная проверка результатов исследований разработанного измельчающе-прессующего устройства, в ходе которой выполнен следующий объем работ:

1. Приготовление кормов в виде гранул на основе тыквенно-зерновых композиций в количестве 5,34 тонны;
2. Приготовление кормов в виде пасты на основе морковно-кукурузных композиций в количестве 7,10 тонны;
3. Приготовление кормов на основе свекольно-соевых композиций в количестве 11,8 тонны.

Заключение. В результате выполненных работ установлено, что предложенное измельчающе-прессующее устройство обеспечивает выполнение следующих процессов:

- получение паст на основе сочных и зерновых кормовых продуктов;
- получение тыквенно-зернового гранулята диаметром до 6,0 мм;
- получение морковно и свекольно -кукурузных брикетов диаметром до 20,0 мм.

Применение измельчающе - прессующего устройства винтового типа позволило снизить затраты труда и средств на приготовление кормов и довести себестоимость их производства до 5194 руб/тонну и обеспечить заготовку кормов с использованием корнеклубнеплодов в осенний период исключив замораживание и соответствующие потери.

Директор ООО «МиС Агро»
 Главный инженер
 Исполнители:



А.В. Самозванов
 В.И. Ганжа
 П.Н. Школьников
 В.А. Винокуров

В диссертационный совет Д 220.027.01
на базе ФГБОУ ВО «Дальневосточный
государственный аграрный университет»

Справка

О внедрении результатов исследований, выполненных
к.т.н. Школьниковым П.Н. и соискателем ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ Винокуровым С.А.

Доводим до Вашего сведения, что рекомендации по получению
кормовых продуктов с помощью измельчающе – прессующего устройства в
линии приготовления корнеплодно-зерновых кормов приняты к
использованию на ферме крупного рогатого скота ООО «МиС Агро».

Директор ООО «МиС Агро»

Главный инженер

06.12.2017г.



А.В. Самозванов

В.И. Ганжа

Ректору ФГБОУ ВО
Дальневосточного ГАУ
профессору
Тихончуку П.В.

Справка

О внедрении результатов исследований, выполненных
к.т.н. Школьниковым П.Н. и соискателем ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ Винокуровым С.А.

Доводим до Вашего сведения, что рекомендации по получению
кормовых продуктов с помощью измельчающе – прессующего устройства в
линии приготовления корнеплодно-зерновых кормов приняты к
использованию на ферме крупного рогатого скота ООО «МиС Агро».

Директор ООО «МиС Агро»

Главный инженер

06.12.2017г



А.В. Самозванов

В.И. Ганжа