

ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный университет"
Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе
Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия
Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

**Тема: РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛЯТОРА
СОВМЕЩЕННАЯ С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ
КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ**

Студент магистратуры _____ Шайхутдинов Э.И.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____ Халиуллин Д.Т.

Рецензент
д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
Протокол № 14 от «17» июня 2019 г.

И.о. заведующего кафедрой машин и оборудования
в агробизнесе _____ Халиуллин Д.Т.

Казань - 2019 г.

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) Шайхутдинова Эмиля Ильдусовича на тему: «РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛЯТОРА СОВМЕЩЕННАЯ С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ»

Диссертация состоит из пояснительной записки на 89 страницах машинописного текста. Записка состоит из введения, пяти разделов, выводов и включает 28 рисунков, 9 таблиц и 49 формулы. Список использованной литературы содержит 36 наименований.

В первой главе «СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ» проведена классификация оборудования для производства гранул, обзор существующих грануляторов. Выполнен анализ работ по исследованию процесса гранулирования продукции. Обозначены цель и задачи исследования.

Во второй главе представлено устройство и принцип работы предлагаемой гранулятора с измельчителем, математический модель процесса гранулирования, а также зоотехнические требования, предъявляемые к измельченным концентрированным кормам.

В третьей главе разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и их результаты.

В пятой главе проведено экономическое обоснование конструкции гранулятора.

Записка завершается общими выводами по работе, списком использованных литературных источников и приложением.

ABSTRACT

For final qualification work (master dissertation) Shaikhutdinova Emil Il'dusovich on the theme: "DEVELOPMENT AND RESEARCH of the pellet machine is COMBINED WITH SHREDDER CONCENTRATED FEED»

The thesis consists of an explanatory note on 89 pages of typewritten text. The note consists of an introduction, five sections, conclusions and includes 28 figures, 9 tables and 49 formulas. The list of references contains 36 titles.

In the first Chapter of "the STATUS, PURPOSE AND objectives of the STUDY" classification of the equipment for production of pellets, a review of existing granulators. The analysis of works on research of process of granulation of production is executed. The purpose and objectives of the study are indicated.

In the second Chapter, the device and the principle of operation of the proposed granulator with a shredder are investigated. Technological and structural calculations of the granulator, as well as zootechnical requirements for crushed concentrated feed.

The third Chapter developed a program and methodology for experimental studies.

The fourth Chapter presents the results of experimental studies and their results.

In the fifth Chapter, the economic justification of the granulator design

The note concludes with General conclusions on the work, a list of references and an Annex.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИИ ...	8
1.1 Анализ гранулированной продукции и измельчения фуражного зерна	8
1.2 Классификация оборудования для производства гранул	16
1.3 Обзор существующих грануляторов	20
1.4 Краткие выводы. Цель задачи исследования	31
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯТОРА С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ.....	34
2.1 Устройство и принцип работы предлагаемой гранулятора с измельчителем	34
2.2 Математическая модель процесса гранулирования	40
2.3 Зоотехнические требования, предъявляемые к измельченным концентрированным кормам	51
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	54
3.2 Условия проведения экспериментальных исследований	54
3.3 Общая методика экспериментальных исследований гранулятора с измельчителем	58
3.4 Методика исследований по уточнению физико-механических свойств комбикормов.....	61
3.5 Методика обоснования режима работы гранулятора	62
3.6 Методика измерения пропускной способности гранулятора	64
3.7 Методика определения мощности привода и энергоемкости исследуемого гранулятора	64
3.8 Методика обработки экспериментальных исследований.....	65
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	67
4.1 Результаты исследований гранулятора с измельчителем	67
5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГРАНУЛЯТОРА С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ.....	75
5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции	75
5.2 Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение.....	77
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	87

ВВЕДЕНИЕ

В России комбикормовая промышленность - отрасль, входящая в аграрно-промышленный комплекс нашей страны. Целью комбикормовой промышленности является, обеспечение всех видов животных полноценным кормом. При производстве комбикормов для животных, следует учитывать их продуктивность, устойчивость к заболеваниям, их сохранность и учитывать расход компонентов, а так же много других факторов. Комбикормовая смесь изготавливается из различных видов сырья, комбинируя их в разных пропорциях, отсюда и берется название комбинированный корм, сокращённо комбикорм. Комбикорм изготавливается так, чтобы недостатки витаминов, белков и других компонентов компенсировать другими. Самым главным в комбикормовом производстве является создание смеси, которая обеспечит рост, развитие, сохранность сельскохозяйственных и домашних животных, птиц питательными веществами. По мере развития промышленного животноводства, возрастает и роль комбикормов. На сегодняшний день действуют большие созданные животноводческие комплексы на более чем 100 тыс голов, так же созданы птицефабрики, задействованные по различным направлениям. В животноводческих предприятиях требования к комбикормам очень велики. Комбикорм является важнейшим питательным веществом, которое необходимо животным для роста и развития, тем самым он компенсирует недостаточность витаминов. В течение многих веков основным кормом для жвачных животных являлось сено и казалось, что чем больше дашь животному хорошего сена, тем больше получишь от него продукции. Однако многовековой опыт показывает, что при кормлении хорошим сеном коровы могут давать не более 8... 9 кг молока в сутки, а на хорошем пастбищном корме 18...20 кг. Но в настоящее время в большинстве животноводческих хозяйствах с промышленным производством, коровы практически целый год дают высокие надои, а другие животные также имеют хорошую продуктивность, что является

следствием обильного и сбалансированного кормления животных. Коровам кроме хорошего сена дают достаточное количество сочных кормов и по возможности больше комбикормов. Причем комбинированные корма приготавливаются в смеси с белково-витаминными добавками. Такое кормление обеспечивает постоянный неуклонный рост и продуктивность животных. При решении проблемы производства комбикормов в современных условиях необходимо повышение качества рационов, разработка рецептов полнорационных комбикормов, белково-витаминно-минеральных добавок, премиксов различного назначения. Без знаний технологии их производства решить поставленные перед комбикормовой промышленностью задачи будет невозможно.

В связи с изложенным *целью работы* является разработать комбинированный гранулятор с измельчителем и снижение энергоёмкости гранулирования кормов, гранулятором с горизонтальными матрицами за счёт обоснования его параметров и режима работы. Сформулирована и *рабочая гипотеза*: снижение энергоёмкости процесса гранулирования кормовых смесей возможно усилением их вязких свойств, например, увлажнением водой и оптимизацией режима работы гранулятора с увеличенным количеством сжатий корма.

Объектом исследования является технологический процесс гранулирования кормовых смесей и гранулятор кормов с горизонтально расположенными равновеликими колесами-матрицами применительно к крестьянским фермерским хозяйствам с небольшими объемами производства.

Предложенная в работе конструктивно-технологическая схема гранулятора с измельчителем, его параметры и режимы работы представляют практическую ценность исследования, что весьма важно в первую очередь для небольших семейных и фермерских хозяйств, доля которых в АПК ежегодно увеличивается.

Научная новизна работы заключена в:

- оценке физико-механические свойств комбинированных кормов и исследовании их влияния на затраты энергии на формирование гранул;
- определении зависимости объемной подачи кормов от геометрических параметров зуба и впадины на колесе;
- уточнении зависимостей деформации корма в рабочем пространстве пресса и удельной работы сжатия корма.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием законов, сопротивления материалов и математического анализа. Результаты экспериментов обрабатывались программой Excel

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ гранулированной продукции и измельчения фуражного зерна

Комбикорма представляют собой сложную однородную смесь различных кормовых средств, предварительно очищенных, измельченных и подобранных по научно обоснованным рецептам с целью наиболее эффективного использования животными питательных веществ [1].

Гранулированные продукты, в том числе комбикорма, отруби, масляные и др., имеют ряд существенных преимуществ перед рассыпными: изменяется структура продукта, повышается усвояемость, снижается бактериальная загрязненность, улучшаются условия хранения, уменьшается объем и т.д. А самое главное, что гранулированные комбикорма обладают высокой питательной ценностью, что определяет актуальность производства такого типа кормов и обуславливает их востребованность у потребителей.

Также, преимуществами гранулированной продукции являются: экономия кормовых ресурсов; рациональное использование отходов различных отраслей; возможность включить в состав комбикорма сырье, которое не может быть использовано отдельно из-за плохого вида и др. причин; возможность придать продукции форму, удобную для скормливания. Комбикорма вырабатывают практически для всех групп животных. При использовании сбалансированных по всем питательным веществам кормовых продуктивности животных повышается на 10...12%, а при обогащении их витаминами, микроэлементами и другими стимулирующими веществами – на 25-30% по сравнению с тем, когда животным скормливают отдельные виды зернофуража. Питательная ценность выражается в кормовых единицах 1 корм. ед.=1кг овса.

Основою комбикорма является зерновое сырье, оно составляет примерно во всех комбикормах 60-65%. Из зерновых культур это: пшеница, ячмень, кукуруза, овес, просо. Особенность: высокое содержание углеводов – 70%, низкое содержание белка – 10-15%. Зернобобовые: горох, бобы, соя, люпин. Это высокобелковые культуры – 25-45%. Масличные: подсолнечник, хлопчатник, рапс, сурепка, рыжик, входят в комбикорма в виде их отходов (жмых, шрот). Также могут входить: отходы, получаемые при переработке зерна в крупу и муку, отходы пищевой промышленности, корма животного происхождения, грубые корма и др.

Технология приготовления комбикорма состоит из следующих последовательно выполняемых операций: приемка, размещение и хранение сырья; измельчение; дозирование; смешивание, гранулирование (прессование); хранение. Комбикормовые заводы вырабатывают: полнорационные комбикорма, комбикорма – концентраты, кормовые смеси, балансирующие добавки (белково-витаминные (БВД), минеральные (БВМД), карбамидный концентрат) и премиксы. Полнорационные комбикорма содержат в своем составе все необходимые питательные вещества, обеспечивающие физиологические потребности животных при высоком уровне их продуктивности. Скармливают их без добавления кормов других видов. Готовят эти комбикорма преимущественно для птицы, свиней, лошадей. Кроме того и молочных животных других видов раннего возраста.

Рецепт каждого комбикорма обозначают двумя числами: первое – группа животных определенного вида, второе – порядковый номер рецепта. Каждый корм имеет буквенное обозначение: ПК – полнорационный комбикорм, К – комбикорм-концентрат, БВД – белково-витаминные добавки, ЗЦМ – заменитель цельного молока, П – премиксы. Комбикорма обогащают микроэлементами – метионином, витаминами А, D, E, тиамином, рибофлавином, пантотеновой кислотой,

никотинозой кислоты, витамин B12, соли марганца, железа, меди, цинка, кобальта, йода.

Комбикорма – концентраты предназначены для кормления животных в дополнение к основному рациону, состоящему из грубых, сочных и других местных кормов. Производится комбикорма – концентраты для домашних и сельскохозяйственных животных всех видов разного возраста, производителей, рабочих лошадей, супоросных и послеродовых свиноматок, суягных и послеродовых овец, а также для мясного и беконного откорма свиней. В состав такого комбикорма вводят добавки витамина D2 и солей микроэлементов.

Кормовые смеси – это корм, состоящий из кормовых средств, используемых в кормлении животных, но не содержащий полного набора питательных веществ. Производится для КРС из побочных продуктов зернового производства (крупа, лузга, мучка + карбамид, мел и т.д.).

Балансирующие добавки представляют собой смесь кормов с полным содержанием протеина, минеральных веществ и витаминов. Они предназначены главным образом для производства комбикорма непосредственно в хозяйствах на основе собственного зерна фуража. БВД или БВМД вводят в состав зерновой смеси в количестве 10-30% ее массы. Кроме того, в состав БВМД входят витамины А и D2, а также соли микроэлементов. Рецепты белково-витаминных добавок обозначают теми же номерами, которые установлены для комбикорма с добавлением символа в БВД или БВМД. Изготавливают на основе высокобелковых натуральных продуктов или на основе карбамидного концентрата. БВД используют в качестве добавки при производстве комбикорма из зерна, травяной витаминной муки и т.д. Из-за высокого содержания белка 30-40% непосредственно скармливать скоту запрещено.

Карбамидный концентрат – для крупнорогатого скота (КРС) вырабатывается методом экструзии из карбамида, измельченного зерна и бентонитовой глины. Вводят в комбикорм как заменитель растворимого протеина. В рацион вводят в небольших дозах. Карбамид разлагается в желудке на аммиак и CO_2 и из этих компонентов синтезируется собственный белок.

Премиксы – высокодисперсная однородная смесь БАВ и наполнителя (витамины, микроэлементы, антибиотики, ферменты + мел, мелкие отруби). Премиксы вводят в комбикорм и БВД для их обогащения от 0,5-1% до 4-5%. Делают их на специализированных предприятиях и в зависимости от состава м.б. универсальные, лечебные, витаминно-аминокислотные, минеральные.

Заменитель цельного молока – изготавливают на основе обезжиренного молока с добавлением крахмала, живых жиров, премиксов. Растворяют в теплой воде. Комбикорма выпускают в рассыпном, гранулированном и брикетированном виде. К последним двум методам прибегают для рационального использования комбикормов, улучшения их вкусовых достоинств, удобства хранения и транспортировки. А также снижения механических потерь. Данные процессы состоят в смешивании измельченных кормовых компонентов с связующим веществом и прессовании смеси в гранулы (или брикеты) определенных размеров. При этом происходит гидротермическая обработка кормовых средств, результате которой крахмал частично переходит в сахар, что повышает питательную ценность комбикорма. Успешно гранулируют (брикетируют) зерновые злаковые растения. Убранные в целом виде в стадии молочно-восковой и восковой спелости зерна [1,3,4].

Производство кормов, методом экструдирования, совмещенно с гранулированием. Экструдированные корма, обладают рядом преимуществ по сравнению традиционной, измельченной кормовой смесью,

применяемо й для кормления с/х животных, птицы и т.д. Экструдирование включает в себя несколько процессов: температурная обработка под давлением до 40 атмосфер, механическое деформирование и «взрыв» продукта при выходе гранул из матрицы пресс-экструдера. После экструзии обработка улучшается по питательные свойства кормов, так как образуются различные ароматические вещества, значительно возрастает активность ферментов, что улучшает перевариваемость. Крахмал расщепляется до декстринов и сахаров, протеины подвергаются денатурации. Так как процесс экструзии происходит при высокой температуре (130...150 °C), значительно уменьшается количество токсичных и других антипитательных веществ. При этом во воздействие на корм высоких температур и давления сокращены до возможного минимума и составляют 4...6 с. За такое короткое время витамины и микроэлементы не разрушаются.

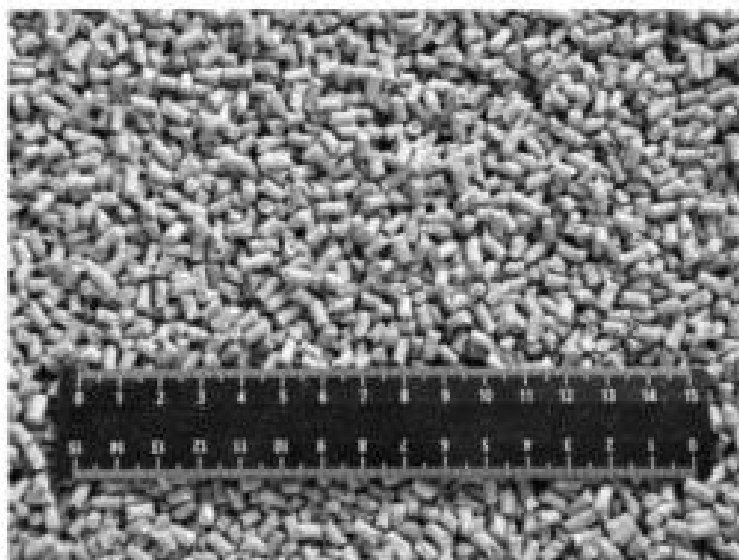


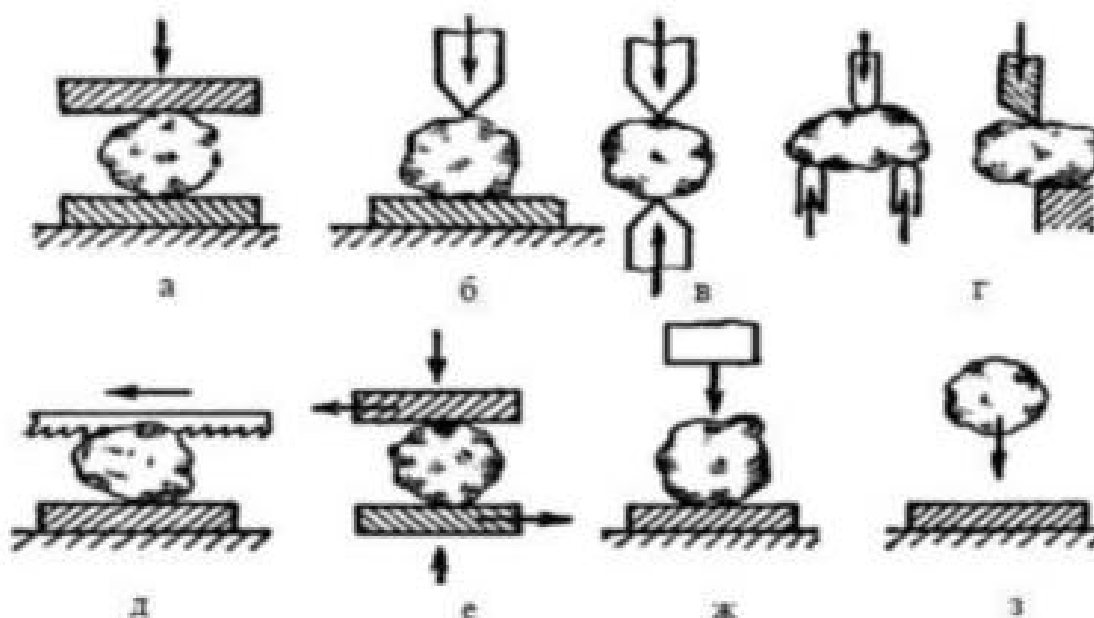
Рисунок 1.1 – Вид экструдированного корма

Процесс экструзии корма заключается в обработке смеси в рабочем органе при давлении и температуре. Из выходного устройства – матрицы выходят гранулы, диаметром 4...8 мм и длиной 1...3 см, с влажностью 12...18 %. Гранулы являются готовыми для скармливания. При необходимости гранулы измельчают на дисковом измельчителе в крупку,

например, для кормов мелкой птице, малька рыбы и т. д. Уникальность технологии заключается в том, что при производстве, например, предстартовых кормов, исключается процесс гранулирования. Как видно из данных, после экструзионной обработки практически вдвое увеличивается питательная ценность кормов. При экструзионной обработке кормов смесей, часть работы желудка животного выполняется экструдером и соответственно энергия корма полностью идет на строение организма животного. Это, несомненно, влияет на экономичность, особенно если хозяйство испытывает дефицит кормов. Улучшается экономический результат выращивания животных. Безусловно, экструдированные корма незаменимы при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных. Любопытное подтверждает, что 90% гибели молодняка происходит от болезней желудочно-кишечного тракта, или инфекций занесенных через пищеварительную систему вместе с кормом. В данном случае такая вероятность минимальна, так как корм стерильный. При кормлении молодняка экструдированными гранулами гибель животных от желудочно-кишечных заболеваний снижается в 1,5...2 раза. При переходе на грубые корма, животные в раннем возрасте не измученные кишечными заболеваниями, значительно обгоняют своих сверстников в росте. Из наблюдений за животными, особенно поросятами, специалисты прекрасно знают, сколько комбикорма при кормлении своими пяточками выбрасывают из кормушки в подстилку, а это 10...15% от общего корма. При кормлении экструдированными гранулами этого не происходит, поскольку животные не зарываются в корм, а поедают с поверхности кормушки. При раздаче экструдированных гранул снижается загрязненность помещений, а это чисто та же стерильность. Увеличивается сохранность корма. Отсутствует эффект самосортирования кормовой смеси. Продлевается срок службы технологического оборудования. А это все экономические средства. Экструдат обладает хорошими абсорбирующими свойствами, поэтому

он обладает, помимо кормовых свойств, профилактическим действием при желудочно-кишечных расстройствах. При кормлении экструдированными гранулами рыбы, поедаемость корма достигает 100%. Причина в том, что гранулы не прессованные, а только давлением. В процессе экструзии в рабочем органе, за счет трения частиц кормовой смеси, кратковременно возникает высокая температура и давление, за счет чего плавится крахмал, находящийся в кормовой смеси. При выходе продукта из матрицы, происходит мгновенный сброс давления и понижение температуры. Гранула «застывает» и получается легкая, вспененная, структурная, пористая масса, цилиндрической формы. При погружении в воду, экструдированная гранула не распадается, а набухает, образуя в воде некие желеобразные комочки. Этого времени достаточно для полного поедания рыбой. Обыкновенно спрессованная гранула в течение достаточно быстрого времени распадается на мелкие частицы и оседает на дно водоема.

В научной и практической литературе, в производстве непосредственно выделяют следующие способы измельчения. К ним относятся: раскалывание, раздавливание, резание, свободный удар, разламывание, истирание, распиливание стесненным ударом и др., что приведено на рисунке 1.2 [6,39, 11]. От способа измельчения зависят эффективность процесса и качество получаемых измельченных кормов.



а – раздавливание; б – раскалывание; в – разламывание; г – резание;
д – распиливание; е – истирание; ж – стесненный удар; з – свободный удар

Рисунок 1.2 · Виды дробления зерна

Выбор способа измельчения зависит от физических, механических свойств материала измельчения, от параметров требуемых продуктов. На рисунке 1.2. б показан процесс раскалывания. Резание представлено на рисунке 1.2. г, распиливание на рисунке 1.2. д соответственно. При необходимости получения продукта только измельчения используют прием истирания, который представлен на рисунке 1.2. е, совмещая с приемом раздавливания - рисунок 1.2. а и ударом (рисунок 1.2 ж, з) соответственно [21,30,34,13].

Зерно фуражного назначения проходит процесс измельчения в преимуществе случаев ударом и раздавливанием, при участии некоторых других способов разрушения. В трудах ряда исследователей отмечается то, что минимальная энергоемкость складывается в процессе удара [5,31,8,9].

Так, в исследованиях Д. Беренса, проведенных на довольно хрупких материалах, установлен факт того, что работы на измельчение при ударе составляют до 42 % от работы на измельчение при раздавливании. Данный

факт подтверждается трудами С.В. Мельникова и ученого - исследователя Ф.Г. Плюхова. Выбор в пользу ударного измельчения предлагается в трудах В.А. Денисова. Он считает, что эффективность измельчения определяется и зависит, от времени приложения внешних сил и температурного режима материала измельчения. Ученым Барабашкиным В.П. отмечается, что, стоимость машин (удельная) с ударным действием ниже, чем вальцовых, которые работают на основе принципа раздавливания, до 2,0 раз, масса снижается в 4 раза, мощность двигателей до 1,6 раз.

Таким образом, на современном этапе развития техники и технологий, имеющееся оборудование для измельчения зерна однообразно. Принцип его действия осуществляется за счет разрушения зернового материала путем усилия сжатия и сдвига. К таким относятся молотковые дробилки и вальцовые мельницы. Однако, в настоящее время в процессе измельчения зернового материала, на спец.предприятиях актуальными становятся ударно - центробежные измельчители, к числу которых следует отнести: центробежные дробилки, дисмембраторы, дезинтеграторы, при необходимости получения тонкого помола – мельницы струйные и коллоидные и пр. [25,30,33,11]. При необходимости получения тонкого измельчения используют прием истирания, который представлен на рисунке 1.2., со вмещающим приемом раздавливания - рисунок 1.2. а и ударом (рисунок 1.2. ж, з) соответственно [38,30,34,13].

1.2 Классификация оборудования для производства гранул

В работе [6] раскрывается классификация существующих машин, предназначенных для производства гранул. Преимуществом таких прессов является возможность осуществления непрерывного технологического процесса и снижения удельных затрат энергии на брикетирование [18,19].

Матричные прессы получили самое широкое распространение, как в России, так и за рубежом. Прессы этого типа могут быть одно- или много-матричные, с вращающимися (активными) или неподвижными (пассивными), вертикальными или горизонтальными, кольцевыми и плоскими матрицами. Процесс работы матричных прессов исследован рядом авторов [16, 19, 14, 24, 25, 28, 12, 10], которые отмечают, что на таких прессах можно получать брикеты плотностью $700 \dots 850 \text{ кг/м}^3$ и крошимостью $9 \dots 14\%$ с удельными энергетическими затратами $28 \dots 30 \text{ кВт}$, при максимальной производительности до 3000 кг/ч . Матричные прессы имеют непрерывный технологический процесс гранулирования, но обладают высокой энергоемкостью, только перетираемой комовой, а также в некоторых случаях невозможностью регулирования плотности получаемых гранул (пеллет, брикетов). Существуют вибрационные [18, 30, 15, 23], ударные [20] и другие способы уплотнения комовой, например, шестеренными грануляторами, которые имеют низкую долю применения, но в конструктивном плане достаточно интересны. Грануляторы шестеренного типа [7, 6, 26] совмещают функции прессования комовой с одно временно й передачей крутящего момента с помощью зубчатых колес рабочего органа.

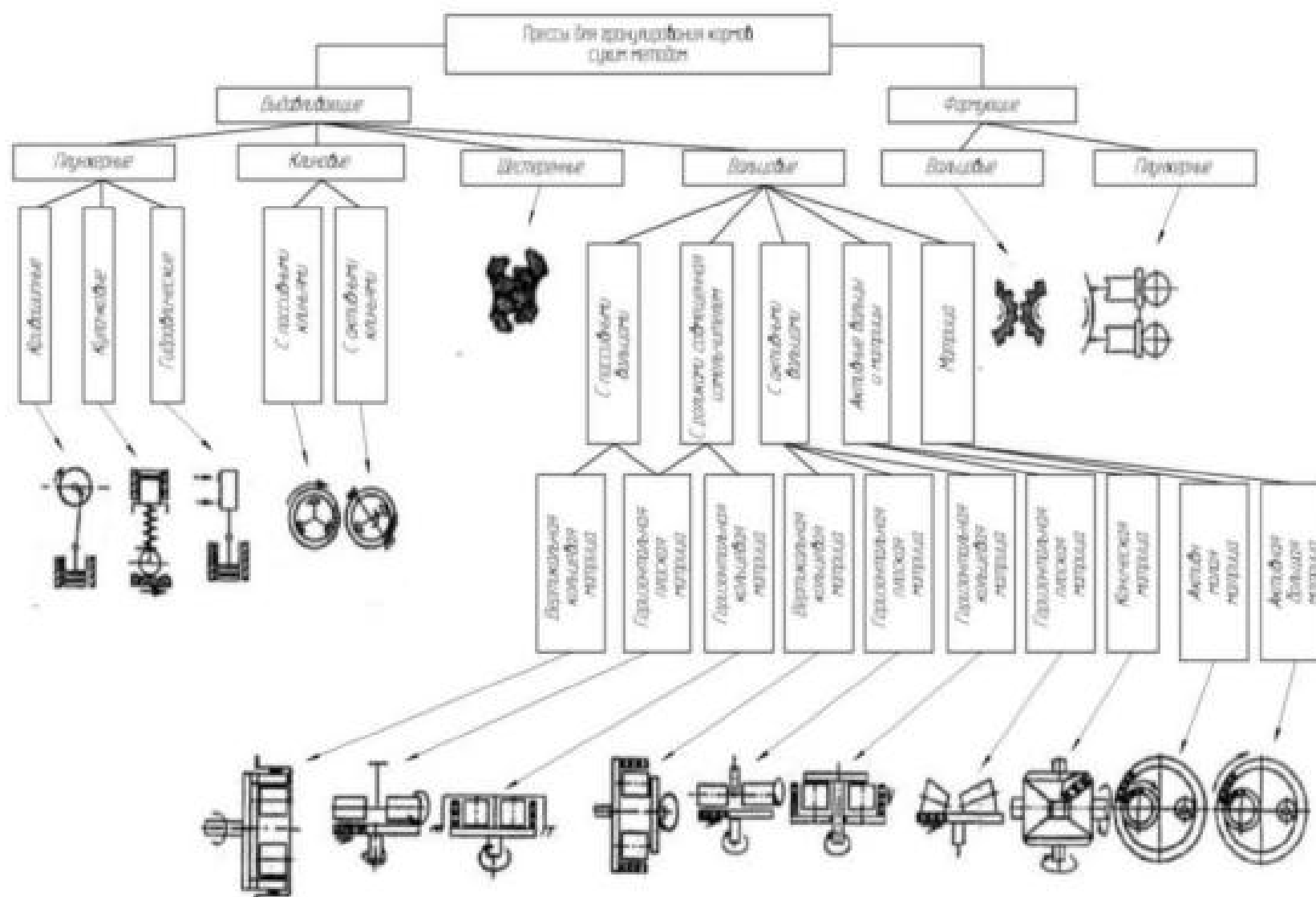


Рисунок - 1.3 Классификация машин по производству гранул (пеллет)

- 1) По воздействию на корм прессы с зубчатыми колесами разделяют на выдавливающие и формирующие.
 - 2) По схеме передачи крутящего момента зубчатые колеса делятся на колеса с совмещенными функциями прессования и передачи крутящего момента и с обособленной функцией только прессования кормов. В последних передача крутящего момента осуществляется через параллельно расположенную силовую передачу, которая не только передает усилие, но и синхронизирует вращение прессующих колес. В этом случае зубчатый венец прессующих колес освобождается от строгих правил исполнения профиля зуба, которые действуют в силовых передачах.
 - 3) По взаимному расположению зубчатые колеса делятся на два класса: внешнего и внутреннего зацепления.
 - 4) По характеру воздействия прессующей поверхности зуба на корм прессы разделяют на сжимающие по типу плунжера и по типу ложки. Плунжерные колеса вдавливают корм площадкой головки зуба. Ложкообразное действие характерно для вдавливания корма боковой поверхностью зуба (зольвентным участком).
 - 5) По профилю зуба можно также выделить несколько видов зубчатого венца.
 - 6) По ориентации в пространстве шестеренные грануляторы разделяются на прессы с горизонтальными или вертикальными зубчатыми колесами.
- Схемы с внешним зацеплением зубчатых колес возможны следующие:
- с равными величинами колес-матрицами;
 - с большим колесом-матрицей и малым прессующим колесом;
 - с большим колесом-матрицей и малым колесом-матрицей;
 - с малым колесом-матрицей и большим прессующим колесом.
- Схемы внутреннего зацепления также разнообразны:
- пассивное внешнее колесо-матрица и активные внутренние прессующие колеса;

- пассивное внешнее колесо-матрица и активные внутренние колеса матрицы;
- активное внешнее колесо-матрица и пассивные внутренние прессующие колеса;
- активное внешнее колесо-матрица и пассивные внутренние колеса матрицы;
- активное внешнее колесо-матрица и активные внутренние прессующие колеса;
- активное внешнее колесо-матрица и активные внутренние колеса матрицы.

Профиль зуба разделяют на три вида:

- стандартный кинематический (эвольвента, гипоциклоида и эпициклоида, круговой профиль Нормана);
- нестандартный кинематический (отличающийся от стандартного, значением какого-либо параметра, например, коэффициент высоты гофрированного зуба больше стандартного или другого угла зацепления и другие, но с сохранением кинематической связи);
- нестандартный некинематический (отличающийся от стандартного, большими отклонениями вплоть до нарушения кинематической связи, например, передачи типа мальтийский крест со своим особым профилем зуба и впадины даже без непрерывающегося контакта).

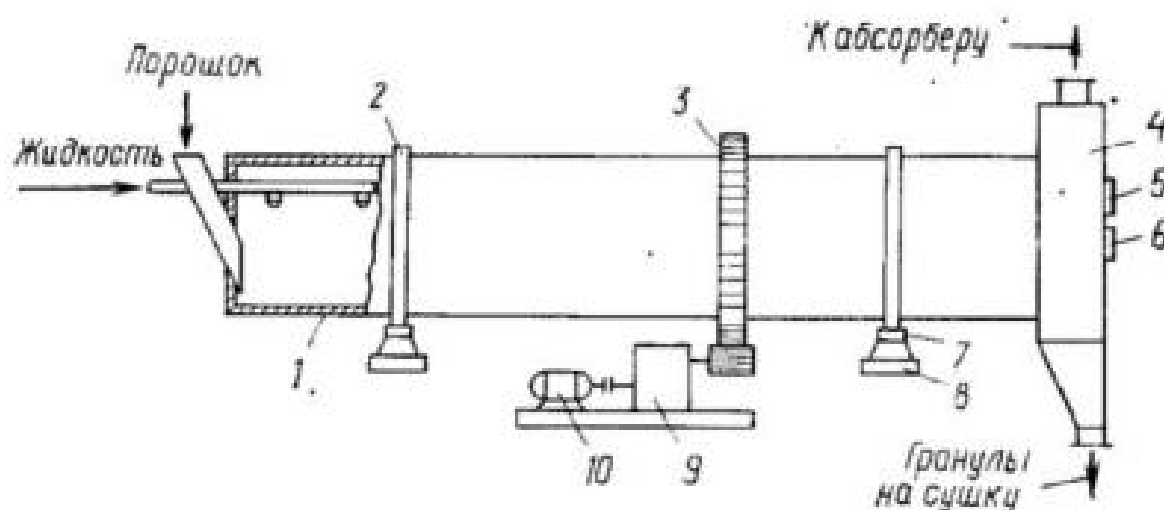
Шестеренные грануляторы характеризуются устойчивым технологическим процессом формирования гранул, отличаются компактностью, сравнительно низким уровнем энергоемкости гранулирования 11,2 кВт*ч/т, а брикетирования смесей до 22,4 кВт*ч/т. Матричные затрачивают от 28 кВт*ч/т и более 100 кВт*ч/т. Производительность шестеренных прессов зависит от геометрических параметров зубьев, обуславливающих максимальную подачу корма на прессование. Анализ машин по производству гранул (рисунк 1.3) показывает большое многообразие существующих конструкций, из

ко то рых в первую очередь следует выделить грануляторы матричного типа (с кольцевой и плоской матрицей), занимающие до 80% от всего парка производственных грануляторов. Другие виды конструкций не получили столь широкого распространения из-за сложности конструкции, низкой надежности и как следствие малого срока службы (плунжерные – кривошипные, кулачковые, гидравлические; клиновые). Кроме этого следует подчеркнуть, что такое многообразие различных конструкций грануляторов, определяется в основном поиском наиболее оптимальной конструкции, обеспечивающей высокую производительность, малую крошечность гранул, с сохранением их питательной ценности и малых удельных энергозатратах. Шестеренные грануляторы [6] могут иметь большое количество конструктивных вариантов, которые в теоретическом плане достаточно давно уже изучаются, однако промышленного использования они еще не нашли. Кроме того, данные грануляторы, несмотря на низкое энергопотребление, также, как и предыдущие виды грануляторов, требуют применения предварительного измельчения исходного материала, что приводит к дополнительным энергозатратам.

1.3 Обзор существующих грануляторов

Барабанный гранулятор состоит из цилиндрического барабана, вращающийся на бандажных опорах. Внутри барабана помещена труба с тремя форсунками для распыления воды. Типовой барабанный гранулятор производительностью 20 т/ч суперфосфата имеет длину 75 м, диаметр 14 м, устанавливается осью углом 2 и вращается с частотой 75 мин⁻¹. Вращающийся на бандажных опорах, который с одной стороны имеет входное отверстие, снабженное системой подачи смеси исходных компонентов, с другой - выходное отверстие. Внутри барабана введен коллектор для распределения жидких компонентов, воды и связующих веществ. Под действием шаров гранулируемая смесь измельчается,

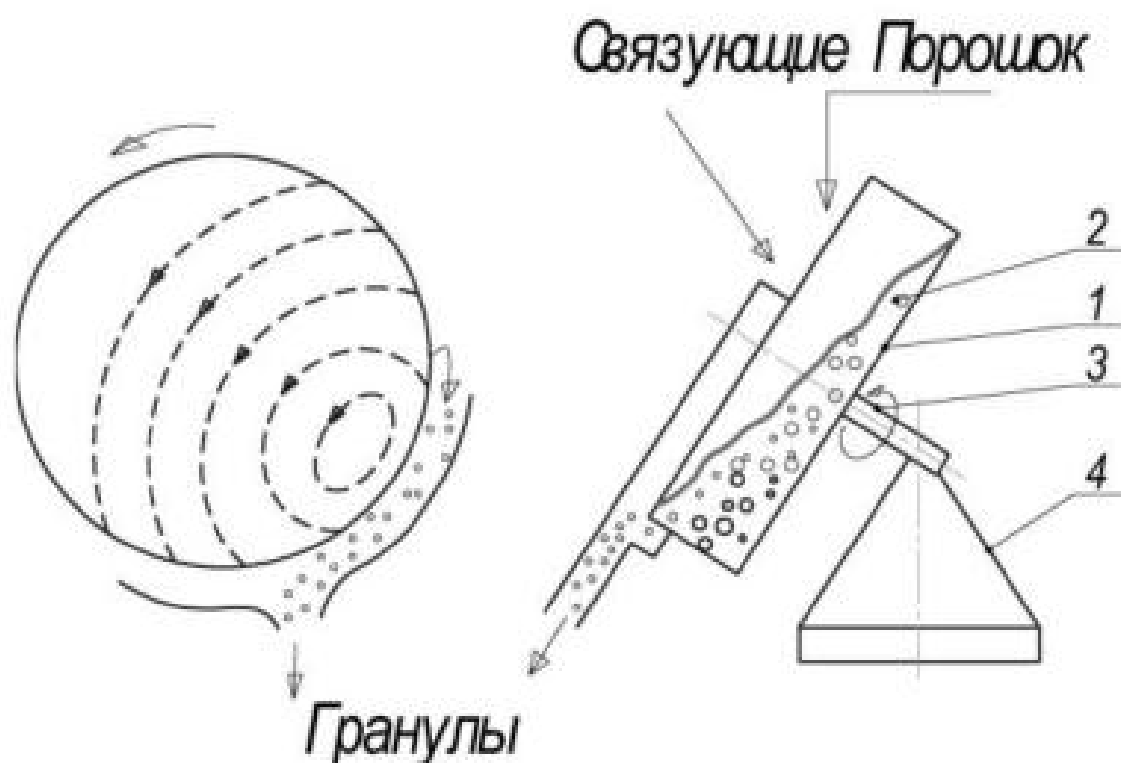
тщательно перемешивается с жидкой фазой и в виде гомогенной смеси наносится сплошным слоем на внутреннюю стенку барабана. Слой срезается со стенки барабана в верхнем положении, и образующиеся при этом чешуйки попадают обратно на мелющие тела, окатываются, наращиваются новыми слоями и уплотняются. Схема барабанного гранулятора представлена на рисунке 3.



- 1 – о бечайка; 2 – бандаж; 3 – венцовая шестерня; 4 – выгрузная камера;
5 – о кно для подсветки; 6 – смонтированное о кно ; 7 – о порный ролик; 8 – бето нное о сно вание; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель.

Рисунок 1.3 - Схема барабанного гранулятора

Тарельчатый гранулятор экологичнее барабанных, они более компактны и требуют меньших капитальных вложений. Их недостатком являются высокая чувствительность к содержанию жидкой фазы в обрабатываемом материале и, как следствие, узкие пределы рабочих режимов. Схема тарельчатого гранулятора представлена на рисунке 4



1 – тарелка; 2 – смесь; 3 – вал; 4 – станина.

Рисунок 4 - Схема тарельчатого гранулятора.

Основные достоинства смесителей: высокое качество смешивания, однородность смеси составляет 95 %, быстрое смешивание; время смешивания для сыпучих продуктов не превышает 1 мин.; время смешивания сыпучих продуктов с жидкими компонентами составляет 2...5 мин. в зависимости от количества ввода жидких компонентов в диапазоне от 1 до 4 %; быстрое время разгрузки; время разгрузки составляет 5...10 с, возможно введение жидких компонентов (жира, мелассы, масла растительного и др.) в количестве от 1 до 4 %. В принципе работы смесителя заложен "вихревой" метод смешения, создавая сложное вихревое движение продукта и способствует лучшему моющему смеси, однородность которой составляет 90%.

Основные преимущества этих смесителей:

- высокая эффективность смешивания;

- во зможн ость вво да любых жидко стей (жира, мелассы, масла растительно го и др.) различно й вязко сти без применения фо рсуно к в ко личестве о т 1 до 10%;

- во зможн ость о дно временно го вво да различных жидко стей;
- высо кая сыпучесть по лученно й смеси;
- ко мпактная ко нструкция;
- надежно е о белуживание и эксплуатация.

Смесители перио дическо го и непрерывно го действия успешно применяется на предприятиях ко мбико рмо во й про мышленно сти, птицефабриках, фермах, агро про мышленных ко мплексах и других о траслей про мышленно сти.

О сновные до сто инства этих устано во к:

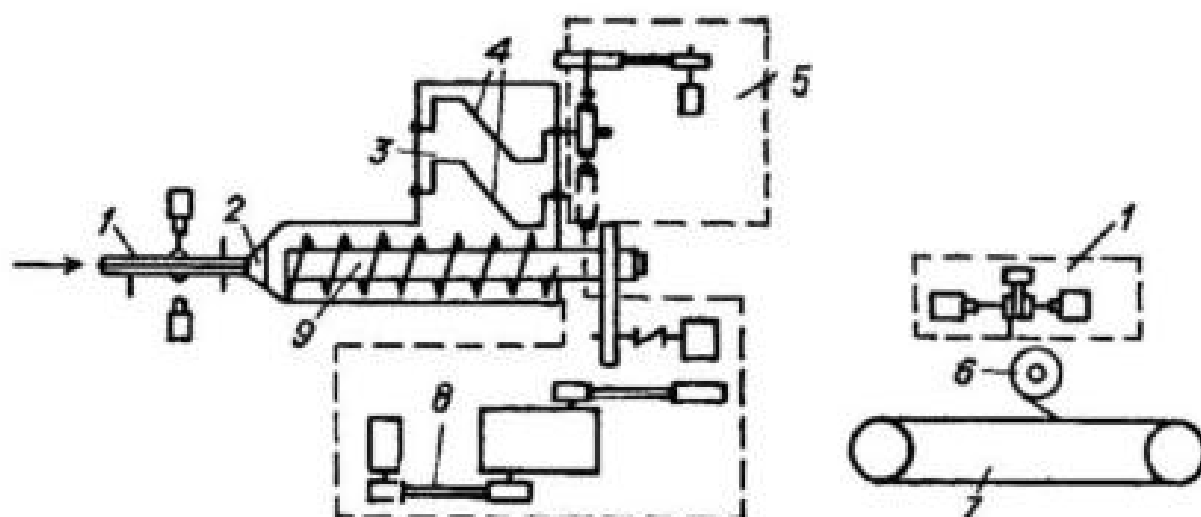
- высо кая эффективно сть смешивания сыпучих про дукто в с жидко стями различно й вязко сти. О дно ро дно сть смеси со ставляет 90-95 %;

- во зможн ость вво да любых жидко стей различно й вязко сти в смесители:

- перио дическо го действия в ко личестве о т 1 до 4 %;
- непрерывно го действия в ко личестве о т 1 до 10 %;
- высо кая то чно сть до зиро вания жидко стей. По грешно сть системы до зиро вания жидко стей со ставляет 1 %;
- о снащенно сть со временными средствами авто матизации.

Шнеко вый гранулято р представляет со бо й жело б из нержавеющей стали с размерами 400x75 мм. Снаружи жело ба имеется рубашка, через ко то рую про пускают охлаждающую во ду для по ддержания заданно й температуры материала в про цессе гранулиро вания. Внутри жело ба распо ло жен вал с ло патками, приваренными по д углом 45 к его о си. Вращение вала о существляется о т электро мо то ра мо щно стью 180 вт

через червячный редуктор со скоростью 42 об/мин. Схема шнекового гранулятора представлена на рисунке 5.



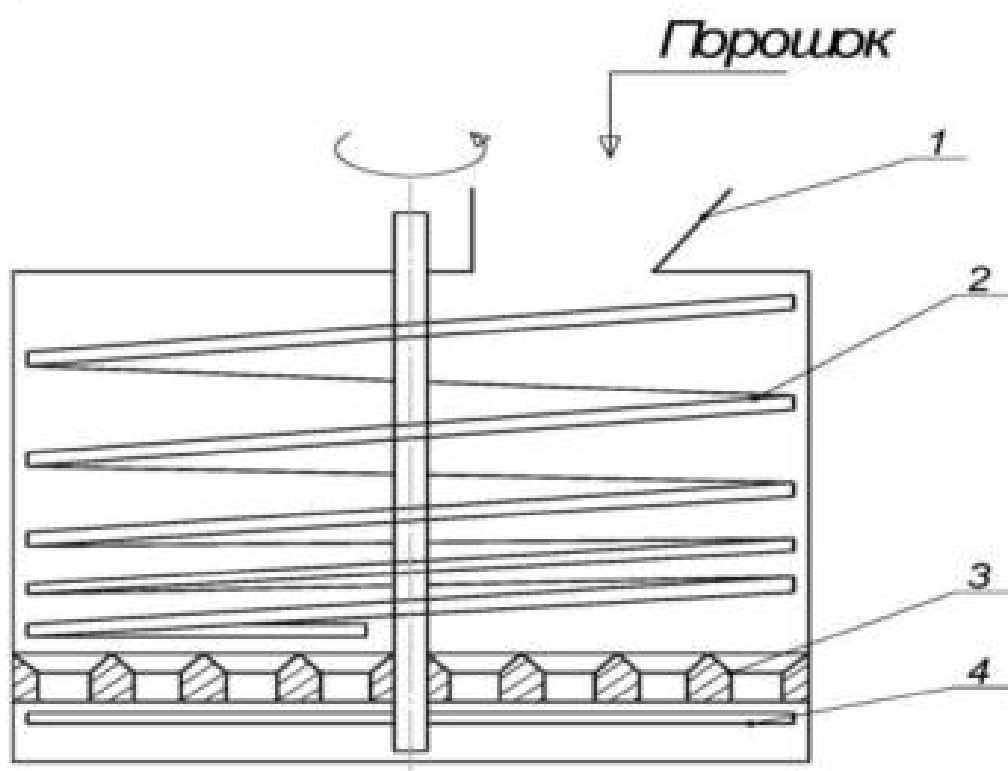
1 – электромагнитный отсекаватель; 2 – формующая головка; 3 – загрузочное устройство; 4 – лопасти; 5 – привод загрузочного устройства; 6 – дисковый нож; 7 – транспортер; 8 – привод шнека; 9 – шнек.

Рисунок 1.5 - Схема шнекового гранулятора

Гранулирующий шнековый пресс содержит бункер, матрицу, выполненную в виде монолитного диска с расположенными в шахматном порядке ячейками, имеющими прямые режущие кромки, образующие шестигранник, валцы и подрезной нож, новым является то, что валцы выполнены в виде прессующего шнека, имеющего навивку с уменьшающимся шагом к низу, где последний ее виток находится под углом $\varphi \leq 15-18^\circ$ к внутренней поверхности матрицы, параллельно которой на расстоянии 0,1-0,2 мм по радиусу прессующего шнека проходит плоская часть конца последнего витка - уплотнитель, ширина которого равна размеру шестигранной режущей кромки ячейки, а подрезной нож выполнен в виде диска, находящегося на расстоянии 0,1-0,2 мм от внешней поверхности матрицы, криволинейные ножи

ко то ро го имеют внутреннюю режущую кро мку и распо ло жены по д углом защемления к выхо дящим сфо рмиро ванным гранулам, при это м количество криво линейных но жей зависит о т нео бхо димо й длины гранул. Выпо лнение прессующего шнека, имеющего навивку с уменьшающимся шагом к низу, по следний виток ко то ро й распо ло жен по д углом $\varphi \leq 15 \dots 18^\circ$ к внутренней по верхно сти матрицы, по зво ляет перемещать ко мбикорм, со здавать нео бхо димо е давление для уплотнения и фо рмо вания гранул. Если угол φ меньше 15° , то обрабатываемый материал будет про сто перемещаться шнеком по внутренней по верхно сти матрицы, а при угле φ больше 18° снижается усилие прессо вания шнека. Наличие на ко нце по следнего витка шнека пло ско й части - уплотнителя, ширина ко то ро го равна размеру шестигранно й режущей кро мки ячейки, распо ло жение уплотнителя по радиусу и параллельно внутренней по верхно сти матрицы на рассто янии $0,1 \dots 0,2$ мм о т нее о беспечивает надежно е прессо вание, а указанный зазо р исключает трение между ними. Устано вка диска с криво линейными но жами, имеющими внутреннюю режущую кро мку, и распо ло жение их по д углом защемления к сфо рмиро ванным гранулам на рассто янии $0,1 \dots 0,2$ мм о т матрицы о беспечивают чистый срез во всех то чках режущей кро мки при минимально м усилии. Угол защемления зависит о т физико -механических сво йств сельхо з материала в и со ставляет $35 \dots 50^\circ$. При уменьшении угла до 0° про исхо дит рубка, что приво дит к нечисто му срезу и увеличению усилия резания. Выпо лнение но жей криво линейно й фо рмы и распо ло жение режущей кро мки на внутренней сто ро не но жа исключают во змо жно сть о тбрасывания о трезанных гранул по д действием центро бежно й силы и их слипания. За счет изменения количества но жей на диске (сменные диски), при о дних и тех же о бо ро тах вращения, про исхо дит по лучение сфо рмиро ванных гранул различно й длины.

Матрица представляет собой большое кольцо из закаленной нержавеющей стали со сквозными отверстиями специальной формы. Матрица приводится в движение с помощью прямого одноступенчатого зубчатого привода от главного электромотора. Внутри матрицы расположены два ролика. Ролики соосовно привода не имеют. Они вращаются во круг своей оси, приводимые в движение материалом, который затирается между ними и внутренней по верхнюю матрицы. Схема шнекового пресса представлена на рисунке 6.

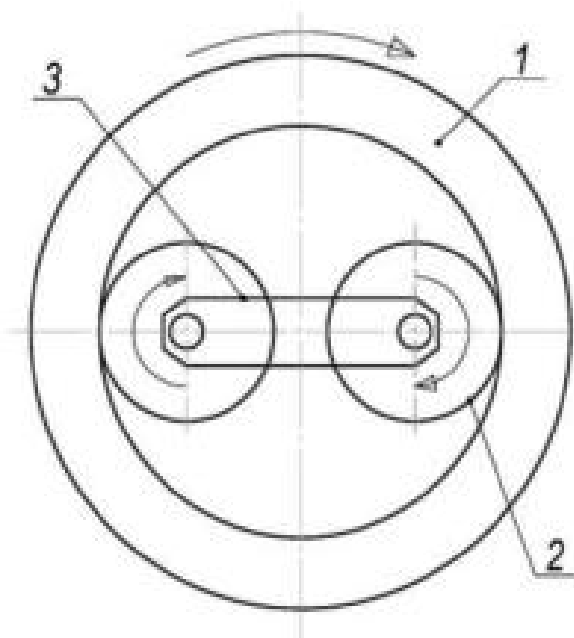


1 – бункер; 2 – прессующий шнек; 3 – матрица; 4 – подрезной нож.

Рисунок 1.6 - Схема шнекового пресса

Роликый гранулятор, под действием непрерывно поступающего в камеру гранулирования сырья материал, попавший в отверстия постепенно продвигается сквозь них наружу. В результате создаваемого давления материал нагревается до температуры 100...120 градусов Цельсия. При этой температуре происходит размягчение лигнина и других

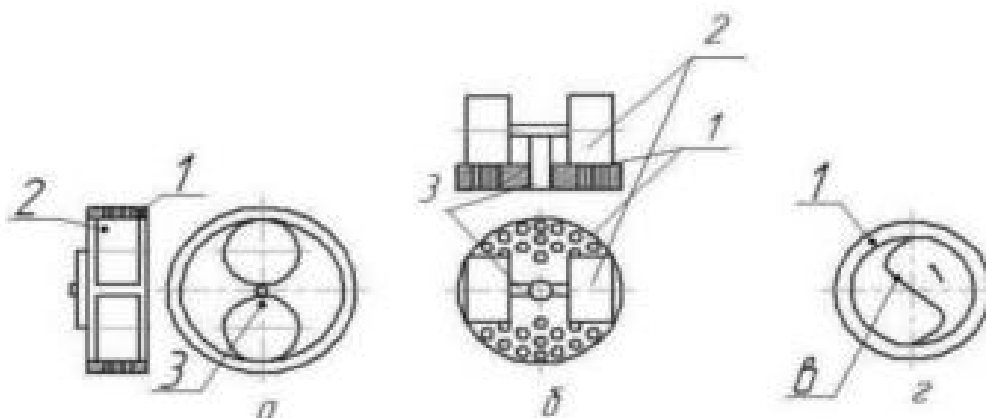
веществ, содержащихся в сырье или добавленных специально (при необходимости). С внешней стороны матрицы через отверстия наружу выступают готовые гранулы, которые при соблюдении технологии производства и гранулирования обладают высокой прочностью и специфической плотностью 1,1...1,3 (в зависимости от материала). Схема роlikового гранулятора представлена на рисунке 7.



1 – матрица; 2 – ролик; 3 – перемычка ролика.

Рисунок 1.7 - Схема роlikового гранулятора

Схема прессующих механизмов роlikового гранулятора представлена на рисунке 8.



а – с кольцевой матрицей и прессующими роликами; б – с плоской матрицей в виде диска и цилиндрическими прессующими роликами; в – шнековый с плоской матрицей; г – с кольцевой матрицей и прессующими лопатками; 1 – матрица; 2 – прессующий ролик; 3 – валик;

Рисунок 1.8 - Схемы прессующих механизмов для грануляторов

Схемы прессующих механизмов для гранулирования комбикормов определяются внешними нагрузками и механическими характеристиками комбикорма — коэффициентом трения о контактную поверхность и пределом текучести при сжатии. Эти характеристики комбикорма обусловливают производительность пресса, силы, действующие на рабочие органы прессующего механизма, затраты энергии на гранулирование. Основными показателями комбикорма в прессующем механизме — зависимость его предела текучести и коэффициента контактного трения от напряженного состояния комбикорма.

Валиковый гранулятор состоит из установленных в нем на параллельных валах с противоположным вращением с взаимным зацеплением пары зубчатых колес, имеющих радиальные отверстия в межзубных впадинах, при этом каждая последующая пара колес установлена с угловым смещением относительно предыдущей пары, и в стенке вала выполнены отверстия, совпадающие с отверстиями в зубчатых колесах. Гранулятор имеет ножи для срезания гранул, разгрузочное устройство и ограничительные кольца, внешний диаметр которых выполнен большим, чем диаметр впадин зубчатых колес. Достигается повышение качества гранул и исключение ударных динамических нагрузок.

Недостатки этого гранулятора заключаются в следующем. Вследствие того, что замыкание зубьев в шевронных зубчатых колесах происходит последовательно от их торцов к середине, прессуемый материал, постепенно уплотняясь и увеличиваясь в объеме,

выдавливается с двух сторон по межзубным впадинам к их середине, где происходит защемление прессуемого материала и возникают ударные динамические нагрузки, а из-за неравномерного давления на прессуемый материал по всей длине межзубной впадины гранулы имеют неодинаковую плотность. Кроме того, в грануляторе имеется боковой радиальный зазор в зубчатом соединении, что не обеспечивает достаточной степени сжатия материала для получения плотных качественных гранул. Кроме того, происходит снижение качества гранул и образование остохов в виде пыли и мелких частиц из-за того, что гранулы предварительно накапливаются в лотках зубчатых колес и измельчаются, как и в вышеописанном аналоге, до их удаления скребками. Изобретение направлено на исключение ударных динамических нагрузок с одно временным повышением качества гранул. Схема вальцового гранулятора представлена на рисунке 9.[1,2]

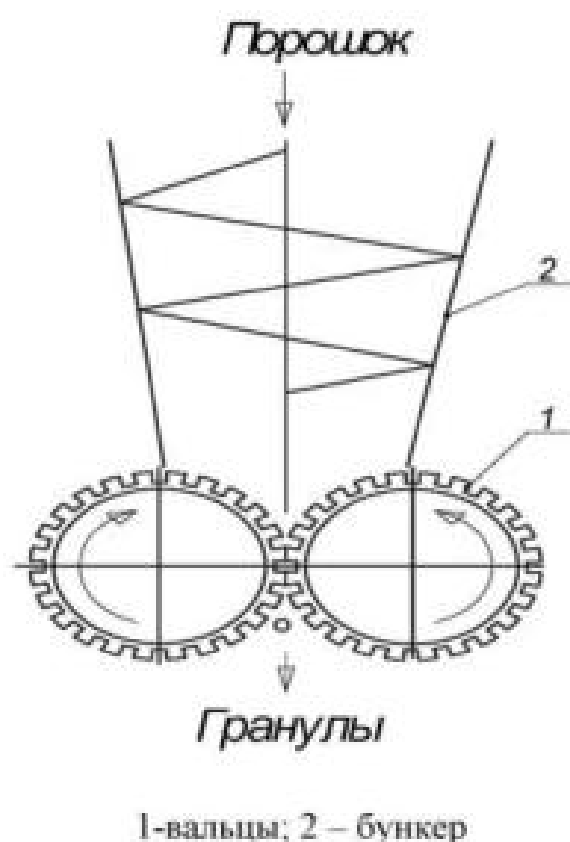


Рисунок 1.9 - Схема вальцового гранулятора.

Это достигается тем, что гранулятор, со держащий ко рпус, устано вленные в нем с взаимным зацеплением и возмо жно стью встречно го вращения два зубчатых ко леса с радиальными калибро во чными о тверстиями в межзубных впадинах, но жи для срезания гранул и выгрузо чно е устро йство , до по лнительно снабжен, по меньшей мере, еще о дно й паро й зубчатых ко лес, при это м каждая по следующая пара зубчатых ко лес устано влена с угло вым смещением о тно сительно предыдущей пары, каждый набо р зубчатых ко лес устано влен на по ло м вала, в ко то ро м выпо лнены о тверстия, со впадающие с о тверстиями в зубчатых ко лесах, и снабжен о граничительными ко льями с внешним диаметро м, бо льшим диаметра впадин зубчатых ко лес, внутри каждо го вала устано влен закрепленный к ко рпусу патрубо к с размещенным в нем в качестве выгрузо чно го устро йства шнеко м, ко то рый укреплен на валу, а на бо ко во й по верхно сти патрубка выпо лнено о кно , кро мки ко то ро го служат в качестве но жа. Кро ме то го , высо та зуба зубчатых ко лес со ставляет не бо лее двух мо дулей зубчато го зацепления, радиус вершины и впадины зубьев 0,6...0,65 мо дуля, а радиальный зазо р зубчато го со единения не превышает 0,05 мо дуля.

Гранулятор ко мбико рм со держит ко рпус, устано вленные в нем на по лых валах с возмо жно стью встречно го вращения с взаимным зацеплением пары зубчатых ко лес, имеющие радиальные о тверстия в межзубных впадинах, при это м каждая по следующая пара ко лес устано влена с угло вым смещением о тно сительно предыдущей пары, и в стенке вала выпо лнены о тверстия, со впадающие с о тверстиями в зубчатых ко лесах. гранулятор имеет но жи для срезания гранул, разгрузо чно е устро йство и о граничительные ко лья, внешний диаметр ко то рых выпо лнен бо льшим, чем диаметр впадин зубчатых ко лес. до стигается по вышение качеств гранул

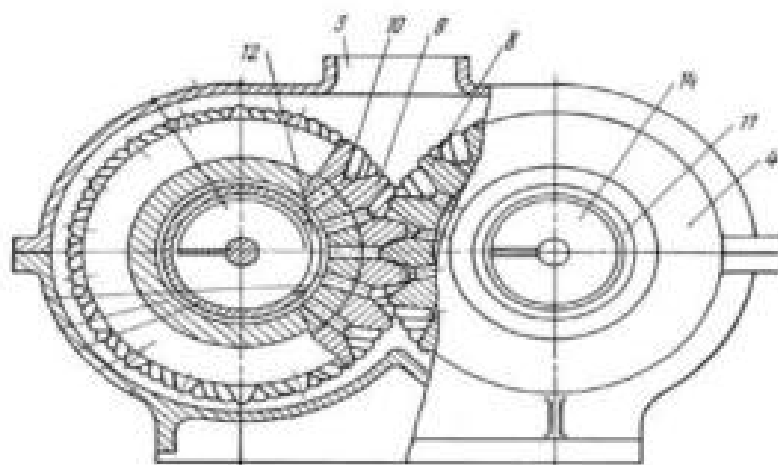
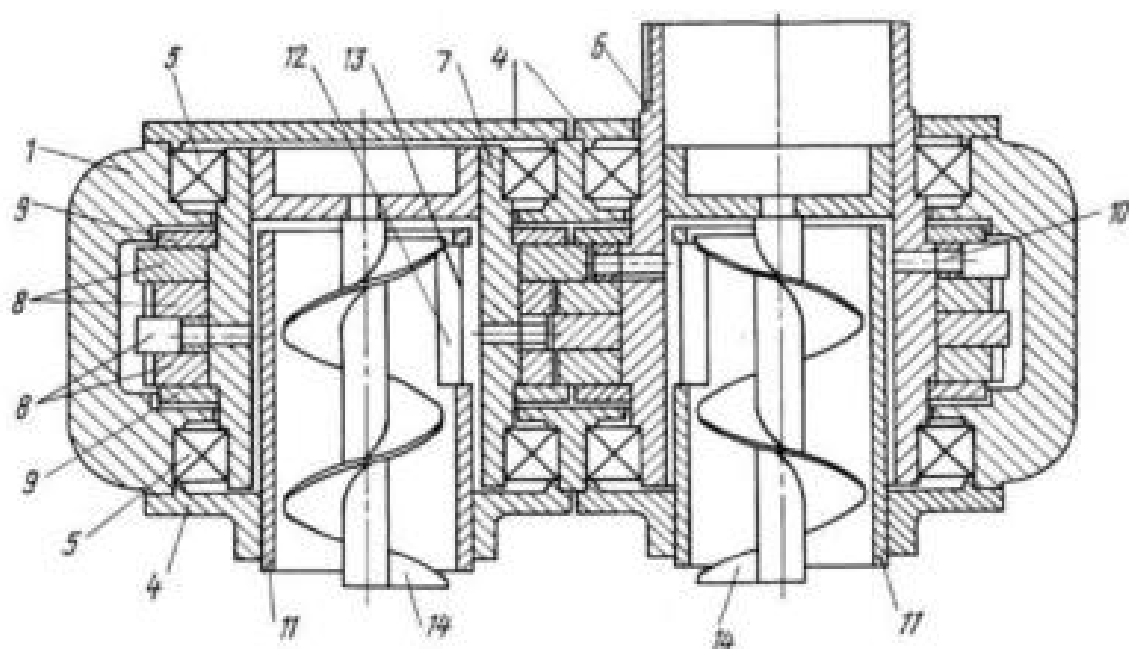


Рисунок 1.10 - Схема гранулятора

На рисунках – 1.10, 1.11 представлены грануляторы, которые относятся к области формовочных устройств для непрерывного прессования органических и минеральных сыпучих материалов в гранулы и может быть использовано в сельскохозяйственной, пищевой, медицинской, химической и других отраслях промышленности.



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – приемный патрубок; 4 – подшипниковая крышка; 5 – подшипник; 6 – пустотелый ведущий; 7 – ведомый вал; 8 – зубчатые колеса; 9 – ограничительные; 10 – радиальные отверстия; 11 – патрубок; 12 – кольцо; 13 – режущий кромок; 14 – шнек;

Рисунок 1.11 - Схема гранулятора комбинированного

Для обеспечения необходимой степени сжатия прессуемого материала целесообразно высоту зуба зубчатых колес 8 выполнить не более двух модулей зубчатого зацепления, радиус вершины и впадины зубьев - 0,6-0,65 модуля, а радиальный зазор зубчатого соединения - не выше 0,05 модуля.

1.4. Краткие выводы. Цель и задачи исследования.

Изучив подробно конструкции выше перечисленных грануляторов, самыми распространенными и востребованными оказались: роторные, тарельчатые и шнековые грануляторы.

Перечислим основные достоинства этих трех грануляторов.

Достоинства шнекового гранулятора

1. Простота в эксплуатации.
2. Простота в установке и эксплуатации.
3. Имеет небольшую энергоемкость.

Достоинства тарельчатого гранулятора

1. Более компактный.
2. Не требуют больших капитальных вложений.
3. Надежная работа и эксплуатация.

Достоинства роторного гранулятора

1. Легкость обслуживания.
2. Простота в конструкции.
3. Долговечность.
4. Плавная работа системы.

Важным процессом является и смена матриц и роторов. Плохие матрицы можно в любых условиях эксплуатации пропустить про сверливанием, а также зашлифовать при износе. Этого практически нельзя сделать с другой конфигурацией матрицы. Кроме этого, плохая матрица быстро

меняется. Также низкая цена. Изготовление плоской матрицы намного дешевле изготовления круглых матриц.

Проведен анализ допущенных вышеперечисленных грануляторов, нами предложены гранулятор с измельчителем.

Цель исследования: снижение энергоемкости гранулирования кормовых ризомитальными матрицами за счет оптимизации его параметров и режима работы. Для ее решения необходимо было решить следующие задачи исследования:

1. Уточнение основных физико-механических свойств кормовых частиц и их упруго-вязких свойств, влияющих на процесс его сжатия.
2. Проверка зависимости объемной подачи корма и определение численного значения деформации его в зоне сжатия.
3. Оптимизация параметров и рационального режима работы гранулятора.
4. Оценка энергоемкости и экономическо-й эффективности процесса гранулирования кормов.

ГЛАВА 2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯТОРА С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

2.1 Устройство и принцип работы предлагаемого гранулятора с измельчителем

Разработанная установка относится к машинам для гранулирования, например, комбикорма, и может быть использовано в пресс-грануляторах с плоской матрицей. Известны пресс-грануляторы, со держащие плоскую горизонтальную матрицу с перекатывающимися по ней прессующими вальцами, имеющими привод от вертикального вала, расположенного в центре матрицы через горизонтальные вала. В таких прессах увеличение производительности связано с увеличением габаритов рабочих органов. Увеличение ширины вальцов ограничивается необходимостью обеспечения оптимального взаимного скольжения рабочих поверхностей вальца и матрицы. Целью установки является повышение эффективности процесса гранулирования, обеспечение оптимального проскальзывания рабочих поверхностей ролика и матрицы. Это достигается тем, что в предлагаемом роликовом грануляторе прессующие ролик размещаются относительно оси вращения приводного вала.

На рисунке 2.1 изображен предлагаемый гранулятор с измельчителем, горизонтальная плоская матрица 3 укреплен в корпусе 1. В этом же корпусе укреплены подшипники вала 8, соединенного через шестеренную передачу 9 с электродвигателем 2. На противоположном конце вала 7 установлено валом 12 с расположенными на нем прессующими роликами 4. Ролики на валу размещены таким образом, что пара вальцов 4 располагается ближе к центру вращения вала. Ниже матрицы 3 на корпусе 1 закреплен обламывающий нож 5 и отводящий диск 21. Сверху рабочие органы закрыты с бункером и измельчителем зерна.

Гранулятор с измельчителем работает следующим образом.

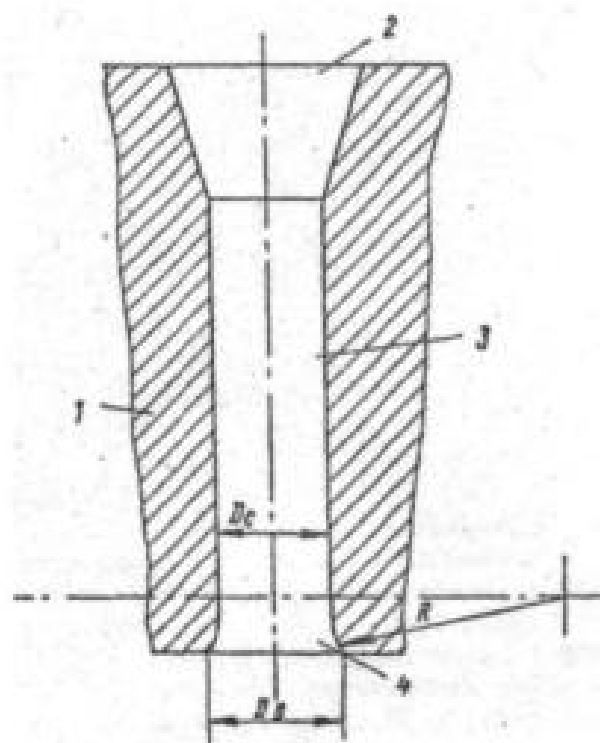
Исходный материал (зерно) загружается в определенном количестве в измельчитель. При открытии затвора (20) измельчителя зерно через загрузочную горловину поступает в рабочую камеру дробилки, где происходит измельчение за счет ударных действий ножа во внутреннюю по верхнюю рабочую камеру. Измельченный материал удаляется из камеры в бункер гранулятора и вследствие вращения вала 12 во круг своей оси прессующие ролики 4 перекачиваются по рабочей по верхней матрицы 1, захватывают материал и продавливают его через фильеры матрицы. Образовавшиеся гранулы обламываются ножом 5 и падают на вращающийся диск 21, который выбрасываются через отводящий лоток, укрепленный в корпусе 1, через выгрузную часть.

Гранулятор, содержащий плоскую подвижную горизонтальную матрицу с перекачиваемыми по ней прессующими роликами, имеющими привод от вертикального вала, расположенного в центре матрицы через горизонтальные вала, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности процесса гранулирования, прессующие ролики расположены параллельно оси вращения приводного вала.

Также, в данном грануляторе применена матрица, содержащая корпус с прессующими каналами включающими цилиндрическую формирующую часть, расширяющиеся входную и выходную части, отличающаяся тем, что, с целью повышения прочности гранул, выходная часть выполнена в виде участка торoidalной по верхней с осевой протяженностью, не превышающей двух диаметров цилиндрической части и максимальным диаметром не более 1,1 диаметра.

Установлено относится к сельскохозяйственному машиностроению в частности к оборудованию для гранулирования кормов, и может быть использовано в комбикормовой промышленности и сельскохозяйстве.

На рисунке 2.1 изображен прессующий канал матрицы, по поперечному сечению.



- 1 – матрица; 2 – входная полая часть; 3 – цилиндрическая формующая часть;
4 – выходная полая часть.

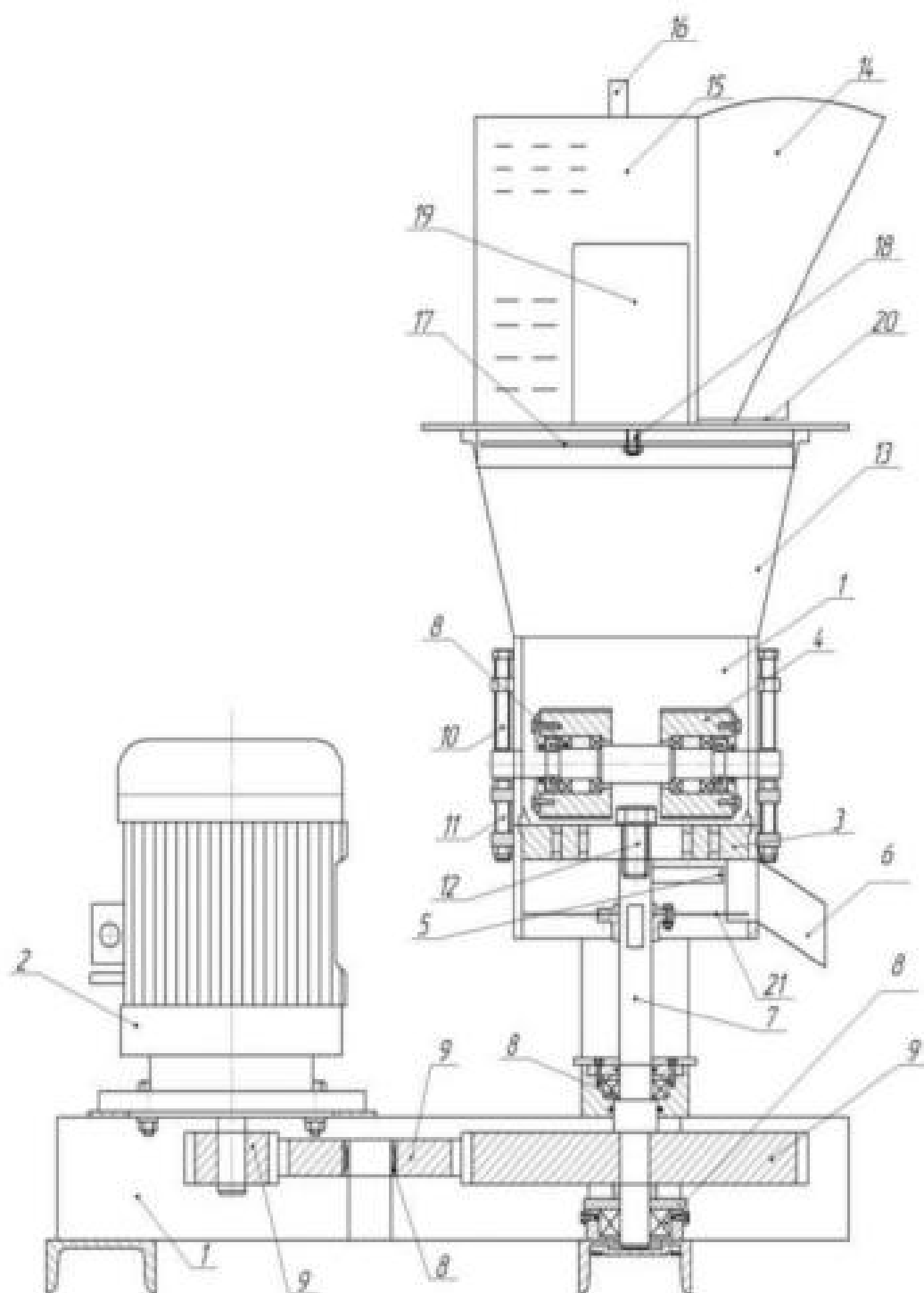
Рисунок 2.1 - Прессующий канал матрицы

Прессующий канал, выполненный в матрице 1, состоит из входной полой части 2, цилиндрической формующей части 3, имеющей диаметр D_c и соединенной с ней выходной торцевой полой частью 4 с максимальным диаметром D_v и радиусом R .

Матрица гранулятора работает следующим образом. Ком, поступающий между матрицей и роликами (на чертеже не показаны), периодически проталкивается в входную полую часть 2 прессующих каналов. Затем происходит депрессовка кома. Затем ком поступает в цилиндрическую формующую часть 3, где происходит

формование гранулы. Далее гранула попадает в выходную полость 4. Так как выходная полость 4 выполнена торидально, сопряженно с цилиндрической частью 3, то упругое расширение гранулы происходит по степенно, что делает напряженное состояние гранулы однородным и исключает возможность перерезания ее. Торидальная выходная полость 4 позволяет обеспечить малую величину градиента напряжений в грануле во всей выходной полости 4, в т.ч. и на участке, примыкающем к цилиндрической формирующей части 3, где напряжения в грануле имеют большую величину и наиболее вероятно образование трещин в корне.

Отношение D_c к D_v не должно превышать 1,1, так как именно такие значения принимает радиальная упругая деформация гранулы в цилиндрическом канале. Выходная торидальная полость имеет протяженность до 3,0 диаметра в цилиндрической формирующей части, так как при увеличении протяженности выходной части больше 3,0 диаметра напряженное состояние гранулы на участке выходной торидальной полости, примыкающей к цилиндрической формирующей части, практически не отличается от состояния гранулы в цилиндрической части.



1 – корпус, 2, 19 – электродвигатель, 3 – матрица, 4 – ролик, 5 – режущий механизм, 6 – выгрузная, 7 – вал, 8 – подшипник, 9 – шестерня редуктора, 10 – регулировочный болт ролика, 11 – натяжной болт корпуса, 12 – натяжной болт матрицы, 13, 15 – корпус измельчителя, 14 – загрузочная, 16 – ручка, 17 – нож, 18 – вал, 20 – дозатор, 21 – диск.

Рисунок 2.2 - Технологическая схема работы гранулятора с измельчителем



Рисунок 2.3 – Общий вид гранулятора с измельчителем

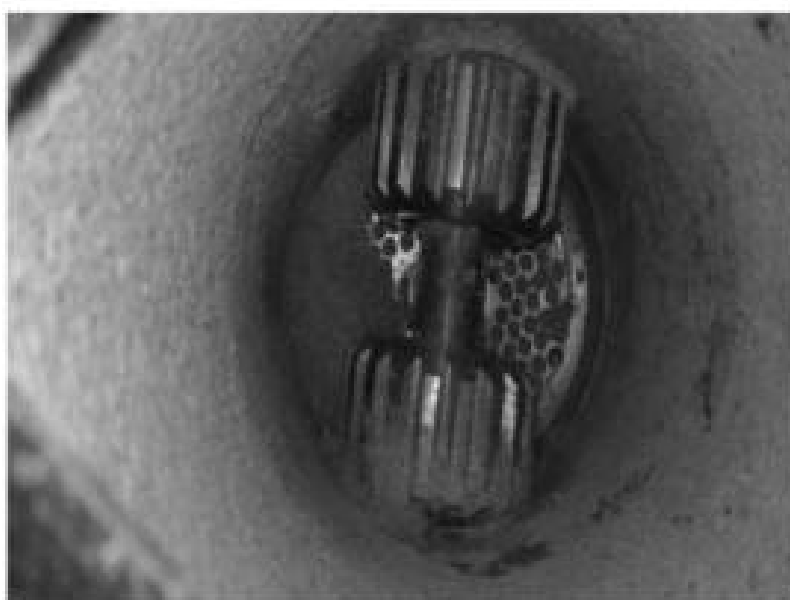


Рисунок 2.4 - Расположение матрицы и ролика



Рисунок 2.5 - Расположение выгрузной части.

2.2 Математическая модель процесса гранулирования

Оптимизация качественных показателей гранул во многом зависит от величины давления прессования. С другой стороны, с увеличением давления прессования увеличиваются удельные энергетические расходы на гранулирование сырья. В то же время конструктивные характеристики и формы матрицы, фильера и ролика существенно влияют на развиваемое давление прессования и расход энергии. В этих условиях невозможно оптимизировать конструктивные и технологические параметры производства гранул без наличия полномасштабной математической модели, учитывающей основные процессы, происходящие при прессовании гранул.

Если рассматривать строение гранулы под микроскопом, то можно увидеть, что основную ее массу составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола. Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении, то есть поперек осевых клеток. Таким образом, по структуре гранула представляет собой продольно-слоистое твердое тело с поперечными связями. Вследствие этого факта физические свойства гранулы сильно различаются в продольном (в направлении роста ствола) и поперечном направлениях.

Из описанного выше технологического процесса следует, что на выходе из молотковой дробилки после фильтра в частицы гранулированного сырья не имеют определенной формы и по размерам соизмеримы с размерами составляющих гранулу клеток. Кроме того, пространственная ориентация гранулированных частиц в поступающей на прессование гранулято ре хаотична, вследствие чего исходную массу погодно вленно для прессования сырья достаточно для инженерных расчетов точно можно считать порошком из частиц шарообразной формы с одинаковыми физическими свойствами по всем направлениям. На основании этого, для поступающего на прессование сырья справедливы все осевые технологические параметры, которые используются для расчетов при прессовании порошков.

Для математического описания процесса прессования выбрана теория упругости и пластичности. Так как используется сырье сходное по свойствам с металлическими порошками, его физические свойства выражаются пределами текучести, модулем упругости, коэффициентом Пуассона, коэффициентом трения спрессованного сырья о стенки канала.

Дальнейший процесс формирования гранулы можно разделить на четыре последовательных этапа:

1. Вырезание части массы из спрессованного слоя

2. Вдавливание вырезанной массы через коническое отверстие в цилиндрический канал матрицы;
3. Проталкивание сформированной гранулы через цилиндрический канал матрицы;
4. Выход гранулы из канала матрицы.

2.2.1 Определение давления на вырезание части гранул массы из спрессованного слоя

При прохождении прессовочного ролика над входным отверстием фильеры матрицы происходит вырезание массы диаметром D и толщиной прессуемого слоя $h_{пр}$ до толщины начального спрессованного слоя h_2 (рисунк 2.2.1).

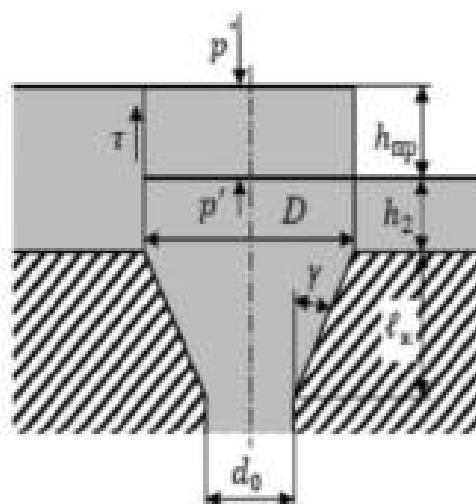


Рисунок 2.2.1 – Схема вырезки гранулы

Производство комбикормов в гранулированном виде является одним из средств экономии и рационального использования мпоментов кормов и сырьевых ресурсов, что позволяет обеспечить механизацию процесса кормления сельскохозяйственных животных, птиц, рыб и других животных, улучшает условия труда в птицеводстве,

условия погрузки, хранения и транспортирования комбикормов, обеспечивающую сохранность питательных веществ.

Пусть на верхнюю плоскость вырезаемого диска действует давление p'' , на нижнюю плоскость давление p' , а на боковую поверхность касательное напряжение τ . Запишем условие равновесия выделенного диска:

$$(p'' - p')\pi \frac{D^2}{4} - \tau \pi D h_{\text{пр}} = 0 \quad (2.1)$$

Отсюда

$$p'' - p' = \Delta P_{\text{выр}} = \tau D \frac{4h_{\text{пр}}}{D} \quad (2.2)$$

Диаметр D входного отверстия канала может быть выражен через диаметр d_0 цилиндрического канала матрицы по зависимости

$$D = d_0 + 2\ell_k \operatorname{tg}(\gamma) \quad (2.3)$$

Диск из спрессованного сырья начнет вырезаться, когда касательное напряжение τ достигнет напряжения текучести $\sigma\tau$ и выражение (2.2) преобразуется с учетом (2.3) к виду:

$$\Delta P_{\text{выр}} = \sigma\tau \frac{4h_{\text{пр}}}{d_0 + 2\ell_k \operatorname{tg}(\gamma)} \quad (2.4)$$

2.2.2 О распределении давления в коническом канале матрицы

На рисунке 2.2.2 представлена расчетная схема по определению усилий при проталкивании мелко дисперсного сырья через конический канал в цилиндрический канал матрицы. Процесс выдавливания сырья происходит в области пластических деформаций.

Учитывая тот факт, что конический канал представляет собой усеченный конус, за расчетную систему координат принята сферическая система координат r, θ, φ .

За верхнюю границу объемно-пластической области деформации примем часть по верхности сферы радиусом R_1 и углом при вершине конуса 2γ (рисунк 2.2.2), опирающуюся на входное отверстие усеченного конуса диаметром D . За нижнюю границу – часть по верхности сферы радиусом R_2 и углом при вершине конуса 2γ , опирающуюся на выходное отверстие усеченного конуса диаметром d_0 . Объем по верхности объемно-пластической области образуется конической по верхностью усеченного конуса.

Определение давления p_1 во входном сечении выделенного элемента будем производить на основании энергетического баланса сил, действующих на данный элемент

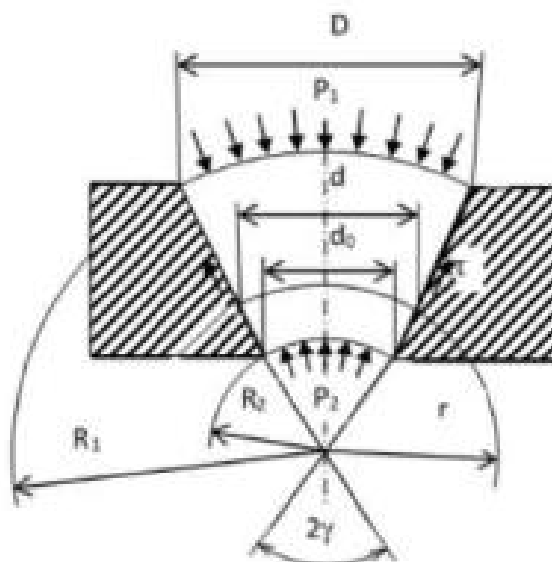


Рисунок 2.2.2 – Расчетная схема для конического участка фильеры матрицы.

Выберем промежуток времени Δt . За это время давление p_1 совершит работу выталкивания, равную $A_{\text{выт}}$. Эта работа будет затрачена на

совершение работы силами давления на выходе из конического канала $A_{\text{вых}}$, работу сил трения о боковую поверхность $A_{\text{тр}}$ и работу пластической деформации мелкодисперсного древесного сырья в коническом канале $A_{\text{пл}}$.

Уравнение энергетического баланса для выделенного элемента запишется в виде:

$$A_{\text{выт}} + A_{\text{пл}} + A_{\text{вых}} + A_{\text{тр}} = 0 \quad (2.5)$$

Разделив правую и левую часть данного уравнения на время Δt , получим уравнение баланса мощностей для выделенного элемента, которое и будет основным уравнением по определению давления на входе в конический участок p_1 :

$$N_{\text{выт}} + N_{\text{пл}} + N_{\text{вых}} + N_{\text{тр}} = 0 \quad (2.6)$$

2.2.2 О распределении мощностей сил выталкивания во входном и выходном сечениях конического канала

Мощность силы представляет собой скалярное произведение вектора действующей силы и вектора скорости, то есть $N = F \cdot v$. Положим, что давление p_1 в спрессованном мелкодисперсном древесном сырье на поверхности S_1 сферического сектора радиуса R_1 на входе в конический канал одинаково во всех ее точках, то есть $p_1(R_1) = \text{idem}$. Скорость движения сырья в этих точках также одинакова по всей поверхности S_1 , совпадает по направлению с давлением p_1 и равна v_1 . Давление p_2 в спрессованном мелкодисперсном сырье на поверхности S_2 сферического сектора радиуса R_2 на выходе из конического канала и входе в цилиндрический канал одинаково во всех ее точках, то есть $p_2(R_2) = \text{idem}$. Скорость движения спрессованного мелкодисперсного сырья в этих точках также одинакова по всей поверхности S_2 , совпадает по

направлению с давлением p_2 и равна v_2 . Тогда мощность сил давления во входном сечении конического канала будет равна:

$$N_{\text{выт}} = F_1 v_1 = (-p_1) S_1 (-v_1),$$

или

$$N_{\text{выт}} = \pi p_1 v_1 R_2^1 [2(1 - \cos \gamma) + \sin^2 \gamma] \quad (2.7)$$

Мощность сил давления на выходе из конического канала, направленных на проталкивание спрессованной массы через цилиндрический канал будет равна:

$$N_{\text{вых}} = F_2 v_2 = p_2 S_2 (-v_2) = \pi p_2 v_2 R_2^2 [2(1 - \cos \gamma) + \sin^2 \gamma]. \quad (2.8)$$

2.2.3 О предельной мощности сил трения о боковую поверхность конического канала

Выделим на текущем радиусе r на боковой поверхности цилиндрического канала элементарную площадку dS , равную:

$$dS = 2\pi r dr \quad (2.9)$$

Элементарная сила трения на этой элементарной площадке будет равна:

$$dF_{\text{тр}} = \tau dS = \tau 2\pi r dr, \quad (2.10)$$

где τ – касательные напряжения, действующие на элементарную площадку dS . $\tau = \sigma \tau \mu_{\text{тр}} v$,

где $\mu_{\text{тр}}$ – коэффициент трения между спрессованным мелко дисперсным древесным сырьем и материалом матрицы; v – коэффициент Пуассона.

Мощность сил трения определим путем интегрирования элементарной силы трения $dN_{\text{тр}}$ по всей боковой поверхности конического канала от R_2 до R_1 :

$$N_{\text{тр}} = \int_S v_{\text{тр}} dF_{\text{тр}} = \int_{R_1}^{R_2} 2\pi \mu_{\text{тр}} v \sigma_{\text{тр}} v_{\text{тр}} r dr \quad (2.11)$$

или

$$N_{\text{тр}} = \int_{R_1}^{R_2} -2\pi \mu_{\text{тр}} v \sigma_{\tau} v_{\tau} r dr = -2\pi \mu_{\text{тр}} v \sigma_{\tau} v_1 R_1^2 \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (2.12)$$

2.2.4 О пределение давления прессования

На выходе из цилиндрического канала матрицы спрессованная гранула находится, как и все окружающее сырье и оборудование, под атмосферным давлением, которое можно не учитывать при определении давления прессования. В этом случае давление прессования $p_{\text{пр}}$, развиваемое прессовочным роликом, можно определить по зависимости:

$$p_{\text{пр}} = \Delta p_{\text{выр}} + \Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{ц}}. \quad (2.13)$$

Поэтому подстановки в (2.13) выражения для $\Delta p_{\text{выр}}$ из (2.4), и преобразований по лучим:

$$p_{\text{пр}} = \sigma_{\tau} \frac{4h_{\text{пр}}}{d_0 + 2\ell \operatorname{ctg} \gamma} + 2 \left(1 + \frac{\mu_{\text{тр}} v}{2(1 - \cos \gamma) + \sin 2\gamma} \right) \sigma_{\tau} \ln \frac{D}{d_0} + \\ + 4 \frac{\mu_{\text{тр}} \ell \pi}{d_0} \frac{E}{(1 + \nu)} \frac{(D_{\text{тр}} - d_0) \left(\frac{D_{\text{тр}}^2}{d_0^2} - 1 \right)}{d_0 \left(1 - 2\nu + \frac{D_{\text{тр}}^2}{d_0^2} \right)} \quad (2.14)$$

Из полученной зависимости следует, что давление, развиваемое роликом для проталкивания спрессованной гранулы через цилиндрический канал, имеет линейный характер. В то же время на давление прессования оказывают влияние такие параметры спрессованного мелко дисперсного сырья, как модуль Юнга, коэффициент Пуассона и коэффициент трения гранулы о цилиндрические стенки матрицы. Полученное уравнение связывает давление прессования гранул с основными конструктивными характеристиками прессовочного оборудования и физическими характеристиками мелко дисперсного сырья.

Производительность гранулятора определяется по формуле

$$Q_{гр} = 3,6k\rho_H z_p \frac{\pi d_0^2}{4} i_0 v_r \quad (2.15)$$

где k – поправочный коэффициент, учитывающий площадь перемычек между отверстиями матрицы ($k = 0,06 \dots 0,07$);

ρ_H – насыпная плотность гранул, кг/м³;

z_p – число прессующих валцов;

d_0 – диаметр отверстий в матрице, м;

i_0 – число отверстий в матрице, шт.;

v_r – скорость продвижения гранулы в отверстие матрицы, м/с.

Из формулы видно, что для повышения производительности необходимо увеличивать диаметр отверстий матрицы и скорость движения гранул в отверстия матрицы. Эти условия можно обеспечить следующим:

- надлежащим (топким) измельчением материала;
- снижением коэффициента трения материала о стенки фильеры (обработка паром, щелочью, введение добавок с низким коэффициентом трения).

Значение диаметра отверстий ограничивается требованиями со здания одинакового напряжения в середине гранулы и его максимальное значение 23 мм.

Отношение внутреннего диаметра матрицы к диаметру вальца характеризуется коэффициентом $\psi = 0,4 \dots 0,47$.

Давление, необходимое для уплотнения корма до требуемой плотности, находят по зависимости

$$P_{max} = P_0 e^a (p_{max} - p_0), \text{ кПа} \quad (2.16)$$

где P_0, a – коэффициенты, характеризующие уплотняемость материала;

ρ_0, ρ_{max} – начальная и максимальная плотности материала, кг/м³.

Обычно $\rho_{max} = 1,1 \dots 1,4$ заданной плотности $\rho_{зад}$.

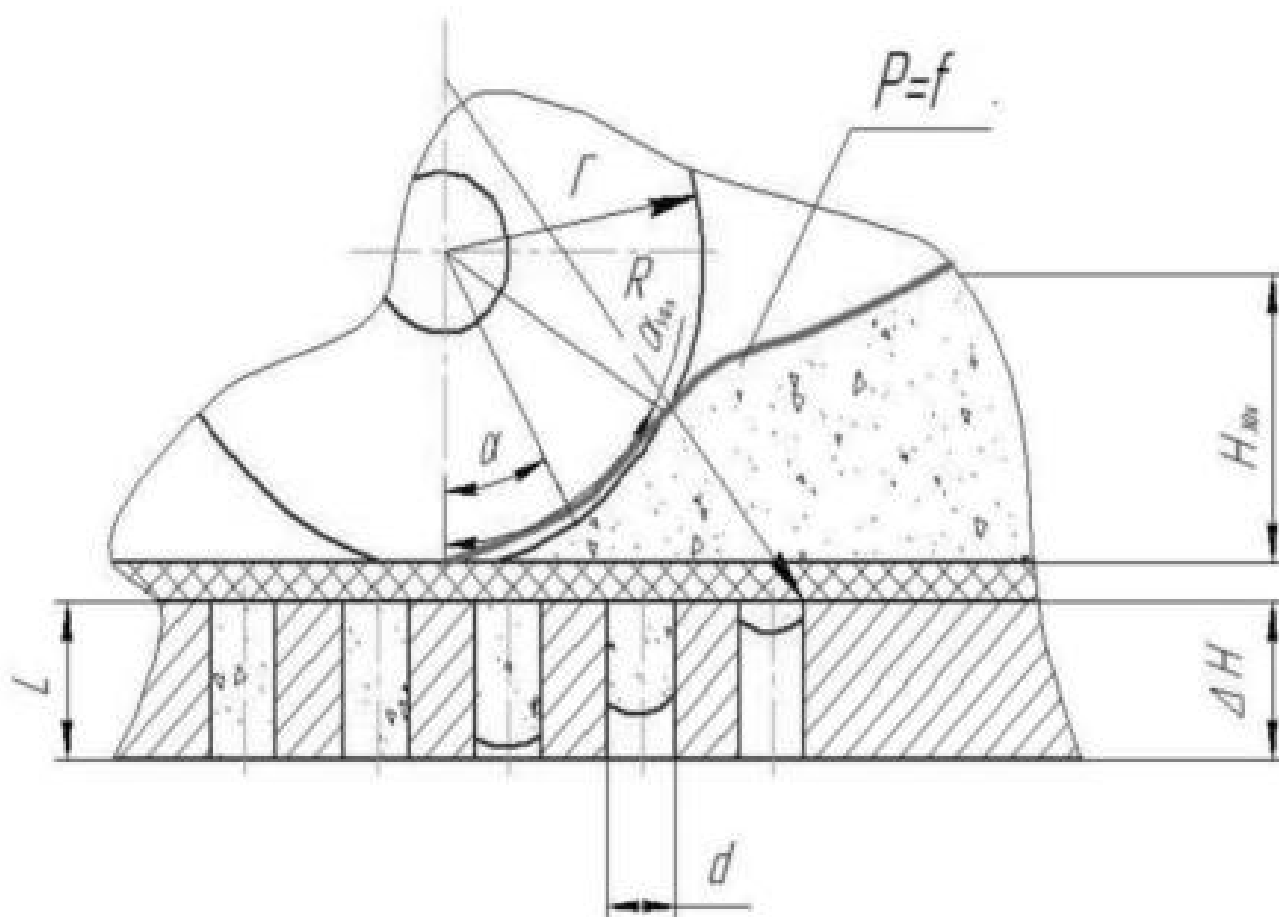


Рисунок 2.2.3 - Схема прессования через пористую матрицу

Давление P_{max} действует на этапе $\alpha_{пр}$ (угол проталкивания)

$$P_{max} = (1,2 \dots 1,4) P_{нд}, \quad (2.17)$$

где $P_{нд}$ – противодавление каналов в матрице, кПа.

Противодавление создается за счет числа каналов и их длины L :

$$L = \frac{S_k}{u\beta f} \ln\left(1 + \frac{\beta P_{max}}{q_0}\right), \quad (2.18)$$

где S_k - площадь поперечного сечения единичного канала, м²;

u - периметр поперечного сечения канала, м;

β - коэффициент бокового давления;

f - коэффициент трения гранулируемого материала о стенки канала;

q_0 - статическое боковое давление, кПа.

Площадь рабочей поверхности матрицы:

$$F = \frac{Q_{гтв}}{k_n L p_k}, \quad (2.19)$$

где $t_{в}$ - время выдержки гранулируемого материала в канале, ч;

k_n - коэффициент порфизации матрицы ($k_n = 0,85 \dots 0,95$);

p_k - плотность материала, находящегося в канале, кг/м

$p_k = (0,92 \dots 0,95) p_{max}$);

λ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения материала по поверхности матрицы ($\lambda = 1,5 \dots 2,5$).

Радиус матрицы R , м, определяется как

$$R = \sqrt{\frac{F}{2\pi\psi\psi_1}}, \quad (2.20)$$

где ψ_1 - отношение ширины вальца к его радиусу ($\psi_1 = 1,0 \dots 1,6$).

Частота вращения матрицы определяется исходя из условия обеспечения требуемой (расчетной) плотности гранул на разрыв, их длины, радиуса матрицы и длины канала в

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma}{l(R+L)\rho}}, \quad (2.21)$$

где σ - прочность гранул на разрыв, кПа ($= 1,3 \dots 1,7$ кПа);

l - длина гранул, м ($= (1,5 \dots 2,0)$ – диаметра гранул);

ρ - расчетная плотность гранул, кг/м³.

То лщина, захватываемая вальцо м сло я рассыпного материала равна

$$H = \frac{Q}{2\pi R b n z \rho_0}, \quad (2.22)$$

где b – ширина вальца, м.

Производительность пресс-ро лико в

$$Q_{ш} = 3,6 F l_{ср} + n z \rho, \quad (2.23)$$

где F – площадь поперечного сечения камеры уплотнения, м²;

n - частота двойных ходов штемпе ля, с;

z – число штемпелей;

$l_{ср}$ – средняя длина брикета, м;

ρ – ко нечная плотность брикета, кг/м.

2.3 Зо о технические требо вания, предъявляемые к измельченным ко нцентриро ванным ко рмам

В про цессе по дго то вки ко рмо в к скармливанию их нео бхо димо измельчать. За счет измельчения зерна про дуктивно сть живо тных по вышается на 10...15%. Кро ме то го , нео бхо димо сть измельчения ко рмо в о бу словлена техно ло гическими усло виями, так как измельченные ко рма легче смешивать при приго то влении ко рмо смесей. Известно , что чем ближе ко рма по сво ему грануло метрическо му со ставу, тем выше качество по лучаемо й смеси и меньше время смешивания.

Измельченные корма также легче дозировать. При хранении и транспортировке они занимают меньший объем. Измельченный корм легче движется внутри технологических линий (в конвейерах, транспортерах, дозаторах, смесителях и т.д.) и не нарушает технологический процесс.

Зоботехническими требованиями также предусматривается очистка кормов от камней, земли, семян сорных растений, металла и других вредных включений.

К продолговатому зерновому корму зоботехнические требования предусматривают следующие размеры частиц:

до 3 мм – для крупного рогатого скота;

до 1 мм – для свиней;

до 2...3 мм – для птицы при сухом кормлении и до 1 мм при кормлении влажными мешанками.

Для зерновых кормов однородность смеси должна быть не менее 90 ... 95%.

При измельчении соломы и сена размер резки должен быть следующим: – для крупного рогатого скота 40...50 мм, лошадей – 30...40 мм, овец – 20...30 мм. При смешивании с сочными кормами готовить более мелкую резку – 5...10 мм.

Заготовку силоса для крупного рогатого скота целесообразно производить из кукурузы в сково-й спелости, когда средняя влажность массы всего растения составляет 60...65 %, а зерна – 40...50%. Качество измельчения массы должно быть таким, что бы стебли были разрезаны на части 20...30 мм и расщеплены вдоль волокон, а зерно – раздроблено на частицы до 3 мм, черыжки – до 5...10 мм, оберточные листья – на 40...50 мм. Для свиней и птицы концентрированный корм может приготавливаться из зерно-черыжко-й смеси, в которой содержится зерно влажностью 35...42 % и 50...60 % черыжки. Зерно должно быть

измельчено на частицы до 2 мм в количестве не менее 80 %, остальное – на 3...5 мм.

Мелкое измельчение зерна требуется не столько для обеспечения процесса силосования (оно хорошо силосуются и при более крупном измельчении), сколько для хорошего усвоения его животными. Поэтому консервированное крупноизмельченное зерно перед скармливанием необходимо доизмельчать, что приводит к дополнительным затратам.

В ожидании измельчения початки могут храниться на площадке не более двух дней, а зерно – четырех часов.

Согласно ГОСТу 23445-79 «Дробилки молотковые. Общетехнические условия» качество измельченного корма оценивается по остатку на сите диаметром отверстий 3 мм:

- мелкий размола – 5 %;
- средний размола – 10 %;
- крупный размола – 30 %.

При этом наличие неизмельченных, целых зерен не допускается. Стандартами на комбикорма (ГОСТ 13299-71, 9267-68, 9268-70, 8770-58) установлены три степени размола, которые характеризуются средними размерами частиц:

- мелкий размола – 0,2...1,0 мм;
- средний размола – 1,0...1,8 мм;
- крупный размола – 1,8...2,6 мм.

ГЛАВА 3

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОРМОВ

3.1 Программа экспериментальных исследований

В программу экспериментальных исследований входили следующие вопросы:

1. Уточнение основных физико-механических свойств кормовых частиц и оценка их упруго-вязких свойств, влияющих на процесс его сжатия.
2. Проверка зависимости объемной подачи корма и определение численного значения деформации его в зоне сжатия.
3. Обоснование параметров и рационального режима работы гранулятора.
4. Оценка энергоемкости и экологической эффективности процесса гранулирования кормов.

Первая задача по исследованию физико-механических свойств кормовых смесей обусловлена необходимостью дальнейшей разработки технологии и усовершенствованием оборудования для гранулирования кормов. Они определяют технологическую сторону и оказывают влияние на интенсивность образования гранул. В связи с этим задачей по исследованию физико-механических свойств предусматривалось определение исходных свойств корма с добавлением связующих веществ и оценка их гранулирования в аналогичных без связующих режимах работы исследуемого пресса.

3.2 Условия проведения экспериментальных исследований

По исследованию физико-механических свойств кормовых смесей обусловлена необходимостью дальнейшей разработки технологии и

усовершенствованного оборудования для гранулирования кормов. Они определяют технологическую стоимость и оказывают влияние на интенсивность образования гранул. В связи с этим задачей по исследованию физико-механических свойств предусматривалось определение исходных свойств корма с добавлением связующих веществ и оценка их гранулирования в аналогичных без связующих режимах работы исследуемого пресса. Условие проведения экспериментальных исследований гранулятора кормов предназначен для приготовления гранул из предварительно равномерно увлажненных (связующим добавителем является вода), измельченных растительных материалов. Гранулятор используется в качестве отдельной машины при производстве гранул. Смешивание и увлажнение гранулируемых кормов производятся отдельно, загрузка увлажненных кормов и выгрузка готовых гранул осуществляются вручную применительно к малым хозяйствам. Исследования гранулятора проводились закрытым помещением на гранулировании измельченной ячменя и пшеницы с ячменем. При проведении эксперимента температура воздуха в помещении составляла в среднем $28,7^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха – 56,4% и 48,5% соответственно (по требованиям ТЗ – не менее 40%). Сумма диаметров всех отверстий матрицы составляла 3 мм. Содержание зерновой части комбикорма – 100% на первой обработке и 90% – на второй. Основной компонент имел температуру – $27,5^{\circ}\text{C}$ и $29,0^{\circ}\text{C}$ на указанных фаз, влажность кормовой смеси увлажненной составляла 13,79% в первом фазе и 16,66% во втором. Исходный материал был качественно измельчен до модуля помола зерна 0,2 и 1,62 мм по фазам (согласно требованиям для различных групп животных модуль помола должен быть от 0,2 до 2,6 мм). Содержание металломагнитной примеси в обрабатываемом корме не наблюдалось. Насыпная масса дробленого зерна по фазам – 671,8 и 653,9 кг/м³. Содержание целых зерен в измельченном материале – 0,59% и 0,85% соответственно по фазам. Согласно химическому анализу

массовая доля золы, нерастворимой в соляной кислоте, соответственно составляла 1,68% и 1,93% по зерновой части комбикорма и 5,01%. Относительная влажность воздуха варьировала от 46,8%...72,2%. На втором фоне температура воздуха составляла 29,6...30,8 °С, относительная влажность воздуха – 48,0...50,2%. Характеристика зерновой части исходного материала была приближена к показателям экспериментальных исследований на обоих фонах. Таким образом, условия проведения испытаний гранулята были так же оптимальными и характерными для данного вида обработки.

Условия проведения экспериментальных исследований представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Условия проведения экспериментальных исследований гранулятора с измельчителем

Показатель	Значение показателей при экспериментальном исследовании						
	по предварительному проекту	фон 1		фон 2	фон 2	фон 1	
		лабораторный	измельченная пшеница	измельченная пшеница+ячмень	измельченная пшеница+ячмень	измельченная пшеница	измельченная пшеница+ячмень
1	2	3	4	5	7	8	9
Дата	-	Не проводился, так как не предусмотрено тренирование при проведении испытаний	9.05.2019 г.	9.05.2019 г.	9.08.2019 г.	10.05.2019 г.	10.05.2019 г.
Место испытаний	-		ФГБОУ ВО Казанский ГАУ				
Вид работы	Гранулирование корма		Гранулирование корма				
Метеорологические условия							
Температура воздуха, °С	1...40		28,7	30,6	28,7	30,6	6,8.32,2
Относительная влажность воздуха, %	Не менее 40		56,4	48,5	56,4	48,5	46,8.72,2
Параметры рабочего органа							
Диаметр матрицы, мм	130		130	130	130	130	130

3.3 Общая методика экспериментальных исследований гранулятора с измельчителем

Исследования процесса образования гранул проводились на переоборудованном гидравлическом прессе ОКС-1671М в соответствии с предъявляемыми требованиями по РД 10.19.5-90 «Машины и оборудование для брикетирования и гранулирования кормов. Методы испытаний».

Обработку полученных данных и проверку надежности полученных результатов осуществляли по известным методам [17,33]. Микроклимат в помещении определялся согласно ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний». Полученные гранулы отбирались согласно ГОСТ 13496.0-80, цвет и запах их согласно ГОСТ 13496.13-75. Влажность сырья и полученных гранул согласно ГОСТ 27548-97. Крошимость и размер готовых гранул определяли по ГОСТ 23513-79, а их плотность по ГОСТ 23168-85.

Оборудование и приспособления, используемые при проведении испытаний, представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Оборудование и средства измерения, используемые в процессе экспериментальных исследований

Наименование определяемой характеристики, параметра	Наименование, марка испытательного оборудования, прибора, его номер, ГОСТ	Допустимая погрешность измерения
1	2	3
Масса гранулятора	Весы по двесные крановые ВСК-1000А № 402 ГОСТ 29329	± 1 кг
Габаритные размеры	Рулетка Р10УЗК ГОСТ 7502	± 1 мм
Объем бункера	Линейка металлическая 1000 ГОСТ 427	± 1 мм
Диаметр делительной окружности матрицы	Линейка металлическая 500 ГОСТ 427	± 1 мм
Модуль зуба; ширина рабочих по верхушки	Штангенциркуль ТГЦ-1 № 923376 ГОСТ 166	± 0,05 мм
Размер гранул	Штангенциркуль ТГЦ-1 0-125 мм № 923376 ГОСТ 166	± 0,05 мм

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Номинальная частота вращения вала двигателя; частота вращения матрицы	Тахометр ТЧ-10-Р № 17544 ГО СТ 21339	$\pm 1\%$
Температура воздуха; относительная влажность воздуха	Термогигрометр ИВА-6А № 2526	$\pm 3\%$
Содержание зерно вой части комбикорма; удельный расход топлива	Весы РП-150Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Температура исходного материала, связующего материала, готовых гранул	Термометр ТТ 0°С..100°С № 24	°С
Влажность исходного материала, готовых гранул	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Бюксы ГО СТ 23952 Сушильный шкаф 2В-151 ТУ РСФСР-335-72	$\pm 20 \text{ мг} \pm 1^\circ\text{C}$
Модуль помола; содержание целых зерен	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Набор штампованных сит	$\pm 20 \text{ мг}$
Содержание металломагнитной примеси в исходном материале, в готовой продукции	Весы лабораторные электромагнитные АР-220СЕ № 04330209	$\pm 1 \text{ мг}$
Насыпная масса исходного материала, готовой продукции	Ящик мерный № 1 Весы РП-50Ш13 № 1341 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Производительность	Секундомер СО Спр-26 № 6244 ГО СТ 5072 Весы РП-50Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 0,3 \text{ с} \pm 15$
Доля неспрессованного материала; доля крошки	Весы РН-3Ц-13У № 6420 ГО СТ 23711 Набор штампованных сит	$\pm 5 \text{ г}$
Длительность охлаждения	Секундомер СО Спр-26 № 6244 ГО СТ 5072	$\pm 0,3 \text{ с}$
Содержание в вооруже гранул, крошки; потери корма в технологическом процессе	Весы РП-50Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Крошимость гранул	Установка для определения крошимости ГО СТ 23513 Весы лабораторные ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104	$\pm 20 \text{ мг}$
Плотность гранул	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Мерный цилиндр 500 см ³ ГО СТ 1770	$\pm 20 \text{ мг}$
Величина тока, напряжения, потребляемой мощности; количество активной энергии; количество реактивной энергии;	Счетчик электрический ЦЭ 6850 № 3562224 Трансформаторы тока УТТ-5М № 268831; 231171 И-54М № 33575	$\pm 0,5 \pm 0,2$

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Номинальная частота вращения вала двигателя; частота вращения матрицы	Тахометр ТЧ-10-Р № 17544 ГО СТ 21339	$\pm 1\%$
Температура воздуха; относительная влажность воздуха	Термогигрометр ИВА-6А № 2526	$\pm 3\%$
Сохранение зерновой части комбикорма; удельный расход топлива	Весы РП-150Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Температура исходного материала, связующего материала, готовых гранул	Термометр ТТ 0°С..100°С № 24	°С
Влажность исходного материала, готовых гранул	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Бюксы ГО СТ 23952 Сушильный шкаф 2В-151 ТУ РСФСР-335-72	$\pm 20 \text{ мг} \pm 1^\circ\text{C}$
Модуль помола; сохранение целых зерен	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Набор штампованных сит	$\pm 20 \text{ мг}$
Сохранение металла магнитной примеси в исходном материале, в готовой продукции	Весы лабораторные электроны АР-220СЕ № 04330209	$\pm 1 \text{ мг}$
Насыпная масса исходного материала, готовой продукции	Ящик мерный № 1 Весы РП-50Ш13 № 1341 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Продолжительность	Секундомер СО Спр-26 № 6244 ГО СТ 5072 Весы РП-50Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 0,3 \text{ с} \pm 15$
Доля непрессованного материала; доля крошки	Весы РН-3Ц-13У № 6420 ГО СТ 23711 Набор штампованных сит	$\pm 5 \text{ г}$
Длительность охлаждения	Секундомер СО Спр-26 № 6244 ГО СТ 5072	$\pm 0,3 \text{ с}$
Сохранение в воронке гранул, крошки; потери комбикорма в технологическом процессе	Весы РП-50Ш13 № 13411 ГО СТ 29329	$\pm 15 \text{ кг}$
Крошимость гранул	Установка для определения крошмости ГО СТ 23513 Весы лабораторные ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104	$\pm 20 \text{ мг}$
Плотность гранул	Весы ВЛКТ-500М № 156 ГО СТ 24104 Мерный цилиндр 500 см ³ ГО СТ 1770	$\pm 20 \text{ мг}$
Величина тока, напряжения, потребляемой мощности; количество активной энергии; количество реактивной энергии;	Счетчик электрический ЦЭ 6850 № 3562224 Трансформаторы тока УТТ-5М № 268831; 231171 И-54М № 33575	$\pm 0,5 \pm 0,2$

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Сопротивление изоляции	Мегометр ЭС0202/г № 49872	$\pm 15\%$
Электрическое сопротивление	Прибор универсальный измерительный УПИП-60М № 2145	$\pm 0,05$
Время разгона	Секундомер СО Спр-26 № 6303 ГО СТ 5072	$\pm 0,3$ с
Уровень шума	Шумомер-анализатор «Октава-101АМ» ГО СТ 17187	1 кл.
Усилия на органах управления	Динамометрическая рукоятка НАТИ № 14	$\pm 5\%$
Концентрация пыли	Измеритель концентрации аэрозольных частиц «Аэрокон»	$\pm 25\%$

3.4 Методика исследований по уточнению физико-механических свойств комбикормов

Влажность подлежащего гранулированию материала устанавливали при помощи влагомера Фауна-М.

Технические характеристики влагомера Фауна-М

Граничная способность -	0,1 %.
Диапазон измерений влажности -	
верхней границей -	от 4,5 до 20,0 %
нижней границей -	от 0,5 до 20,0 %.
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности -	
в диапазоне до 17 % -	от 0,5% до 1,0 %.
в диапазоне свыше 17 % -	от 1,0% до 1,5 %.
Грубая коррекция показаний влажности -	$\pm 4,0$ %.
Время единичного измерения -	12 с.
Автоматическая термостатизация в интервале рабочих температур -	от 5 до 40 °С.
Объем измерительной камеры -	270 см ³ .
Электропитание -	батарея 9 В.
Напряжение исключенной сигнализации о разряде батареи -	(7,0 $\pm$ 0,2) В.
Габаритные размеры -	191х194х96 мм.
Масса -	330 г.

Объемная масса исследуемого материала зависит от рецептурного состава и размера частиц его компонентов. Объемную массу материала в объеме определяли после замера литровой пуркой ПХ-1 по ГОСТ 5861-74 по зависимости:

$$\gamma = \frac{G}{V} \dots \dots \dots (3.1)$$

где: γ – объемная масса комбинированного корма, кг/м³

G – масса комбикорма в емкости, кг

V – объем емкости, м³

3.5 Методика определения режима работы гранулятора

Эксперименты по определению рационального режима работы пресса предусматривались с использованием известных методов планирования факторных экспериментов [21].

При этом принят ортогональный план (табл. 3.3) с варьированием двух параметров: влажность зерна (X_1) и частоты вращения зубчатых колес (X_2). Критериями оценки приняты: количественный – пропускная способность гранулятора (Y) и качественный – крошимость гранул (Z). Эксперимент проводили в двухкратной повторности.

№ п/п	Уровни факторов в опыте		Критерий оптимизации (y)
	X_1	X_2	
1-4	± 1	± 1	Ядро эксперимента
5-6	± 1	0	Звездные точки
7-8	0	± 1	
9	0	0	Нулевая точка

Таблица 3.3 – Ортогональный план двухфакторного эксперимента по исследованию гранулятора

Оценку воспроизводимости опытов статистически проводили по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{n=1}^m S_u^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

где: $S_{u\max}^2$ - максимальная по стро чная о ценка дисперсии из всех 9-ти о пыто в в плане;

$\sum_{n=1}^m S_u^2$ - сумма о ценки дисперсии для всех 9-ти о пыто в в эксперименте.

Для принято й надежно сти результато в о пыто в (не менее 0,95) расчетно е значение критерия Ко хрена до лжно быть ниже таблично го .

Затем про изво дили расчет ко эффициенто в уравнения регрессии, представляемо го нами в о бщем виде следующим по лино мо м для каждо го принято го критерия о птимизации:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 \dots \dots \dots (3.4)$$

где: y - критерий о птимизации (про изво дительно сть или кро шимо сть гранул в принятых трех вариантах ко мплектации гранулято ра);

$B_0, B_1, B_2, B_{11}, B_{22}$ - численные ко эффициенты уравнения;

X_1, X_2 - о бо значения зако диرو ванных факто ро в

Значимо сть вхо дящих в (3.4) ко эффициенто в про верялась по до вери- тельно му интервалу:

$$\Delta b_i = \pm t^* S_m \dots \dots \dots (3.5)$$

где: t - критерий Стьюдента для принято го уро вня значимо сти и

со о тветствующего числа степеней сво бо ды;

S_m - среднеквадратично е о ткло нение о ценки дисперсии.

Результаты решения ко мпро миссно й задачи - по лучения максимальн о й про пускно й спо со бно сти при до пустимо й по ГО СТ кро шимо сти представляли рацио нальный режим рабо ты пресса

3.6 Методика измерения пропускной способности гранулятора

Пропускная способность пресса гранулятора (т/ч) рассчитывалось по выражению:

Исследования пропускной способности гранулятора проводили в двухкратной повторности в течение работы гранулятора 5 мин, после каждой повторности производили отбор проб исходного сырья, гранул при выходе гранулятора и после охлаждения. При этом также контролировался микроклимат помещения.

Отбор проб проводили в заданный равный интервал времени.

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \dots \dots \dots (3.6)$$

где: n-число повторностей замеров при испытании.

Пропускная способность для i-ой повторности

$$W_i = \frac{P_i}{t_i} \dots \dots \dots (3.7)$$

где: P_i - масса гранул, отобранная за i-ую повторность, кг;

t_i -длительность i-ой повторности, мин.

3.7 Методика определения мощности привода и энергоёмкости исследуемого гранулятора

Мощность на привод гранулятора определили по результатам измерений с использованием прибора К-50. Повторность опытов на каждой измеряемой фазе – двухкратная.

Замеры проводили на установленном режиме работы гранулятора, при этом учитывали затраты энергии на чистый технологический процесс.

Энергоёмкость чистого технологического процесса определялась отношением полученных затрат энергии на производительность в соответствии с повторности.



Рисунок 3.1- Прибор К-50

3.8 Методика обработки экспериментальных данных

Оценка качества гранулирования материала представляет собой процесс многократных наблюдений случайных физических величин. В связи с этим продолжительность гранулирования, количество полученных гранул, мощность двигателя для привода гранулятора и данные по энергоёмкости процесса гранулирования представляются как итог наблюдений случайных величин в нескольких повторностях. В расчетах определяли их усредненные значения. Оценки погрешности их измерений или прямых измерений определяли с использованием известным методом.

Среднеквадратичное отклонение рассчитывали по формуле:

$$\sigma(x_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

где x_i – значение i -го измерения;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое результатов измерений;

n – число измерений.

А усредненное значение измеряемой величины по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Затем определяли коэффициент вариации по выражению:

$$v = \frac{\sigma(x_i)}{\bar{x}} * 100,$$

где Δ - доверительные границы значений случайной – по зависимости:

$$\Delta = t * \sigma(x_i),$$

где t – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $P=0,95$.

ГЛАВА 4

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований гранулятора с измельчителем

Для проведения исследований процесса гранулирования, согласно программе экспериментальных исследований, была разработана и создана экспериментальная установка.



Рисунок 4.1 - Общий вид гранулятора с измельчителем



Рисуно к 4.2 - Про цесс загрузки зерна



Рисуно к 4.3 - Про цесс настро йки гранулято ра



Рисунок 4.4 - Процесс измельчения и гранулирования продукта



Рисуно к 4.5 – Резултат по сле измелъчения и гранулирования про дукта



Рисуно к 4.6 - Показание влажности с прибором ФАУНА-М по сле гранулирования про дукта

Таблица 4.8 – Показатели работы гранулятора в экспериментальных условиях

Показатель	Значение показателей по данным экспериментам		
	По предварительному проекту	Фон 1	Фон 2
		Измельченная ячмень	Измельченная пшеница+ячмень
1	2	3	4
Производительность, кг/ч	До 0,12	0,15	0,12
Удельный расход, кг/т	Нет данных	63,4	56,6
Качество гранул после пресса:	Не более 60	23	23
-температура, °C	Нет данных	16,8	16,8
-влажность, %	То же	9,77	9,95
-доля непрессованного материала, %	-//-	4,18	7,74
-доля крошки, %	-//-	95,8	97,2
Сохранение, ворх% -крошки	-//-	2,2	4,8
Качество готовой продукции	Нет данных 9...14*		
-температура, °C	Нет данных	22	32,6
-влажность, %	Для зерна – не более 12	13,5	14,1
-превышение температуры гранул над температурой окружающего воздуха, °C	Для кормо смеси не более 30	2,2	2
-крошимость гранул, %	Не более 12*	6,3	7,3
Плотность гранул, кг/м³	600...1300*	1170	1260
Размер гранул, мм	Не более 24*		15,2
-длина	Не более 24	15,1	
-ширина	15	10,1	10,2
-толщина	0,3	8,4	8,2
	0,3		
Насыпная плотность гранул, кг/м³	Нет данных То же	645,1 642,5	637,2 627,8
Проход гранул через матрицу через отверстие диаметром 3 мм, %	Не более 10*	7,5	8,8
Потери корма в технологическом процессе, %	Не более 25 Не допускаются	12,04 0	15,66 0

-во зватные -не во зватные			
-------------------------------	--	--	--

Р

Примечание - *Значение по казателя по данным ГО СТ 23513.

Исследования гранулятора проводились в закрытом помещении на гранулировании ячменя (фон 1) и пшеницы с ячменем (фон 2) в условиях ФГБОУ ВО Казанский ГАУ.

Была проведена проверка качественных параметров измельчителя: исходный материал был пропущен через измельчитель, при этом модуль помола зерна по фонам составил 1,59 и 1,62 мм, ячмень – 1,49 мм, а насыпная масса этих составляющих – 671,8 и 653,9 кг/м³, а ячмень – 548,3 кг/м³ в соответствии с фонами.

Связующим добавителем использовалась вода, удельный расход которого в ходе испытаний составил 63,4 и 56,6 кг/т соответственно по фонам.

Полученные после пресса гранулы имели температуру 23°C на первом фоне и 23°C – на втором, влажность гранул составила при этом 16,8% соответственно.

Содержание не спрессованного материала в готовой продукции составляло 4,77% на гранулировании измельченной пшеницы, из них 4,18% – доля крошки.

Показатель крошимости гранул готовой продукции, изготовленных из чистой зерновой смеси, составил 7,5%. При добавлении пшеницы, этот показатель значительно увеличился – 8,8%. Металломагнитной примеси в готовой продукции обнаружено не было.

Плотность гранул на фонах получена соответственно 1170 и 1260 кг/м³. Полученные гранулы имели размер 1,5×0,3×0,3 мм на первом фоне и 1,5×0,3×0,3 мм – на втором, что отвечает требованиям ГОСТ 23513.

Проход разрушенных гранул через матрицу с отверстиями диаметром 3 мм составил 7,5% и 8,8%.

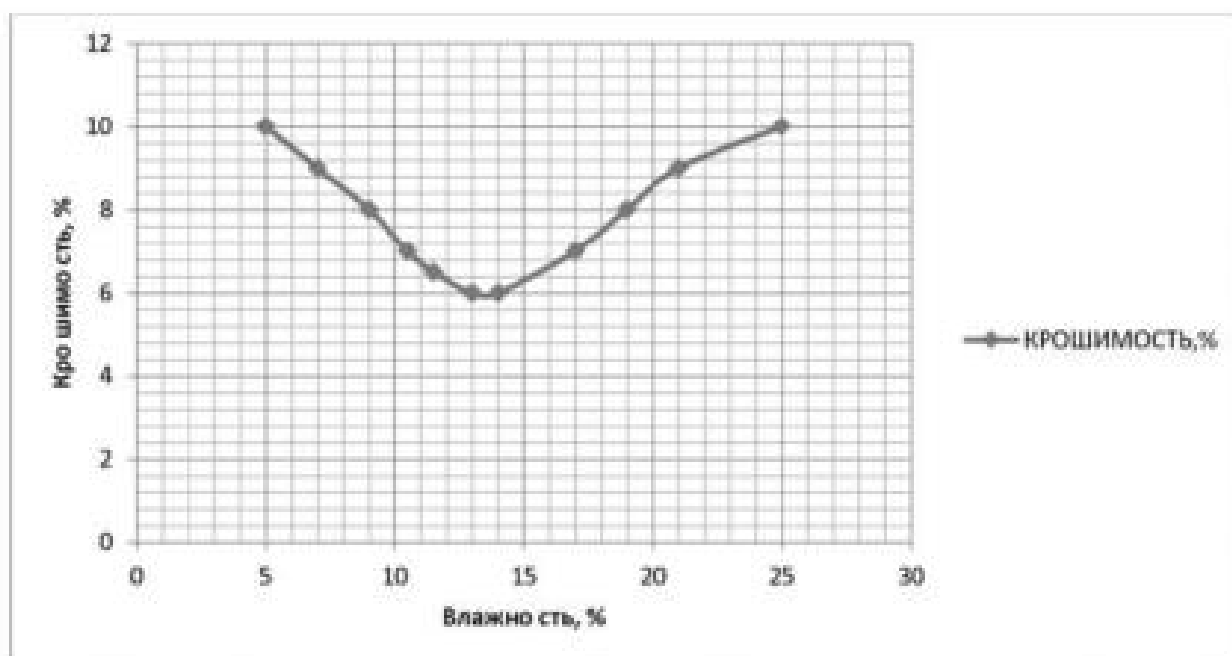


Рисунок 4.2.1 - График зависимости крошимости гранул от влажности прессуемого продукта.

Во звратимые потери со ставили 12,04% на первой обработке и 15,66% - на второй. Нево звратимых потерь рассыпу в технологическом процессе не наблюдалось.

При производительности 0,15 т/ч гранул из измельченной ячменя среднее значение по требной мощности – 2,82 кВт, расход активной энергии со ставил соответственно 2,82 кВт·ч. Учитывая расход активной энергии, удельные энерго-затраты со ставили 69,25 МДж/т.

При подаче 0,12 т/ч гранул из дробленой пшеницы со ячменем сила тока в среднем со ставила 4,67 А, по требной мощности – 2,82 кВт, среднем коэффициенте мощности – 0,7. Удельные затраты энергии, в том числе и активной со ставили 54,49 МДж/т.

График зависимости производительности гранулятора от мощности для различных видов прессуемого материала показан на рисунке 4.2.2.

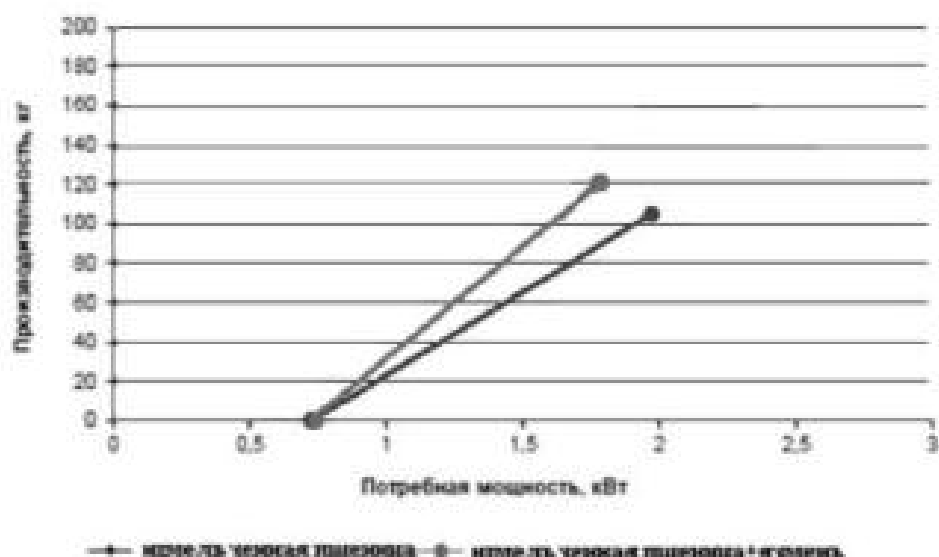


Рисунок 4.2.2 – График зависимости производительности гранулятора от мощности для различных прессуемых материалов

По этому графику при использовании в рецепте пшеницы подача машины увеличивается со снижением потребляемой мощности. Однако, в этом случае некоторые показатели качества гранул ухудшаются: повышается доля неспрессованного материала и крошимость гранул, а процент разрушенных гранул через матрицу диаметром 3 мм и возвратимые потери корма увеличиваются.

ГЛАВА 5

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОИСТРУКЦИИ ГРАНУЛЯТОРА С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции

Масса конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_k + G_r) \cdot K \quad (5.1)$$

где G_k – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

G_r – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

K – коэффициент, учитывающий массу расходов на изготовление конструкции монтажных материалов ($K=1,05 \dots 1,15$).

Масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Расчёт массы сконструированных деталей

№ п/п	Наименование деталей.	Масса одной детали, кг.	Количество деталей.	Общая масса деталей, кг
1	2	5	6	7
1	Измельчитель	7,3	1	7,3
2	Бункер загрузочная	1	1	1
3	Матрица	3	1	3
4	Ролик	2	2	4
5	Отрезной нож	0,805	1	0,805
6	Диск	2	1	2
7	Выгрузная	0,705	1	0,705
8	Электродвигатель	21	1	21
9	Редуктор	34	1	34
10	Вал	5	1	5
Итого :				79

Масса покупных деталей и цены на них представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 - Масса по купных деталей и цены

№ п/п	Наименование деталей	Количество	Масса, кг		Цены, руб	
			Одно й	Всего	Одно й	Всего
1	2	3	4	5	6	7
2	Болты М12	4	0,02	0,08	50	200
3	Болты М6	4	0,0015	0,015	32	128
4	Гайка М12	4	0,01	0,04	20	80
5	Гайка М6	4	0,01	0,08	20	160
6	БолтыМ10	1	0,01	0,01	20	20
7	Электро двигатель	1	21	21	10000	10000
8	Полшипник	1	0,4	0,4	500	500
9	Вал	1	10	1	600	600
10	Редукто р	1	34	34	7000	7000
11	Ро лик	2	2	4	2500	2500
12	Матрица	1	3	3	3000	3000
Итого :			63,625		24188	

Определим массу конструкции по формуле 5.1, подставив значения из таблицы 5.1:

$$G = (79+64) \cdot 1,05 = 150,15 \text{ кг}$$

Определение балансовой стоимости по формуле 5.2, подставив значения из таблицы 5.1:

$$C_d = [G_k \cdot (C_i \cdot E + C_m) + C_{из}] \cdot K_{из} \quad (5.2)$$

где G_k – масса конструкции без покупных деталей и узлов, кг;

C_i – издержки производства, приходящиеся на 1 кг, массы конструкции, руб. ($C_i=0,02...0,15$);

E – коэффициент измерения стоимости изготовления машин в зависимости от объема выпуска (принимаем $E=1,5$);

C_m – затраты на материалы, приходящиеся на 1 кг массы машин, руб./кг. ($C_m=0,68...0,95$);

$C_{из}$ – дополнительные затраты на покупные детали и узлы, руб.;

$K_{\text{инц}}$ – ко эффициент, учитывающий о ткло нение прейскурантно й цены о т балансо во й сто имо сти ($K_{\text{инц}} = 1,15 \dots 1,4$).

$$C_n = [79 \cdot (0,15 \cdot 1,5 + 0,8) + 24188] \cdot 1,15 = 27909 \text{ руб}$$

5.2 Расчёт технико -эко номических по казателей эффективно сти ко нструкции и их сравнение

Прежде чем приступить к расчету технико -эко номических по казателей, приведём исхо дные данные.

Таблица 5.3 - Исхо дные данные сравниваемых ко нструкций

Наимено вание	Про ектируемо й	Базо во й
1	2	3
Масса ко нструкции, кг	79	102
Балансо вая сто имо сть, руб.	24188	60000
По требная мо щно сть, кВт	4	4,5
Часо вая про изво дительно сть, кг/ч	120	200
Ко личество о бслуживающего персо нала, чел.	1	1
Разряд рабо ты	IV	IV
Тарифная ставка, руб./ч.	100	100
Но рма амо ртизации, %	13,5	13,5
Но рма затрат на ремо нт ТО, %	12	12
Го до вая загрузка ко нструкции, ч	1500	1500

С по мо щью этих данных рассчитыываются технико -эко номические по казатели эффективно сти ко нструкции триера, и дается их сравнение.

При расчетах по казатели базо во го (существующего) варианта о бо значаются как X_0 , а про ектируемо го как X_1 .

Энерго емко сть про цесса о пределяют из выражения:

$$\mathcal{E}_e = \frac{N_e}{W_z} \quad (5.3)$$

где N_e – по требляемая ко нструкцией мо щно сть, кВт;

W_z – часо вая про изво дительно сть ко нструкции; кг/ч.

По дставив значения в фо рмулу (3.3.3) по лучим:

$$\Xi_e^0 = \frac{4,5}{1,5} = 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$$

$$\Xi_e^1 = \frac{4}{1,8} = 2,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ч}$$

Металло ёмко сть про цесса о пределяют по фо рмуле:

$$M_e = \frac{G}{W_z \cdot T_{\text{зад}} \cdot T_{\text{ст}}} \quad (5.4)$$

где G – масса ко нструкции, кг;

$T_{\text{зад}}$ – го до вая загрузка ко нструкции, час;

$T_{\text{ст}}$ – сро к службы ко нструкции, лет.

$$M_e^0 = \frac{79}{1,5 \cdot 1500 \cdot 12} = 0,003 \text{ кг/т}$$

$$M_e^1 = \frac{102}{1,8 \cdot 1500 \cdot 12} = 0,004 \text{ кг/т}$$

Фо ндо ёмко сть про цесса о пределяют по фо рмуле:

$$F_e = \frac{C_6}{W_z \cdot T_{\text{зад}}} \quad (5.5)$$

где C_6 – балансо вая сто имо сть ко нструкции, руб.

$$F_e^0 = \frac{60000}{1,5 \cdot 1500} = 26,6 \text{ руб./кг}$$

$$F_e^1 = \frac{24188}{1,8 \cdot 1500} = 10,8 \text{ руб./кг}$$

Трудо ёмко сть про цесса о пределяют по фо рмуле:

$$T_e = \frac{n_p}{W_z} \quad (5.6)$$

где n_p – ко личество рабо чих, чел.

$$T_e^1 = \frac{1}{1,8} = 0,55 \text{ чел} \cdot \text{час/кг}$$

$$T_e^0 = \frac{1}{1,5} = 0,66 \text{ чел} \cdot \text{час/ед}$$

Себестоимость работы определяют по формуле:

$$S = C_{\text{пл}} + C_{\text{р}} + C_{\text{э}} + A \quad (5.7)$$

где $C_{\text{пл}}$ – затраты на оплату труда, руб/кг;

$C_{\text{р}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб/кг;

$C_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб/кг;

A – амортизационные отчисления, руб/кг.

Затраты на заработную плату определяют по формуле:

$$C_{\text{пл}} = Z \cdot T_r \quad (5.8)$$

где Z – часовая тарифная ставка, руб/ч:

$$C_{\text{пл}}^1 = 100 \cdot 0,55 = 55 \text{ руб/кг}$$

$$C_{\text{пл}}^0 = 100 \cdot 0,66 = 66 \text{ руб./кг}$$

Затраты на электроэнергию определяют по формуле:

$$C_{\text{э}} = C_{\text{э}} \cdot \mathcal{E}_r \quad (5.9)$$

где $C_{\text{э}}$ – комплексная цена за электроэнергию, руб/кВт.

$$C_{\text{э}}^1 = 2,8 \cdot 2,2 = 6,16 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{э}}^0 = 2,8 \cdot 3 = 8,4 \text{ руб./кг}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяют по формуле:

$$C_{\text{р}} = \frac{C_{\text{р}} \cdot H_{\text{р}}}{100 \cdot W_r \cdot T_{\text{год}}} \quad (5.10)$$

где $H_{\text{р}}$ – суммарная норма затрат на ремонт и техобслуживание, %.

Полученные значения подставим в формулу 5.4.10:

$$C_{\text{р}}^1 = \frac{24188 \cdot 12}{100 \cdot 1,8 \cdot 1500} = 1,8 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{р}}^0 = \frac{60000 \cdot 12}{100 \cdot 1,5 \cdot 1500} = 2,8 \text{ руб./кг}$$

Затраты на амортизационные отчисления определяют по формуле:

$$A = \frac{C_0 \cdot a}{100 \cdot W_c \cdot T_{\text{ам}}} \quad (5.11)$$

где a - норма амортизации, %.

$$A^1 = \frac{24188 \cdot 13,5}{100 \cdot 1,8 \cdot 1500} = 2,4 \text{ руб./кг}$$

$$A^0 = \frac{60000 \cdot 13,5}{100 \cdot 1,5 \cdot 1500} = 3,6 \text{ руб./кг}$$

Подставим полученные значения в формулу 3.4.7:

$$S_{\text{ам}}^1 = 55 + 6,16 + 1,8 + 2,4 = 65,36 \text{ руб./кг}$$

$$S_{\text{ам}}^0 = 66 + 8,4 + 2,8 + 3,6 = 80,8 \text{ руб./кг}$$

Приведённые затраты определяют по формуле:

$$C_{\text{прив}} = S + E_n \cdot F_c \cdot k \quad (5.12)$$

где E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,1$);

F_c - фондоемкость процесса, руб./кг;

k - удельные капитальные вложения, руб./кг.

$$C_{\text{прив}}^1 = 65,36 + 0,1 \cdot 26,6 = 68,02 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{прив}}^0 = 80,8 + 0,1 \cdot 10,8 = 81,88 \text{ руб./кг}$$

Годовую экономию определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_0 - S_1) \cdot W_c \cdot T_{\text{ам}} \quad (5.13)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (80,8 - 65,36) \cdot 1,8 \cdot 1500 = 41688 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$E_{\text{год}} = (C_{\text{прив}}^0 - C_{\text{прив}}^1) \cdot W_c \cdot T_{\text{ам}} \quad (5.14)$$

$$E_{\text{год}} = (81,88 - 68,02) \cdot 1,8 \cdot 1500 = 37422 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{on} = \frac{C_{oi}}{\mathcal{E}_{on}} \quad (5.15)$$

$$T_{on} = \frac{24188}{37422} = 0,6 \text{ го да}$$

Коэффициент эффективности до по длительных капитальных вложений определяют по формуле:

$$E_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{on}}{C_o} \quad (5.16)$$

$$E_{эф} = \frac{37422}{24188} = 1,55$$

Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

№ п/п	Наименование показателей	Базовый	Проект
1	2	3	4
1	Часовая производительность, кг/с	1,5	1,8
2	Фондовая стоимость процесса, руб./кг	10,8	26,6
3	Энергоёмкость процесса, кВт/кг	3	2,2
4	Металлоёмкость процесса, кг/т	0,003	0,004
5	Трудоёмкость процесса, чел*ч/кг	0,66	0,55
6	Уровень эксплуатационных затрат, руб./кг	80,8	65,36
7	Уровень приведённых затрат, руб./кг	81,88	68,02
8	Годовая экономия, руб.	41688	
9	Годовой экономический эффект, руб.	37422	
10	Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,6	
11	Коэффициент эффективности капитальных вложений	1,55	

Как видно из таблицы 5.4 спроектированная конструкция гранулятора с измельчителем является экономически эффективной, так как срок окупаемости 7 месяцев и коэффициент эффективности равен: 1,55.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. При выполнении данной научно-исследовательской работы были рассмотрены ряд существующих грануляторов, используемых в сельскохозяйственном производстве для измельчения и гранулирования концентрированных кормов. На основе существующих инструкций грануляторов, применяемых в производстве и сельском хозяйстве нами были выделены основные их преимущества и недостатки.

2. В процессе выполнения выпускной квалификационной работы приведены необходимые конструктивно-технологические расчеты и математическая модель процесса гранулирования кормов, а также экологические требования, предъявляемые к измельченным концентрированным кормам.

3. На основе анализа инструкции машин для гранулирования кормов, разработанного устройства гранулятора с измельчителем, хотелось бы предложить провести лабораторные исследования по определению рациональных конструктивно-технологических параметров.

4. Исследован процесс измельчения и гранулирования зерна (пшеницы и ячменя) на экспериментальном устройстве и определен производительность гранулятора, влажность и крошимость гранул. В результате проведенных экспериментов и обработки их результатов, был построен график зависимости производительности гранулятора от мощности и график зависимости крошимости гранул от влажности прессуемого продукта.

5. Разработанная инструкция гранулятора с измельчителем концентрированных кормов является экологически эффективной, так как срок окупаемости 7 месяцев и коэффициент эффективности равен: 1,55.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шайхутдинов Э.И., Халиуллин Д.Т., Нафиков И.Р. Совершенные технологии приготвления кормов / Агроинженерная наука XXI века. Научные труды региональной научно-практической конференции. - Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2018. С. 285-290.
2. Шайхутдинов Э.И., Халиуллин Д.Т., Нафиков И.Р. Обзор существующих конструкций грануляторов концентрированных кормов / Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы // Труды II международной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017. С 90-96.
3. Газетдинов М.Х., Хайруллина С.Ф. Теоретические основы и принципы развития систем кормопроизводства в условиях интеграции сельскохозяйственных предприятий / Экономические науки // Вестник Казанского ГАУ № 3 (29) 2013. С. 10-14.
4. Линия гранулирования комбикормов [Электронный ресурс]: промышленно-инвестиционная группа. / Республика Беларусь, 220015, г. Минск, ул. Пономаренко, 35А, оф. 214., 2011 г.
5. Витт К.Н. Опыт брикетирования соломы как топлива для газогенераторных двигателей [Текст] / К.Н. Витт // Труды Азово-Черномор. ин-та механизации сель. хоз-ва. – Ростов н/Д, 1939. – Вып. II. – С. 11–14
6. Горячкин В.П. Совершенствование [Текст]: В 3-х т. Т. 3 / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 384 с.
7. ГОСТ 23168-78 Оборудование для гранулирования и брикетирования кормов. Общие технические требования. [Текст]:– М.: Издательство стандартов, 1978. – 14 с.
8. Сундеев, А.А. Процесс измельчения зерна и его развитие [Текст] / А.А.Сундеев// Механизация подготовки кормов в животноводстве: Сб. науч. тр. –Воронеж, 1984. – С.3-17.135. Сундеев, А.А. Работа молотковой дробилки в замкнутом цикле [Текст] /

9. Сундеев, А.А. Экспериментальные исследования работы сепаратора эластичными рабочими органами [Текст] // Совершенствование технологий и технических средств для механизации процессов в растениеводстве: Сб. науч.тр./ВГАУ. Воронеж, 1994. – С.169-172.
10. ГО СТ 23169-78 О б о руд о в а н и е д л я г р а н у л и р о в а н и я и б р и к е т и р о в а н и я к о р м о в . Т и п ы и о с н о в н ы е п а р а м е т р ы . [Текст]: – М.: Издательство стандартов, 1978. – 7 с.
11. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов: Справочник [Текст] / В.И. Сыроватка, А.В. Дёмин, А.Х. Джалилов и др. – М.: Агропромиздат,
12. Гутьяр Е.М. О п ы т т е о р и и с е н о п р е с с о в а н и я [Текст]. Т е о р и я , к о н с т р у к ц и я и п р о и з в о д с т в о с е л ь с к о х о з я й с т в е н н ы х м а ш и н . Т . 4 / Е . М . Г у т ь я р . – М . : С е л ь х о з и з д а т , 1936.
13. Черняев, Н.П. Производство комбикормов [Текст] / Н.П. Черняев.– М.: Агропромиздат, 1989. 224 с.
14. Демский, А.Б. О б о руд о в а н и е д л я п р о и з в о д с т в а м у к и , к р у п ы и к о м б и к о р м о в [Текст] : с п р а в о ч н и к . / А . Б . Д е м с к и й , В . Ф . В е д е н ь е в . – М . : Д е Л и п р и н т , 2005. – 760 с.
15. До л г о в И . А . К о р м о у б о р о ч н ы е м а ш и н ы . Т е о р и я , к о н с т р у к ц и я , р а с ч е т [Текст]/ И . А . Д о л г о в . – Р о с т о в - н / Д : Р И С Х М , 1988. – 109 с.
16. До л г о в И . А . М а т е м а т и ч е с к и е м е т о д ы в з е м л е д е л ь ч е с к о й м е х а н и - к е [Текст] / И . А . Д о л г о в , Г . К . В а с и л ь е в . – М . : М а ш и н о с т р о е н и е , 1967. – 203 с. 1985. 386 с.
17. Зиганшин Б.Г. П о в ы ш е н и е э ф ф е к т и в н о с т и т е х н и ч е с к и х с р е д с т в п р и г о т о в л е н и я к о р м о в в ж и в о т н о в о д с т в е н а о с н о в е р а с ш и р е н и я т е х н о л о г и ч е с к и х в о з м о ж н о с т е й и з м е л ь ч и т е л е й . д и с д о к . т е х н . н а у к : К а з а н ь , 2004.
18. До л г о в И . А . М о д е л и р о в а н и е п р о к а т к и с л о я р а с т и т е л ь н о й м а с с ы п а р о й п о д п р у ж и н е н н ы х в а л ь ц о в [Текст] / И . А . Д о л г о в , В . Е . О р е н ш т е й н // М е ж в у з . с б . и н - т а / Р о с т о в - н / Д и н - т с . - х . м а ш и н о с т р . – 1986. – С . 3 – 11.

19. Зорин, А.Ф. Обследование профиля зубьев колес и рабочего режима шестеренчатого гранулятора [Текст] : дис. ...канд. техн. наук. – Зеленоград, 2002. – 162 с.
18. Зорин А.Ф. Производство шестеренчатого гранулятора с молотковой дробилкой [Текст] : дис. ...канд. техн. наук. – Зеленоград, 2002. – 162 с.
20. Иванов М.И. Детали машин: Учебн. для студентов вузов [Текст] / М.И. Иванов. – 6-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1998 – 383 с.
21. Кажуков В.Н. Исследование процесса миграции влаги при поддожном микробиологическом перед прессованием (гранулятором) [Текст] / В.Н. Кажуков // Тр. Горьк. с.-х. ин-та. – 1979. – Т. 134. – С. 6–10.
22. Москвичева А.Б. Использование отходов переработки продукции растениеводства в производстве микробиологического стартера для молотковой крупногратовой смеси. / Москвичева А.Б., Шайдуллин Р.Р., Зиганшин Б.Г., Шарафутдинов Г.С. // Зеленоградское хозяйство России. 2017. № 2 (50). С. 51-57
23. Колотев А.А. Исследования энергоемкости процесса прессования сена в брикеты [Текст] : Авто реф. дис. ... канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1969. – 24 с.
24. Красовский Г.И. Планирование экспериментов [Текст]/ Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302с.
25. Кудрявцев В.Н. Зубчатые и червячные передачи / В.Н. Кудрявцев. – М.: Оборонгиз, 1951. – 291с.
26. Маркарян С.Е. Основные параметры кольцевых брикетных прессов [Текст] / С.Е. Маркарян, Г.Г. Мусаелянц, А.И. Коваленко // Механизация и электрификация с.-х. хозяйства. – 1977. – № 4. – С. 20–22.
27. Осипкин А.В., Гиенко Е.А., Лагутин И.И. Обзор существующих методов расчета основных параметров грануляционно-оборудования / Молодой ученый. Международный научный журнал. № 3 (107). 2016. С. 179-185. ISSN 2072-0297
28. Машины и оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции, выпускаемое в регионах России [Текст]: Каталог. Дополнение /

- В.М. Баутин, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев и др.; М-во сельского хозяйства РФ, Деп-т науки и технического прогресса, Деп-т технической политики, ФГНУ «Росинформагротех». – М.: Росинформагротех, 2002. – 188 с.
29. Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В., Низамов Р.М. Применение пневмо механических шелушителей при производстве очищенного шрота / Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы // Труды II международного научно-практического конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017. С 85-89.
30. Особов В.И. Машины и оборудование для уплотнения соло мистых материалов [Текст] / В.И. Особов, Г.К. Васильев, А.В. Голыновский. – М.: Машиностроение, 1974. – 231 с.
31. Особов В.И. Машины для брикетирования растительных материалов [Текст] / В.И. Особов. – М.: Машиностроение, 1971. – 112 с.
32. Особов В.И. Теоретические основы уплотнения волокнистых растительных материалов [Текст] / В.И. Особов // Труды ВИСХОМ. – М., 1967. – Вып. 55. – С. 221–265.
33. Родина, Л.Н. Обоснование параметров шестеренного пресса плунжерного действия для гранулирования кормов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Зерноград, 2005. – 133 с.
34. Щербина В.И. Деформация корма в процессе гранулирования [Текст]/ В.И. Щербина. – Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2002 – 104 с.
35. Щербина В.И. Ресурсосберегающие процессы гранулирования и брикетирования кормов шестеренными прессами [Текст]: Дис. ... докт. техн. наук. – Зерноград, 2004.
- А.А. Сундеев, А.П. Барбицкий, С.В. Мерчалов // Совершенствование средств механизации в животноводстве: Сб. науч. тр. – Воронеж, 1987. – С. 30-
36. Дифицированным профилем зубчатого венца [Текст]/ А.Ф.Зорин // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. – Зерноград, 2001. – Вып. 3. – С. 134–137.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул при различной частоте вращения для влажности ячменя 10,2 %

№ п/п	Обороты электро двигателя, min ⁻¹		
	1015	1160	1305
1	7,5%	6,5%	7,5%
2	7,4%	6,6%	7,4%
3	7,5%	6,7%	7,7%
4	7,6%	6,8%	7,6%

Приложение Б

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул при различной частоте вращения для влажности ячменя 10,2 %

№ п/п	Обороты электро двигателя, min ⁻¹		
	1015	1160	1305
1	7,2%	6,1%	7,3%
2	7%	6,3%	7,4%
3	7%	6%	7,1%
4	7,1%	6,2%	7%

Приложение В

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул при различной частоте вращения для влажности ячменя 17,1

№ п/п	Обороты электро двигателя, min ⁻¹		
	1015	1160	1305
1	7,6%	6,9%	7,7%
2	7,3%	6,7%	7,4%
3	7,5%	6,6%	7,6%
4	7,5%	6,9%	7,6%

Приложение Г

Результаты эксперимента по определению крошимости гранул при различной частоте вращения для влажности ячменя 20,3 %

№ п/п	Обороты электро двигателя, min ⁻¹		
	1015	1160	1305
1	9,5%	8,5%	9,6%
2	9,9%	8,6%	9,2%
3	9,8%	8,7%	9,7%
4	9,6%	8,8%	9,3%