

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Костанайский государственный университет
имени А.Байтурсынова

Кафедра машин, тракторов и автомобилей

Н.В. Гаврилов

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРУДЕРОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ
ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие

Костанай. 2018

УДК 631.36(075.8)

ББК 36.81 я73

Г12

Автор:

Гаврилов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры машин, тракторов и автомобилей, Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова

Рецензенты:

Дерепаскин Алексей Иванович, доктор технических наук, профессор, руководитель испытательного центра «КФ ТОО КазНИИМЭСХ»;

Гайфулин Гаяз Закирович, доктор технических наук, профессор, кафедра машин, тракторов и автомобилей, Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова

Иванченко Павел Григорьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Использование МТП», «КФ ТОО КазНИИМЭСХ»;

Гаврилов Н.В.

Г12 Применение экструдеров при переработке продукции растениеводства. Учебно-методическое пособие для обучающихся в профильной магистратуре в рамках ГПИИР-2– Костанай, 2018. - 127 с.

ISBN 978601-7955-19-9

В пособии даются рекомендации и советы по изучению отдельной темы «Применение экструдеров при переработке продукции растениеводства».

Учебно-методическое пособие предназначено для магистрантов специальности 6М 080600 «Аграрная техника и технология» образовательной программы «Сельскохозяйственное машиностроение». Издание переработанное и дополненное.

Может быть использовано студентами других факультетов и специалистами сельскохозяйственного производства.

Утверждено учебно-методическим советом инженерно-технического факультета протокол 28. 12. 2017г., протокол № 11.

УДК 631.36(075.8)

ББК 36.81 я73

Утверждено и рекомендовано к изданию учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова, 21.02. 2018г., протокол №1.

ISBN 978601-7955-19-9

© Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова, Гаврилов Н.В. 2018

Содержание

Введение	5
Тема 1 Анализ технологий экструдирования кормов	6
1.1 Современные технологии приготовления многокомпонентных кормов	6
1.2 Обзор конструкций экструдеров и эффективность применения экструдруемых кормовых материалов.....	8
1.3 Классификация и виды экструдера. Основной рабочий орган экструдера (шнек, диск, поршень).....	15
1.4 Показатели, влияющие на качество экструдированных продуктов.....	16
1.5 Особенности процесса экструзии растительного сырья и кормосмесей	18
1.6 Анализ конструкций матриц и фильер экструдеров, классификация матриц.....	24
1.7 Особенности конструкций фильер.....	31
1.8 Особенности конструкций шнека экструдера.....	33
Тема 2 Теоретические основы исследования процесса экструдирования	43
2.1 Теоретические исследования процесса экструдирования кормосмеси	43
2.2 Экструдер для переработки кормосмеси.....	45
2.3 Теоретические исследования параметров шнека экструдера.....	57
2.4 Математическое моделирование процесса экструдирования.....	59
2.4.1 Требования к математическим моделям для параметрического синтеза.....	59
2.4.2 Формирование математической модели.....	62
2.4.3 Кинематический расчет движения материала в каналах шнека.....	63
2.4.4 Определение скорости проскальзывания экструдруемого материала по дну шнекового канала.....	65
2.5 Расчет производительности экструдера.....	66
2.5.1 Расчет геометрии шнека и частоты его вращения.....	66
2.5.2 Расчет производительности одношнековых экструдеров.....	68
2.6 Расчет мощности в одношнековом экструдере.....	73
2.7 Теоретические предпосылки разработки конструктивно- технологической схемы матрицы экструдера.....	76
2.8 Исследования параметров экструдера.....	82
2.9 Математическая модель одношнекового экструдера.....	84
2.10 Методика инженерного расчета одношнекового экструдера.....	89
Тема 3 Программа и методика экспериментальных исследований	92
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	92
3.2 Определение вязкости кормосмеси.....	92
3.3 Методика проведения исследований по определению коэффициента трения кормосмеси.....	95
3.4 Методика определения качества экструдата.....	96
3.4.1 Определение содержания декстринов в корме.....	96
3.4.2 Определение крошимости экструдата.....	97
3.4.3 Определение влажности кормосмеси.....	98

3.4.4 Методика определения содержания крахмала.....	100
3.5 Общая методика экспериментальных исследований.....	101
3.5.1 Описание экспериментальной установки.....	101
3.5.2 Методика проведения сравнительных экспериментов.....	101
3.6 Результаты сравнения работы малогабаритного пресс-экструдера ПЭ-1 с различными конструкциями шнеков.....	104
3.7 Определение оптимальной скорости вращения шнека.....	106
Тема 4 Обработка и анализ экспериментальных исследований.....	109
4.1 Результаты сравнительных экспериментов.....	109
4.2 Результаты сравнения работы малогабаритного пресс – экструдера ПЭ-1 с различными конструкциями шнеков.....	110
4.3 Результаты оптимизационных экспериментов.....	113
4.4 Результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований.....	114
4.5 Результаты определения качества экструдата.....	115
4.6 Определение коэффициента трения.....	116
4.7 Рекомендации производству.....	117
Список используемых источников.....	118
Приложение А. Устройство пресс-экструдеров.....	120

ВВЕДЕНИЕ

Использование кормосмеси в рационах животных в необработанном виде имеет низкую переваримость. Чтобы повысить питательность кормосмеси необходимо осуществить её дополнительную обработку. Один из резервов роста эффективности кормоприготовления – это использование экструдированных кормосмесей в рационах животных.

Энергоемкими технологическими объектами кормовой промышленности являются одношнековые прессующие механизмы, которые в последнее время стали активно использоваться при экструдировании кормосмеси. Особенностью прессов-экструдеров является сложность и разнообразие процессов обработки кормосмеси. Стремление повысить производительность пресса-экструдера и качество экструдата является актуальным вопросом, зависящим от конструктивно-режимных параметров экструдера, особенно от конструкции фильера.

Учебное пособие предназначено для изучения практических работ по курсу дисциплины «Технологические машины переработки продукции растениеводства» предназначены для магистрантов инженерного факультета.

Цель работы

- изучить классификацию экструдеров;
- изучить общее устройство экструдеров типа КМЗ-2У, экспериментального экструдера;
- изучить классификацию и устройство матриц, фильер;
- изучить технологический процесс экструдирования кормосмеси.
- выполнить работу с проведением исследований на учебном оборудовании.

Оборудование рабочего места:

- методические указания по изучению работы;
- плакаты по экструдеру КМЗ-2У;
- лабораторная установка.

Содержание отчета

Дать краткое описание, техническую характеристику и условия применения экструдеров.

Вычертить технологические схемы КМЗ-2У и лабораторной установки.

Подсчитать значения по методике инженерного расчета.

Оформить отчет по проведению работы с построением графиков, заполнением таблиц. Ответить на вопросы преподавателя.

ТЕМА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ КОРМОВ

1.1 Современные технологии приготовления многокомпонентных кормов

Для получения высококачественного кормового продукта, в котором максимально сохраняется биологическая ценность исходного сырья, желательнее использовать экономичные и экологически чистые технологии.

К новейшим приёмам переработки зерна, зерноотходов, отходов полеводства, отходов мукомольной промышленности, биологических отходов относятся экструзионные технологии. В наиболее экономически развитых государствах (США, Япония, страны Западной Европы) экструзионные технологии стали приоритетным направлением развития пищевой и кормовой промышленности. В настоящее время различными экструзионными методами производят кондитерские изделия, а также корма для домашней птицы, животных, рыб.

Основами процессов экструзии занимаются крупные научные центры – Технический университет Берлина (Германия), Центр исследований сельскохозяйственных проблем в Нанте (Франция), Канзасский университет (Соединенные Штаты Америки). Кроме развитых научных центров по всему миру ведутся многочисленные научные работы, позволяющие применить экструзионный технологический процесс при переработке различных кормовых материалов. Экструзионная переработка многокомпонентных кормов особенно сложна, так как необходимо учитывать внутреннее строение материала (структуру), иметь представление о зависимости состава корма (рецепт, рацион), необходимости обработки этого состава корма, конечный результат изменения структурно - механических свойств, для каких животных данный экструдированный корм будет скармливаться.

Наиболее эффективным методом кормления для современного животноводства является использование кормосмесей, состоящих из разнородных по физико-химическому составу кормов. Развитие экструзионной техники позволило предложить новые способы переработки кормовых материалов (кормосмесей) для зверо - хозяйств, свиноводства и птицеводства. В основе предлагаемых технологий лежит способ сухой экструзии, при котором нагрев экструдруемого материала происходит за счёт трения как внутринего, так и о ствол экструдера. В современных экструдерах, в зависимости от характера обрабатываемого материала температура может достигать 200°C, а давление — 4-5 МПа. В то же время отрицательные эффекты обработки сводятся к минимуму благодаря её кратковременности. Обрабатываемый материал находится в экструдере не более 30-90 секунд [1]. За время прохождения через экструдер, смесь:

- стерилизуется и обеззараживается (болезнетворные микроорганизмы, грибки, плесень полностью уничтожаются);

- увеличивается в объёме (вследствие разрыва молекулярных цепочек крахмала и стенок клеток при выходе из экструдера);
- гомогенизируется (процессы измельчения, и перемешивания сырья в стволе экструдера продолжают, продукт становится полностью однородным);
- стабилизируется (нейтрализуется действие ферментов, вызывающих прогорание продукта, таких, как липаза и липоксигеназа, инактивируются антипитательные факторы, токсины);
- обезвоживается (снижается влажность от исходной) [2].

Жёсткость экструзионной переработки, уничтожающей патогенную микрофлору, позволяет получать качественный корм, даже если наполнитель представлен некондиционными кормовыми материалами. Стерильность получаемого корма особенно важна при откорме молодняка, так как до 90% поголовья гибнет из-за болезни желудочно-кишечного тракта или инфекций, занесённых через пищеварительную систему [3].

Технологическую линию переработки кормосмесей, включая отходы полеводства, мукомольной промышленности можно спроектировать практически на любую производительность.

Примерный технологический процесс состоит из (рисунок 1):

- 1) взвешивания, дозирования;
- 2) дробления, измельчения;
- 3) смешивания измельчённой, дробленой массы в определённой пропорции с кормовыми добавками, витаминами, микроэлементами, растительным наполнителем, при необходимости доувлажнения;
- 4) экструдирования;
- 5) гранулирования;
- 6) выдачи готового рассыпного корма;
- 7) затаривания.

Процесс затаривания может быть заменен на скармливание при приготовлении экструдата непосредственно перед кормлением животных, в соответствии с рационом.

Использование экструзионных технологий позволяет:

- интенсифицировать производственный процесс;
- снизить энергозатраты (кроме электроэнергии для обеспечения технологического процесса не нужны другие энергоносители: газ, пар, горячая вода);
- уменьшить трудовые затраты;
- повысить степень использования сырья;
- улучшить усвояемость продуктов;
- снизить микробиологическую обсеменённость продуктов;
- уменьшить загрязнение окружающей среды (отсутствуют выбросы в атмосферу, стоки и вторичные отходы).

В настоящее время линии по переработке отходов полеводства, мукомольной промышленности и других отходов установлены в ряде птицеводческих, животноводческих и звероводческих хозяйств разных

регионов России и Белоруссии, в Республике Казахстан. Их эксплуатация подтверждает указанные выше преимущества.



Рисунок 1 - Технологическая схема процесса приготовления многокомпонентного корма

Для оснащения реконструируемых животноводческих комплексов Республики Казахстан применяется оборудование нового поколения. Комплексная механизация технологических процессов в животноводстве предусматривает использование более пятнадцати машин и оборудования. В настоящее время предприятия республик СНГ производят почти всю номенклатуру наименований технологических средств.

1.2 Обзор конструкций экструдеров и эффективность применения экструдированных кормовых материалов

Зерно является основным компонентом при производстве кормосмеси для животных, птицы и рыбы. Однако при скармливании зерна в обычном виде усвояемость его питательных компонентов пищеварительными системами составляет не более 40–60%.

Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ много содержит крахмала, усвоение которого при кормлении животных и птицы происходит медленно и при этом продуктивно используются только определенные формы и то в небольшом количестве. По данным ряда исследований, усвояемость питательного потенциала крахмала в созданной

природной форме не превышает 20–25% в зависимости от вида культур. Поэтому задача новых технологий переработки зерна и состоит во внедрении таких способов обработки исходного сырья, которые позволили бы перевести крахмал в удобную для усвоения организмом животных форму. Это возможно при разрушении зернистой структуры крахмала на клеточном уровне, что способствует разрыву природных связей между отдельными составляющими частями и переводу его в более простые углеводы в виде декстринов и сахаров, то есть происходит желатинизация крахмала или декстринизация его на более простые составляющие [4].

Без специальной обработки трудно усвояемой является также и клетчатка, которая содержится в большом количестве в зерне и бобах, особенно в их верхних защитных слоях и оболочках. Поэтому разрабатываемые способы углубленной переработки исходного зернового сырья должны способствовать деструкции части целлюлозно-лигнинных образований клетчатки в природных формах в более простые виды моносахаров и аминокислот.

Необходимы новые приемы, которые разрешили бы функциональные возможности технологий и соответствующего оборудования приготовления кормосмеси. Требуется повысить эффективность производства кормосмеси за счет снижения затрат ресурсов, улучшения качества, используя более дешевые виды местного сырья, расширяя тем самым сырьевую базу.

В процессе производства и переработки сельскохозяйственной продукции образуются технологические отходы производства. К таким отходам можно отнести как отходы растительного происхождения, например, зерно зараженное вредителями или переувлажненное, силос и сенаж, потерявшие потребительские качества, так и отходы животного происхождения.

Технологический процесс производства кормосмесей включает в себя ряд типовых операций обработки сырья: измельчение, дозирование, смешивания, а также прессование (гранулирование, брикетирование, экструдирование и др.).

Экструзия - один из наиболее эффективных и применяемых в комбикормовой промышленности способов обработки зерна. При обработке зернофуража таким способом протекают два непрерывных процесса: 1) механическое и химическое деформирование; 2) взрыв продукта.

Процесс экструзии занимает короткий промежуток времени (около 30–60 секунд), однако за это время сырье успевает пройти несколько стадий обработки: тепловую, стерилизацию, обеззараживание (под воздействием температуры и давления болезнетворные микроорганизмы, грибки, плесени полностью уничтожаются), увеличение объема (является следствием разрыва стенок клеток, разрушения структуры гранул и разрыва молекулярной цепочки крахмала, что повышает энергетическую ценность продукта), измельчение, смешивание (несмотря на то, что сырье дробится и перемешивается перед подачей в экструдер, в стволе экструдера эти процессы продолжаются и продукт становится полностью однородным), обезвоживание (за 20–30 секунд содержание влаги снижается на 70–75% от исходной), стабилизацию (высокая температура и давление нейтрализуют разрушительное действие ферментов, а

это способствует значительному увеличению сроков хранения готовой продукции) [4].

Технологический процесс переработки состоит из измельчения и смешивания исходных компонентов, экструзионной обработки и охлаждения готового продукта. Конечный продукт может быть выпущен в различной физической форме (россыпь, гранулы) и использован в качестве полного рациона или для включения в самые разнообразные рационы. Особое внимание стоит обратить на более высокую усвояемость получаемого продукта (на 25–30% выше обычного), что позволяет увеличить привесы при кормлении по сравнению с традиционным кормом, и резко уменьшить объем отходов жизнедеятельности.

Подлежащее экструзии сырье доводят до влажности 12-16%, измельчают и подают в экструдер, где под действием высокого давления (2,8-3,9 МПа) и трения зерновая масса разогревается до температуры 120-150 градусов. Затем вследствие быстрого перемещения ее из зоны высокого давления в зону атмосферного происходит так называемый «взрыв», в результате чего гомогенная масса вспучивается и образует продукт микропористой структуры. Вследствие желатинизации крахмала, деструкции целлюлозно-лигниновых образований значительно улучшается его кормовая ценность. Количество крахмала при этом уменьшается на 12%, а декстринов (продуктов первичного гидролиза крахмала) увеличивается более чем в 5 раз, количество сахара возрастает на 14%. При этом значительно улучшается санитарное состояние зерна. Под действием высокой температуры и давления почти полностью уничтожаются патогенная микрофлора и плесневые грибы [4].

На качество конечного продукта (экструдата) будут влиять и конструктивно-режимные параметры экструдера (конструкция корпуса, шнека, фильтры, частота вращения шнека и другое). В корпусе экструдера могут быть установлены специальные шайбы. За счет трения о шнек и стенки корпуса продукт значительно нагревается, а разность давления на выходе из камеры и внутри нее приводит к вспучиванию продукта.

Экструдированный корм наиболее рационально использовать для кормления поросят младших возрастов, поскольку их пищеварительная система в этот период не способна расщеплять сложные питательные вещества. При использовании экструдированного зерна в составе рационов для молодняка свиней увеличивается перевариваемость сухого вещества на 2,1%, органического на 1,9 %, сырого протеина на 4,5 %, сырого жира на 3,8%.

Экструдированным горохом в комбикормах для поросят-сосунов можно заменить до 50% массы кормов животного происхождения (сухой обрат, рыбная, мясокостная мука), а для поросят старше 2-месячного возраста этим кормом можно полностью заменить корма животного происхождения [5].

Экструзионная обработка сельскохозяйственного сырья за последние годы получила широкое распространение. Она позволяет иметь ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами: повысить степень использования сырья, получить готовые к применению кормовые продукты большого ассортимента, значительно снизить удельные затраты (труда и

средств), обеспечить высокую усвояемость кормов, уменьшить загрязнение окружающей среды (рисунок 2).

За период развития экструзионной промышленности получено много новых конструкций экструдеров. Основные из них одношнековые, которые так же применяются при переработке сельскохозяйственного сырья.

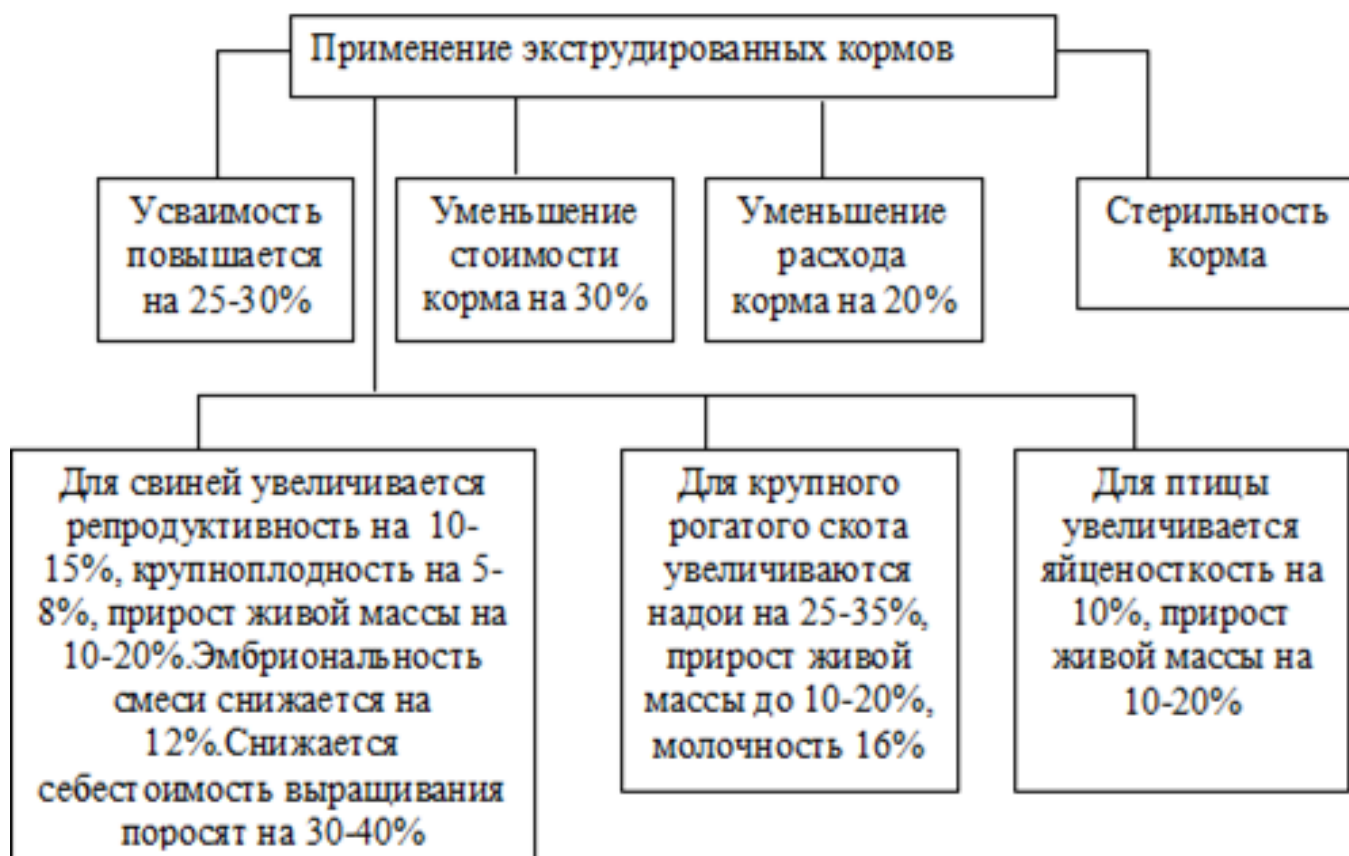


Рисунок 2 - Эффективность применения экструдированных кормов в животноводстве и птицеводстве

Обработка методом экструзии оказывает преобразующее действие на углеродный комплекс зерна и его ферментную активность. Нагрев до высоких температур способствует образованию легкорастворимых углеводов, наличие влаги, в сочетании с высокой температурой, вызывает клейстеризацию крахмала. Использование жесткого температурного режима и высокого давления при экструдировании губительно воздействует на богатую микрофлору зерна и комбикормов, а также способствует снижению содержания токсичных веществ.

Экструдированный продукт, в отличие от необработанного корма, обладают рядом преимуществ: высокая усвояемость - позволяет вводить в рацион животного 25–30% обычной порции (то есть корма требуется меньше); стерильность - это качество особенно ценно при откорме на ранних стадиях

развития; отличные абсорбирующие свойства — при кормлении нейтрализуют различные кишечные инфекции и раздражения; особые вкусовые качества — являются стимулятором употребления животными при подмешивании кормов более низкого потребительского качества; получение высоких привесов — сокращается время содержания животных на откорме;

Таблица 1 - Сравнительные показатели некоторых видов кормов

Виды корма	Содержание	Показатели	
		необработанный	экструдированный
Пшеница, % на сухое вещество	крахмала	46,5	18,2
	декстрин	4,9	21,9
	сахаров	5,3	10,9
Ячмень, % на сухое вещество	крахмала	50,5	11,8
	декстрин	6,4	39,9
	сахаров	5,6	9,6
Горох, % на сухое вещество	крахмала	25,8	18,8
	декстрин	5,5	8,1
	сахаров	3,0	3,5

низкая влажность — позволяет хранить его в течение 6 месяцев без изменения его свойств (поэтому при использовании экструдированных кормов у животных должна быть в достатке чистая вода); использование в сухом виде — без запаривания, экономия средств на разогрев и чистку кормушки; поставка в мешках — удобно при погрузке, транспортировке, хранении и учете, способствует увеличению прироста живой массы откармливаемых животных более чем на 15 % (таблица 1) [6].

Таким образом, после экструдирования уменьшается количество крахмала и увеличивается количество декстринов и сахаров, что способствует усвояемости кормов.

Одним из резервов при производстве кормов является использование зерна бобовых (гороха и сои), что позволит значительно уменьшить применение в кормлении дефицитного белкового сырья животного происхождения. Производство высокобелковых кормов растительного происхождения является наиболее рациональным и экономически оправданным способом решения белковой проблемы в животноводстве. В качестве кладовой белка горох содержит все незаменимые аминокислоты и имеет высокую биологическую ценность. Установлено, что при экструдировании питательность сухого вещества гороха увеличивается на 10,9%, а содержание в нем протеина - на 24,8 %. Себестоимость 1 ц перевариваемого протеина экструдированного гороха в пять раз меньше, чем в кормовых дрожжах.

Один из самых оптимальных методов обработки - сухоеэкструдирование. При температуре 145-150° С и продолжительности процесса 25 с, происходит равномерная денатурация нативного белка, при этом первичные соединения аминокислот не разрушаются, а питательная ценность протеина сохраняется. При интенсивной технологии подкормка молодняка животных начинается с раннего возраста, когда природный крахмал зерна и протеин для них трудно переварим. Преимущество кормления экструдированным, по сравнению с молотым ячменем, выявлялось на протяжении всего опыта, причем более значительным оно было в период выращивания поросят с 3-х до 4-х месячного возраста.

Общая тенденция прироста свидетельствует о целесообразности использования экструдированного зерна до конца выращивания отъемышей. Добавление в корм экструдированного ячменя, по сравнению с молотым, обеспечило лучшее усвоение азота на 4,5 % от принятого и на 6,6 % от переваренного. Применение экструдированного, по сравнению с молотым ячменем, позволило увеличить среднесуточные привесы на 11 % и получить 12,2тенге дополнительной прибыли на 1 голову [7].

При кормлении свиней экструдированными кормами значительно улучшается жизнеспособность поросят, их энергия роста повышается на 12-25%, повышается репродуктивные функции свиноматок на 10-15%, эмбриональная смертность снижается до 12%, повышается крупноплодность помета на 5-8%, улучшаются вкусовые качества свинины.

В качестве добавок в рацион кормления животных широко используется рапс. Рапс - ценная масличная и кормовая культура. В его семенах содержится от 32 до 50 % масла и до 23 % белка. Жмых и шрот, остающиеся после переработки семян, содержат до 38-40 % белка, хорошо сбалансированного по аминокислотному составу. Рапс также целесообразно подвергать экструзионной обработке, так как в семенах и шроте содержатся вредные антипитательные вещества: глюкозинолат, повреждающий щитовидную железу и печень животных и птиц и снижающий потребление корма, и синапин, придающий яйцу запах рыбы при кормлении кур-несушек. Добавки экструдата в рацион значительно сокращает расход кормов, и повышают продуктивность животных [14].

Хорошие результаты дает также при кормлении концентрированный экструдированный комбикорм для КРС на основе зеленой массы люцерны. Люцерна имеет большую кормовую ценность из-за высокого содержания белка, β - каротина. Производство травяной муки - на сегодняшний день является убыточным вследствие чрезвычайно высоких затрат на сушку. Поскольку в процессе экструзии продукт может терять влажность до 50 % от первоначальной, это позволяет рассматривать возможность включения в состав комбикорма компонентов с высоким содержанием влаги, таких как люцерна. Непосредственное использование подобных кормовых средств без их предварительной обработки не приемлемо из-за небольшого срока хранения и низкой технологичности, для ликвидации этого недостатка было применено экструдирование.

Экструдирование улучшает потребительские свойства отходов спиртного производства для откорма свиней, и отходов пивоварения для молодых овец.

Экономически оправдано экструдирование поврежденного зерна, лузги гречихи, отрубей, семян трав, ржи для кормления птицы и КРС. Использование экструзионных технологий позволяет вырабатывать специальные и лечебные корма.

В рыночных условиях ведения хозяйства для животноводства на первый план выдвигается задача сокращения расхода кормов для получения продукции. Ключом к решению этой проблемы является полная сбалансированность рационов кормления животных по питательным и биологически активным веществам. Использовать экструзионную технику во внутрихозяйственных комбикормовых предприятиях можно по-разному, в зависимости от сырьевой базы, от видов выращиваемых животных и птицы. В таблице 2 приведен анализ экструдеров различных видов конструкций [2].

Таблица 2 - Анализ конструкций экструдеров

Модель	Производительность, кг/ч	Мощность привода, кВт	Частота вращения шнека, об/мин	Масса, кг	Кол-во шнеков, шт	Габариты, мм
А-80Р	120-140	22	500	700	1	1700x1300x1850
А-80МУ	300	45	300	950	2	2280x600x 2660
А-50М	150-250	45	300	1200	2	2650x650x 2700
Е-250	200	37	300	900	2	2000x1600x1700
Е-500	500	55	300	1100	1	2200x1800x 1700
Е-1000	1000	90	500	2000	1	2500x2100x 2000
КМЗ-2У	500	52	1200	850	1	2500x 800x 1500
КМЗ-2	500	40	1000	1220	1	1610x 1860x1550
ПЭ-1	500	56	350	1220	2	1620x1940x1560

Совершенствование оборудования для снижения энергоемкости процесса экструдирования на 5-10 % обеспечит высокий экономический эффект. Кормовая масса, в состав которой могут входить различные компоненты, имеет разные структурно-механические свойства и разные технологические процессы обработки, которые необходимо учитывать при конструировании оборудования. Поэтому разработка и совершенствование – соответствующего оборудования, охватывающего все большее разнообразие перерабатываемых материалов, является перспективной и актуальной.

1.3 Классификация и виды экструдера. Основной рабочий орган экструдера (шнек, диск, поршень)

Основные виды экструзионных машин представлены следующими агрегатами:

- одношнековыми,
- двухшнековыми,
- поршневыми,
- дисковыми агрегатами.

Существуют также много шнековые экструдеры, выдувные, пленочные, а также специальные экструзионные линии для производства труб. В зависимости от типа экструдера, главным рабочим органом является шнек (винт/червяк), диск или поршень. Экструдеры оснащаются многоцелевыми шнеками, которые способны перерабатывать разные виды пластмасс или механизмами специализированного назначения. Существуют шнеки с наборными элементами, которые адаптируются под изготовление отдельных композиций [5].

Одношнековые экструдеры являются оборудованием, которое наиболее часто работает в составе экструзионных линий. На машинах данного типа производят пленки, листы, трубы, различные профили. Установка барьерных шнеков в значительной степени повышает уровень производительности таких агрегатов за счет увеличения коэффициента передачи тепла от цилиндра к расплаву. Снизить потребление энергии при одновременном увеличении производительности экструдера позволяет зона загрузки с прямой или шнековой нарезкой, а также наличие системы охлаждения водой.

В случаях, когда необходимо перерабатывать гигроскопичные полимеры, одношнековый экструдер оснащается специальными зонами дегазации. Цилиндр агрегата может охлаждаться разными типами систем: масляной, воздушной или водяной. Одношнековый экструдер может комплектоваться дискретной системой управления, системой программируемых контролеров либо сенсорных экранов, в зависимости от конкретных потребностей производства.

Двухшнековые экструдеры представлены коническими и параллельными агрегатами. Конические экструдеры перерабатывают ПВХ, который представлен в виде порошка или гранул и предназначен для изготовления профильных изделий. Данный тип машин способен генерировать давление, которое обеспечивает высокий уровень гомогенизации расплава ПВХ в условиях короткого рабочего цикла. В экструдерах, работающих с ПВХ, шнеки вращаются встречно, в результате чего в цилиндр подается материал, уменьшается уровень внутреннего трения и не повышается температура полимера. Температура цилиндра контролируется специальной системой. Автоматические шнековые загрузчики подают сырье в экструдеры. Данные машины могут оснащаться разнообразными системами управления,

сушильными бункерами и загрузчиками сырья, в зависимости от потребностей производителя.

Параллельные экструдеры используются в случаях, когда необходимо смешивать несколько видов полимеров. Система охлаждения жидкостью, входящая в состав конструкции экструдеров данного типа, позволяет точно регулировать температуру расплава полимеров. Наборные шнеки, распределительные и смесительные элементы позволяют легко адаптировать агрегат для работы с различными видами композиций [6].

Поршневые (бесчервячные) экструдеры применяются редко из-за невысокого уровня пластификационной производительности и давления. Такие машины, в основном, работают с материалом политетрафторэтилен. Они являются дорогим и сложным оборудованием, которое требует больших производственных площадей и комплексного обслуживания.

Дисковые экструдеры, также как и поршневые, используются редко. Работа дискового экструдера заключается в перемещении полимерного сырья и нагнетании давления благодаря адгезии материала к подвижным частям конструкции машины. Экструдеры данного типа могут быть однодисковыми или многодисковыми. Многодисковый агрегат позволяет нагнетать давление расплава на выходе намного выше, чем давление расплава в обычном одношнековом экструдере. Несмотря на это, данное преимущество не сопоставимо со стоимостью многодискового агрегата из-за сложности его конструкции.

Пленочные экструдеры производят различные типы пленок: обычные полиэтиленовые пленки, термоусадочные, многослойные, армированные, полипропиленовые и т.п. Данная продукция широко востребована в современной хозяйственной деятельности. Комплектация такого оборудования зависит от типа перерабатываемого материала и предназначения пленки [5, 6].

Экструзионное оборудование для изготовления труб является высоко востребованным в современном производстве, что связано с огромной потребностью строительного сектора в полимерных трубах. Экструзионные линии выпускают водопроводные, газовые, канализационные, дренажные и прочие виды труб. В зависимости от типа сырья, линия может быть укомплектована одношнековыми или двухшнековыми механизмами. К дополнительному оборудованию линий относятся дробилки, охладители и т.п.

1.4 Показатели, влияющие на качество экструдированных продуктов

Комбинированные корма должны отвечать требованиям нормативно-технической документации, разработанной для половозрастных и видовых групп животных. Государственные стандарты предусматривают большой перечень показателей качества готовой продукции. В полнорационных кормосмесях строго определено содержание влаги, сырого протеина, клетчатки, кальция, фосфора, поваренной соли, лизина, суммы метионина с цистином, песка и крупности. Разработаны научно обоснованные требования к качеству кормосмеси, для различных видов животных. В государственных стандартах

предъявляются также высокие требования и к ветеринарно-санитарному состоянию кормосмесей: органолептическим показателям, наличию вредных примесей, целых семян, заражённости вредителями, содержанию бактериальной и патогенной флоры, пестицидов, нитритов и нитратов, госсипола, афлатоксинов.

Контроль качества готовой продукции необходимо начинать с отбора проб (сырьё для экструдирования должно соответствовать ГОСТ Р 50257 – 92, ГОСТ 9268 - 90) из проб составляют образцы в которых определяют следующие показатели: органолептические (вид, цвет, запах); технические (крупность, наличие крупных зёрен и металломагнитных примесей); химические (влажность, сырой протеин, поваренная соль, клетчатка).

Качество экструдированных продуктов характеризуется комплексом структурно-механических, органолептических, химических, биохимических, физико-химических, гистологических и других показателей (рисунок 3).

Перечень показателей качества включает:

- единичные показатели, каждый из которых характеризует одно свойство объекта;

- групповые показатели качества, применяемые для характеристики нескольких свойств;

- комплексные показатели, отражающие качество объекта в целом; интегральные показатели, определяемые как отношение суммарного полезного эффекта от использования продукции по назначению к затратам на разработку, производство, реализацию, хранение и потребление;

- базовые, принимаемые за основу при сравнительной характеристике показателей качества;

- определяющие, имеющие решающее значение при оценке качества продукции.

Эргономические показатели – это способность продукции создавать ощущения удобства, комфортности, наиболее полного удовлетворения потребности в соответствии с антропометрическими, физиологическими, психологическими и органолептическими характеристиками потребителя.

Гигиенические показатели отражают соответствие продукта гигиеническим нормам безопасности. Для экструдированных продуктов эта группа показателей включает: токсичные элементы, микотоксины, радионуклеиды, пестициды, загрязненность и зараженность вредителями хлебных запасов, микробиологические показатели.

Антропометрические показатели - способность продукции при потреблении соответствовать в наибольшей степени измеряемым характеристикам потребителя.

Единичными показателями этих свойств могут служить размер, форма, прочность экструдированных продуктов и другие.

Физиологические показатели - способность продукции обеспечивать удобство функционирования отдельных органов или частей тела человека при их потреблении [5, 7].

Психолого - физиологические показатели - способность продукции обеспечивать соответствие психолого-физиологическим возможностям и запросам потребителя. Эстетические показатели отражают товарный вид, включая целостность композиции, информационную выразительность, дизайн, стиль, совершенство производственного исполнения, индивидуальные особенности товара, выделяющие его среди аналогов.

Патентно - правовые показатели обеспечивают патентную чистоту и защищенность объекта в стране и за рубежом.

Показатели унификации и стандартизации характеризует степень насыщенности продукции стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

Экологические показатели характеризуют степень воздействия объекта на окружающую среду при производстве, хранении, реализации и потреблении.

Показатели назначения характеризуют степень соответствия изделия целевому назначению, а также определяют основные функции, для выполнения которых изделие предназначено. Показатели функционального назначения отражают сферы использования продукта и универсальность применения.

Показатели технологичности характеризует свойства продукции, обуславливающие оптимальные условия ее эксплуатации или потребления.

Экономические показатели отражают затраты на разработку, изготовление, реализацию, транспортирование, хранение и эксплуатацию изделия, а также на техническое обслуживание и ремонт.

Показатели сохраняемости и транспортабельности характеризуют соответственно способность продукции сохранять свойства в течение и/или после хранения и транспортирования и приспособленность продукции к транспортированию [4, 5].

Показатели безопасности. Под безопасностью продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации понимают "состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни и здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений".

В зависимости от уровня вредных и токсических веществ в сырье установлены нормы его ввода в кормосмеси и регламентированы предельно допустимые остаточные количества непосредственно ядовитых соединений в готовой продукции.

Анализ экструдированных кормов для крупного рогатого скота, свиней выборочно делают по количеству сырой клетчатки, по усмотрению определяют содержание биологически активных веществ (витаминов А и Е).

1.5 Особенности процесса экструзии растительного сырья и кормосмесей

Термин «экструзия» впервые был использован для описания процесса получения изделий из пластмасс и резиновых смесей в экструдере машины,

предназначенной для размягчения материалов и придания им определенной формы. Первые экструдеры созданы в XIX в. в Великобритании, Германии, США. В начале XX в. было освоено серийное производство экструдеров.

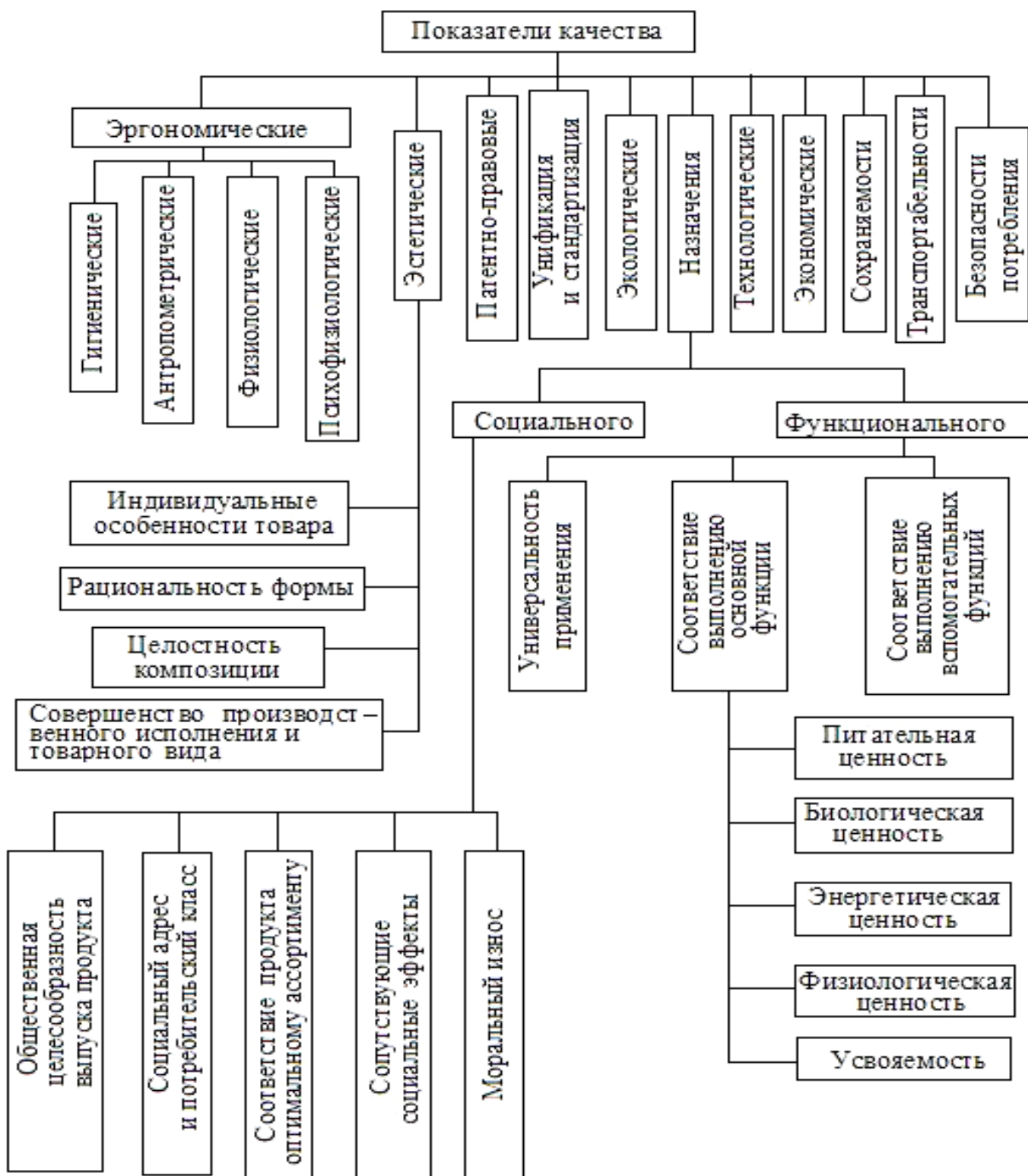


Рисунок 3 - Показатели качества экструдированных продуктов

Наименее изучен и наиболее перспективен для кормоприготовления процесс теплой экструзии, позволяющий добиться глубокой переработки полуфабриката при энергосберегающем режиме ведения технологического процесса экструдирования.

В настоящее время термопластическая экструзия на основе сырья растительного происхождения широко применяется в макаронной, кондитерской, хлебопекарной, крахмалопаточной, пищеконцентратной, мясной, рыбной, а также в комбикормовой отраслях промышленности [4].

На основе сырья растительного происхождения с помощью термопластической экструзии выпускается широкий спектр кормов и продуктов питания. Экструзионные продукты по структуре разделяются на макро - и микроструктурные. Экструдаты пористой и волокнистой макроструктуры характеризуются анизотропной микроструктурой. Если отсутствует преимущественная ориентация в экструдатах с однородной макроструктурой, то такие продукты имеют изотропную микроструктуру. Основными компонентами экструзионных продуктов являются белки и крахмалы. Экструдаты с однородной и пористой макроструктурой, как правило, содержат 80 % крахмалов и 10-15 % белков, а экструзионные продукты с волокнистой макроструктурой содержат 80 % белков и 10-15 % крахмала. Экструдированные продукты питания, содержащие преимущественно крахмал, могут иметь изотропную и анизотропную микроструктуру, а продукты, основным компонентом которых являются белки, характеризуются анизотропной микроструктурой и чаще используются в качестве кормов [7].

Существенную роль в процессе термопластической экструзии играет вода, содержание её в экструдированном сырье обычно не превышает 40 %. Такое количество воды соответствует завершению гидратации большинства биомакромолекул, даже небольшие добавки воды к сухим препаратам биополимеров приводят к снижению температуры их перехода в вязкотекучее состояние, ниже температуры их разложения, что делает возможным проведения процесса экструзии.

Методы экструзии для обработки сырья, содержащего крахмал и зернопродукты, можно разделить на три основных типа: холодное формование (холодная экструзия), теплая обработка и формование при низком давлении (тепловая экструзия), тепловая обработка и формование при высоком давлении (горячая экструзия).

При холодной экструзии происходят механические изменения в материале вследствие медленного его перемещения под давлением и формование этого продукта с образованием заданных форм. Экструдированный материал обладает повышенной пластичностью и низкой вязкостью. Массовая доля влаги в сырье составляет от 30 до 60 %. Температура продукта в процессе холодной экструзии влияет на его свойства незначительно и составляет на выходе из экструдера от 20 до 60 °С при давлении до 6 МПа. При холодной экструзии часто применяют принудительное охлаждение прессующего механизма в установившемся режиме работы, а при теплой и горячей, наоборот, принудительный подвод тепла к перерабатываемому материалу извне

применяют в основном для ускорения выхода экструдера на установившийся технологический режим [7].

При теплой и варочной экструзии исходное сырье имеет влажность 20—30 %. Температура продукта на выходе из экструдера составляет от 70 до 110 °С, давление экструдирования также возрастает и становится равно 8—14 МПа. Высокие давление и температура приводят не только к механическому, но и к химическому преобразованию продукта. Получаемый экструдат отличается небольшой плотностью, незначительным увеличением в объеме, пластичностью, а также ячеистым строением.

При горячей экструзии сухие ингредиенты сырья смешивают с определенным количеством воды и подают в экструдер, где наряду с механическим воздействием их подвергают тепловой обработке внешними обогревателями трех типов: электрическими, жидкостным или паровыми. Получаемый продукт (экструдат) отличается пониженной плотностью, ячеистым строением, ему необходимо дополнительная обработка: высушивание, обжаривание, выпечка и т.п. Массовая доля влаги в экструдированном материале составляет 10—20 %. Температура продукта на выходе из экструдера в пределах от 110 до 200 °С, давление 12—25 МПа. Экструдат на выходе из фильеры вспучивается со значительным увеличением объема за счет резкого сброса внутреннего давления, что ведет к взрывному испарению влаги из впрессовываемого экструдата и образованию пористой структуры. Горячее экструдирование сравнительно новый технологический процесс обработки пищевых и кормовых продуктов. Его применение позволяет расширить ассортимент и удешевить производство корма для скота продуктов быстрого приготовления, детского питания.

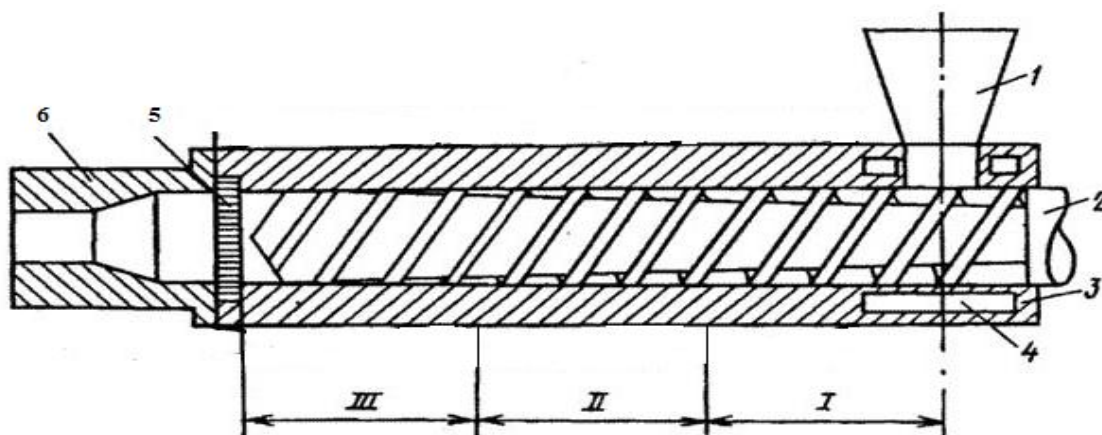
Для проведения экструзии крахмалосодержащих масс применяется в основном шнековый экструдер, его принципиальная схема приведена на рисунке 4.

Шнек (2) специальной конструкции вращается в цилиндрическом корпусе (3) на одном конце которого тангенциально или радиально располагается питатель для загрузки сырья 1, а на противоположной стороне с торца крепится фильера 6.

В экструдерах предварительно увлажненное и перемешанное сырье попадает в зону питания, где оно дополнительно перемешивается и сжимается с помощью шнека 2. В зоне питания осуществляется нагрев экструдированного сырья до температуры 60-80° С.

Вращающийся шнек 2 захватывает поступающий из питателя 1 материал, загружаемый в виде порошка, продвигает его к фильере, сжимает, пластифицирует и выпрессовывает через отверстия определенных размеров и формы[5].

В процессе обработки материал разогревается, становится упругопластичным, после экструдирования внешний вид изделия и его качество в значительной степени определяются размером и формой отверстий матрицы.



1 - питатель; 2 - шнек; 3 – цилиндрический корпус; 4 – термopодогрев;
5 - решетка с сетками; 6 - фильера

Рисунок 4 - Схема одношнекового экструдера

В зависимости от стадий обработки материала в экструдере его цилиндр по длине можно условно разделить на три зоны: приема сырья; сжатия и образования упруго - пластичной массы; выпресовывания.

Отличительной особенностью этих зон является то, что обрабатываемый материал в каждой из них характеризуется различным физико-химическим состоянием и структурно - механическими свойствами, и качество экструдата зависит от того, как проходит обработка продукта в этих зонах.

Работа шнека в первой зоне должна обеспечить непрерывную и равномерную подачу обрабатываемого материала в последующие зоны в количестве, необходимом для их заполнения. Транспортирование порошков с низкой сыпучестью и насыпной массой затруднено, особенно в одношнековых экструдерах.

Удовлетворительная работа экструдеров обеспечивается определенным соотношением коэффициентов трения между материалом и цилиндром, материалом и шнеком. Необходимо стремиться к уменьшению второго из них при максимальном значении первого.

Протекание процесса обработки пищевого сырья во второй зоне шнека во многом определяется физико-химическими свойствами содержащегося в нем крахмала.

Механизм клейстеризации крахмала - это комплекс процессов, включающих набухание, деструкцию зерен крахмала, их частичное растворение и образование трехмерной структуры в однофазной дисперсии.

Клейстеризация крахмала в экструдере обусловлена тремя факторами: наличием значительных механических воздействий на обрабатываемый материал, низким содержанием влаги в нем, высокими температурами обработки.

При таких условиях процесса активизируется термомеханическая деструкция зерен крахмала и его полисахаридных молекул, тогда как их набухание и растворимость в воде будут весьма ограниченными. Под

воздействием механических усилий, тепла и влаги крахмал и крахмалосодержащее сырье превращаются в гомогенную массу.

При экструзионной обработке продуктов, содержащих белки и крахмал, экструдированная масса приобретает выраженные пластические свойства. Повышение температуры вызывает растяжение и перестройку некоторых структурных полимерных образований, белки при этом претерпевают существенные изменения, частично денатурируют [8].

На следующем этапе обработки материала (в третьей зоне) происходит его выпрессовывание из экструдера через отверстия матрицы, в результате резкого перепада давления и температуры происходит мгновенное испарение влаги, находящейся в обрабатываемой массе. Это приводит к образованию новой высокопористой структуры и увеличению поперечных размеров экструдата. Размеры пор и толщина их стенок обусловлены разностью давлений и реологическими свойствами выпрессовываемой массы. При контроле состояния поверхности экструдата с помощью микроскопа обнаруживается ее сетчатость. Наличие складок у стенок пор позволяет сделать вывод о том, что толщина их неравномерна, а образование новой структуры сопровождается сложными процессами релаксации напряжений и тепломассообмена.

Для выпрессовывания клейстеризованной массы с определенной скоростью шнеком экструдера и для изменения структуры зерен крахмала и полисахаридов в результате действия напряжений сдвига перед матрицей создается необходимое давление продукта. Оно действует в двух противоположных направлениях: в сторону матрицы и реактивно - в сторону приемной зоны. Обратное движение потока в сторону приемной зоны происходит как по межвитковому пространству шнека (возвратный поток) так и через кольцевой зазор между наружным диаметром шнека и внутренним диаметром цилиндра (утечка).

Изучение влияния этих факторов на качество экструдата представляет собой сложную, но весьма важную практическую задачу, поскольку ее решение указывает пути управления протекающим процессом.

Важным технологическим параметром экструзии является продолжительность обработки материала в машине. Авторами работы изучено влияние шести факторов (режима загрузки сырья, частоты вращения шнека, влажности обрабатываемой массы, характеристики сырья, конструкции шнековых элементов и размера отверстий матрицы) на изменение крахмала при обработке для трех типоразмеров экструдеров - ВС-45, ВС-72, ВС-105. Среднюю продолжительность пребывания в экструдере определяли радиоактивным индикатором. В результате предложен ускоренный метод определения оптимального режима экструзии, позволяющий выявлять возможные малейшие ошибки в ходе эксперимента [8, 9].

Требования к экструдированным кормам постоянно растут. Активная работа в этом направлении проводится в Германии, в исследовательском институте кормоприготовительной техники. В качестве альтернативной технологии здесь предлагается так называемая экспансионная обработка

зерновых с помощью специального оборудования - экспандеров.

Принцип действия экспандера аналогичен экструдеру, но выход продукта производится не сквозь отверстия матриц, а в кольцевой зазор, регулируемый с помощью гидравлической системы.

Экспандер рекомендуется использовать в линии гранулирования для тепловой обработки корма перед прессованием, а также как самостоятельную машину при получении крупки. Его применение приводит к увеличению ввода в гранулированные комбикорма жира и мелассы до 20 %; повышению производительности прессы, уменьшению толщины матрицы и снижению износа прессующих роликов и матриц.

1.6 Анализ конструкций матриц и фильер экструдеров, классификация матриц

Многообразие перерабатываемых кормов, отражается на конструкции, исполнении и режимах работы экструдеров и связанного с ним вспомогательного оборудования. В каждом нормально работающем шнековом экструдере происходят следующие процессы: продвижение перерабатываемого материала к выдавливающему концу шнека, перемешивание, нагрев его до необходимой температуры за счёт трения исходного материала о рабочие органы, или с помощью наружных нагревательных элементов, пластификация или расплавление, гомогенизация и, наконец, выдавливание через формирующий инструмент благодаря образуемому шнеком давлению.

Наиболее интенсивно структурообразование расплавов биополимеров протекает под действием сил сдвига и сжатия в головке экструдера и фильере, что обусловлено изменением реологических условий течения в этих зонах. В зависимости от конструкции фильер можно получать экструдаты всех трех типов структур: пористой, волокнистой и однородной макроструктуры. Волокнистые и однородные макроструктуры получают, используя специально охлаждаемые фильеры с отношением длины к диаметру значительно больше единицы, в которых происходит постепенное понижение давления и охлаждение расплава биополимеров до температуры ниже 110...115⁰С (скорость сдвига не превышает 50 с⁻¹, плотность 1200...1400кг/м³). При получении экструдатов пористой макроструктуры используют короткие неохлаждаемые фильеры. Скорость сдвига при этом максимальна и лежит в пределах от 50 до 3000 с⁻¹. При экструдировании черновых материалов неизменно возникают колебания давления в предматричной зоне экструдера, в связи с чем, у матриц, устанавливаемых на такие экструдеры должно быть ещё одно важное назначение - стабилизация давления в указанной зоне. При несоблюдении указанного условия неизбежными будут колебания в качестве полученного корма. Через матрицы осуществляется формование и выход продукции под высоким давлением в форме, определяемой конфигурацией фильер, которая весьма разнообразна. Фильеры матриц состоят, как правило, из цилиндрических формирующих каналов и входных полостей переменного

сечения, служащие для облегчения входа в формующий канал прессуемого материала [10].

Для выявления наиболее перспективного конструктивного решения по конфигурации матрицы для экструдирования зерновых материалов проведён анализ существующих типов матриц (рисунок 5), а также составлена их классификация (рисунок 7).

Наконечник формующей головки экструдера (рисунок 5, а) выполнен в виде цилиндра с диаметром, равным внутреннему диаметру шнека, а на втулке снята фаска, что снижает сопротивление при нагнетании продукта шнеком в зазор в матрице. В зазоре топкий слой материала находится при сложном сдвиге, расплавляется, становится похожим на ньютоновскую жидкость, происходит полная гомогенизация компонентов обрабатываемого сырья. Экструдат выводится через отверстие в шайбе небольшой толщины, что снижает потери на преодоление сопротивлений в формующей области.

Экструдер со сменными формующими насадками (рисунок 5, б) позволяет получать продукт различных форм. Кроме того, для лучшей гомогенизации продукта перед сменными насадками установлена специальная решётка.

Матрица по источнику (рисунок 5, в) позволяет получить форму продукта в виде ядра, окружённого оболочкой.

Матрица (рисунок 5, г) разработана с целью выравнивания расхода между фильерами, которые выполнены в виде ввинчивающихся втулок.

Для предотвращения залегания продукта предложена конструкция экструдера (рисунок 5, д), в предматричной зоне которого расположены лопасти, затирающие продукт в отверстия матрицы [10].

Экструзионная головка (рисунок 5, е) предназначена для соэкструдирования нескольких компонентов в зависимости от рецептурного состава, причем трубки, по которым подаются дополнительные компоненты, выполняют функцию турбулизаторов, для лучшего перемешивания компонентов.

На рисунке 5, ж матрица пригодна для экструзии пластифицированных масс высокой вязкости при высоких давлениях, температуре и частоте вращения, так как в барабане предусмотрен контур циркуляции холодильного агента. Её можно использовать для изготовления скрученных или изделий с наполнителем.

Матрица (рисунок 5, з) состоит из нескольких пластин с отверстиями, между которыми расположены лопаточные насосы, установленные с целью повышения гомогенизации продукта.

На рисунке 5, и представлены матрицы с короткой и длинной фильерой.

Экструзионная головка (рисунок 5, к) выполнена с возможностью свободного перемещения относительно цилиндрического прессующего корпуса и соединена с устройством для измерения крутящего момента. За счёт адгезионно - когезионных взаимодействий крутящий момент от прессующего шнека посредством перерабатываемого материала передаётся к формующей головке.

По степени закручивания формующей головки, измеряемой устройством, можно с достаточной точностью судить о вязкости перерабатываемого материала на выходе из экструдера и как следствие о качестве перерабатываемой продукции.

Матрица (рисунок 5,л) разработанная на кафедре МАХПП Оренбургского университета, имеет две щелевые фильеры с подвижными стенками, которые позволяют плавно регулировать высоту щели в процессе экструдирования при помощи установочных винтов.

Динамическое формующее устройство (рисунок 5, м) состоит из мундштука, жёстко закреплённого к рейке, которая, в свою очередь, контактирует с зубчатым колесом. Таким образом, мундштук имеет возможность совершать возвратно-поступательное движение вдоль оси экструдера, что обеспечивает регулирование зазора между мундштуком и дорном, и благодаря чему регулируется качество и форма получаемого продукта.

Экструзионная головка (рисунок 5, н) позволяет оптимизировать процесс экструдирования различного исходного сырья за счёт «автоматического» регулирования проходного сечения формующего канала матрицы, а так же за счёт достигнутой универсальности экструзионной головки.

Экструзионная головка (рисунок 5, о) снабжена упругим конусообразным элементом, расположенным по внутренней поверхности корпуса во входной его зоне, и рядом втулок, смонтированных соосно продольной оси головки, подпружиненных каждая с одного торца и контактирующих другим торцом с упругим элементом.

Матрица (рисунок 5,п) позволяет «автоматически» регулировать и поддерживать требуемое давление в заданных пределах, за счёт выполненного на внутренней поверхности матрицы канала переменного сечения, кроме того матрица имеет возможность вращаться, что позволяет иметь заданную, однородную по сечению температуру расплава продукта.

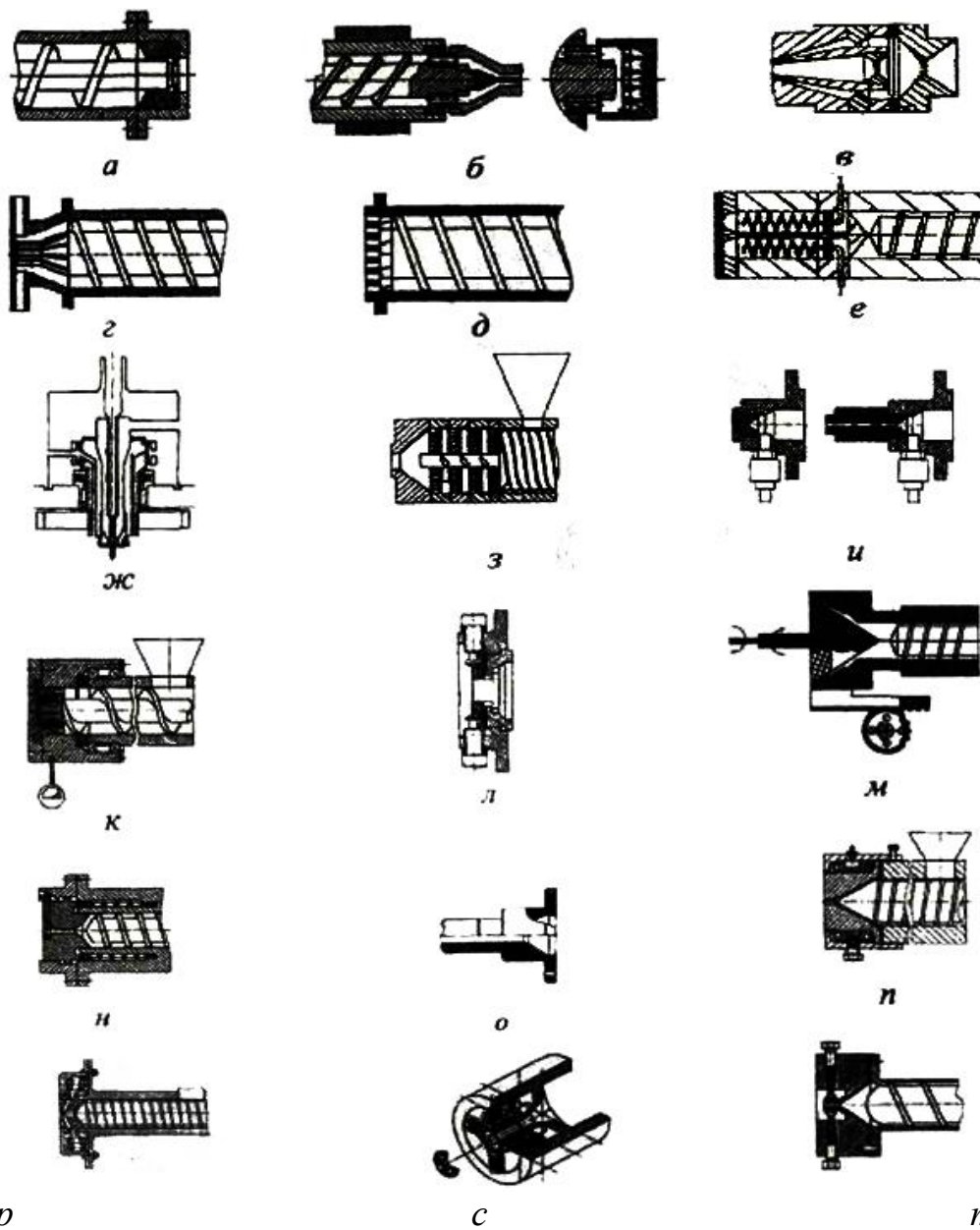
Экструзионная головка (рисунок 5,р) предусматривает «автоматическое» изменение живого сечения формующего канала за счёт неизбежных пульсаций давления в предматричной зоне экструдера.

Формующая головка экструдера (рисунок 5,с) также позволяет сглаживать колебания давления в предматричной зоне экструдера за счёт применения фильеры из упругого материала, притом, что цилиндрическая её часть подпружинена радиальными упругими элементами.

Конструкция матрицы (рисунок 5,т) позволяет автоматически устанавливать проходное сечение фильеры, в зависимости от развиваемого экструдером давления, за счёт установленных упругих элементов, выполненных в виде пружин.

Фильеры могут быть выполнены в виде втулок с резьбой, что обеспечивает возможность их замены (рисунок 6, б).

Работа экструдера осуществляется следующим образом. Продукт, поступивший в экструдер, транспортируется шнеком 2 к наконечнику 5, имеющему канавки 6.



а- с одним отверстием; *б*-со сменными насадками; *в*- с внутренним элементом; *г*- с боковым расположением фильер; *д*- с множеством фильер; *е*-с возможностью ввода дополнительных компонентов; *ж*- с вращающимся дорном; *з* -с ножами; *и*- короткой и фильерой; *к*-с возможностью контроля давления; *л, м, н, о, п, р, с, т* - компенсационные матрицы

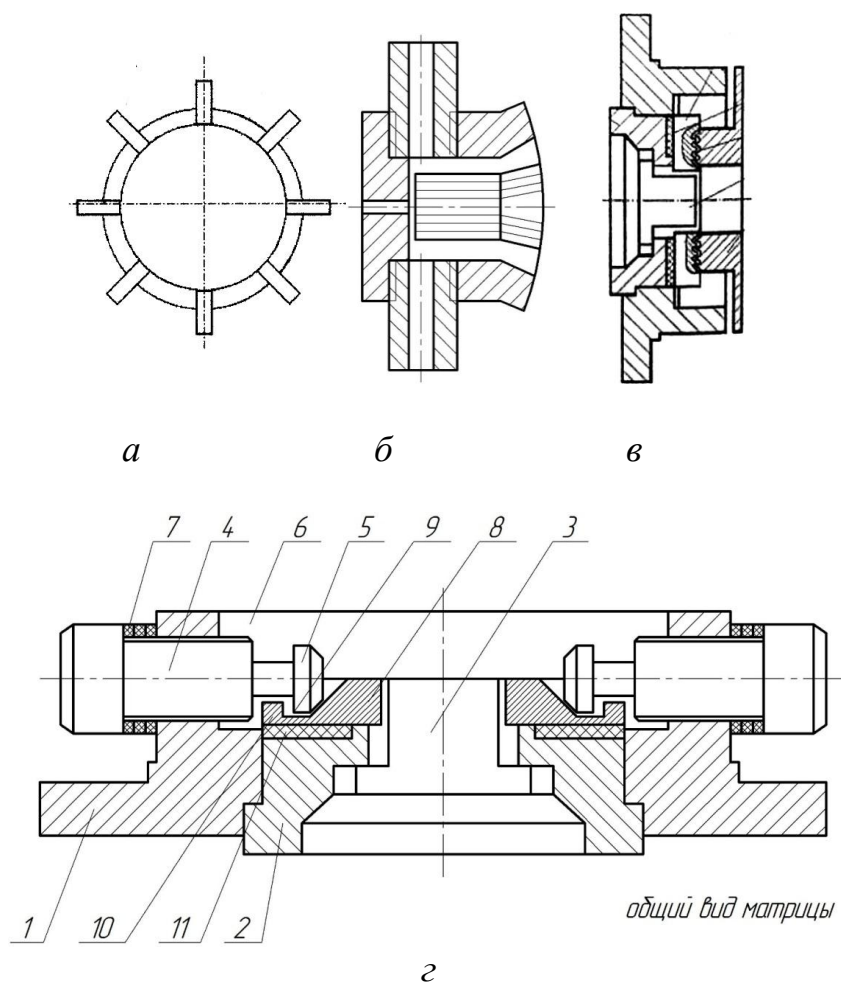
Рисунок 5 – Матрицы экструдеров

В них продукт через канал между наконечником и корпусом попадает в предматричную зону, где происходит разогрев и увеличение скорости сдвига продукта за счет уменьшения высоты канала в области наконечника, а затем в фильеры 4. Продукт, попавший в зазор между торцами наконечника шнека 5 и матрицы 3, пережигается за счет трения и выводится через отверстие 7, чтобы исключить его попадание в фильеры матрицы 3. В случае, когда фильеры 4 выполнены в виде втулок, ввинчивающихся в корпус матрицы 3,

появляется возможность изменять геометрические параметры фильер 4 путем их замены.

На рисунке б в матрица с общим приводом для синхронного перемещения всех подвижных стенок матрицы, предложен в конструкции, защищенной патентом РФ № 2154944.

На рисунке 6 г представлен общий вид матрицы. Устройство содержит корпус матрицы 1, внутри которого помещена вставка 2. В матрице зафиксирован вкладыш 5, образующий дно канала. Подвижная стенка канала 4, выполненная в форме ласточкиного хвоста, снабжена элементом трапецеидальной многозаходной резьбы 5.



а - матрица экструдера, б - со сменными фильерами, в- с общим приводом перемещения подвижных стенок, г – общий вид матрицы

Рисунок 6 - Матрицы экструдеров

В пазе по вставке размещен сухарь б. В подвижные стенки 4 вворачивается упорная гайка 7 со шкалой делений. Осевая подвижность гайки для предотвращения ее выпадения ограничена упорами на корпусе 1, которые не показаны.

В корпусе матрицы 1 помещена вставка 2. Во вставке зафиксирован вкладыш 3, образующий дно прессующего канала. В резьбовом отверстии

корпуса установлен регулировочный винт 4 с наконечником 5, имеющим коническую форму и кольцевую канавку 6 вблизи конца. Между наконечником регулировочного винта и корпусом установлены быстросъемные регулировочные шайбы 7. Наконечник регулировочного винта входит в паз 9 на подвижной стенке канала 8, имеющей хвостовик 10. Паз имеет форму ласточкиного хвоста. На вставке установлен сухарь 11. Подвижная стенка 8 имеет упор на перпендикулярные ей плоские стенки 12. Продукт под давлением подается в матрицу и экструдирован через зазор, отрегулированный по технологическим требованиям. В случае заклинивания по каким-либо причинам прессуемого материала в щели канала посредством регулировочного винта осуществляется отвод подвижной стенки, скользящей по вставке по поверхности сухаря.

При поворачивании регулировочного винта происходит силовое размыкание деталей (подвижная стенка, сухарь), что обеспечивает движение подвижной стенки и восстановление нормального течения продукта. После этого осуществляется возвращение подвижной стенки посредством заворачивания регулировочного винта до упора в регулировочные шайбы с выходом на необходимый технологический зазор. При пуске оборудования зазор устанавливается максимальным с постепенным уменьшением до технологического. Система сил, образуемая действием на подвижную стенку экструдированного материала и конической поверхности регулировочного винта, образует главный вектор и главный момент, обеспечивающий силовое замыкание на поверхности ласточкиного хвоста и на поверхности сухаря, которое препятствует истечению экструдированного материала во все зазоры кроме рабочих.

Проведенный обзор схем матриц показывает многоплановость подхода к решению проблем изготовления экструдированных изделий, но со значительными материальными затратами. Поэтому поиск новых вариантов систем формирования экструдированных продуктов, отличающихся простотой в изготовлении и надёжностью в эксплуатации является перспективным.

По виду получаемого корма матрицы можно классифицировать как матрицы для получения жгута, трубки, гранул или хлопьев (рисунок 7).

В сельскохозяйственном производстве наиболее распространены матрицы для получения экструдированного корма в виде жгута.

Кроме того, некоторые матрицы позволяют производить корма с различными наполнителями (соэкструдирование), поэтому различают однокомпонентные и многокомпонентные.

Для регулирования качества продукта чаще всего изменяют расход фильеры матрицы, но не все конструкции позволяют производить регулировку в оперативном режиме, различают: регулируемые, нерегулируемые и матрицы со сменными фильерами [10].

По возможности выравнивания скачков давления в предматричной зоне, различают стабилизирующие и нестабилизирующие матрицы.

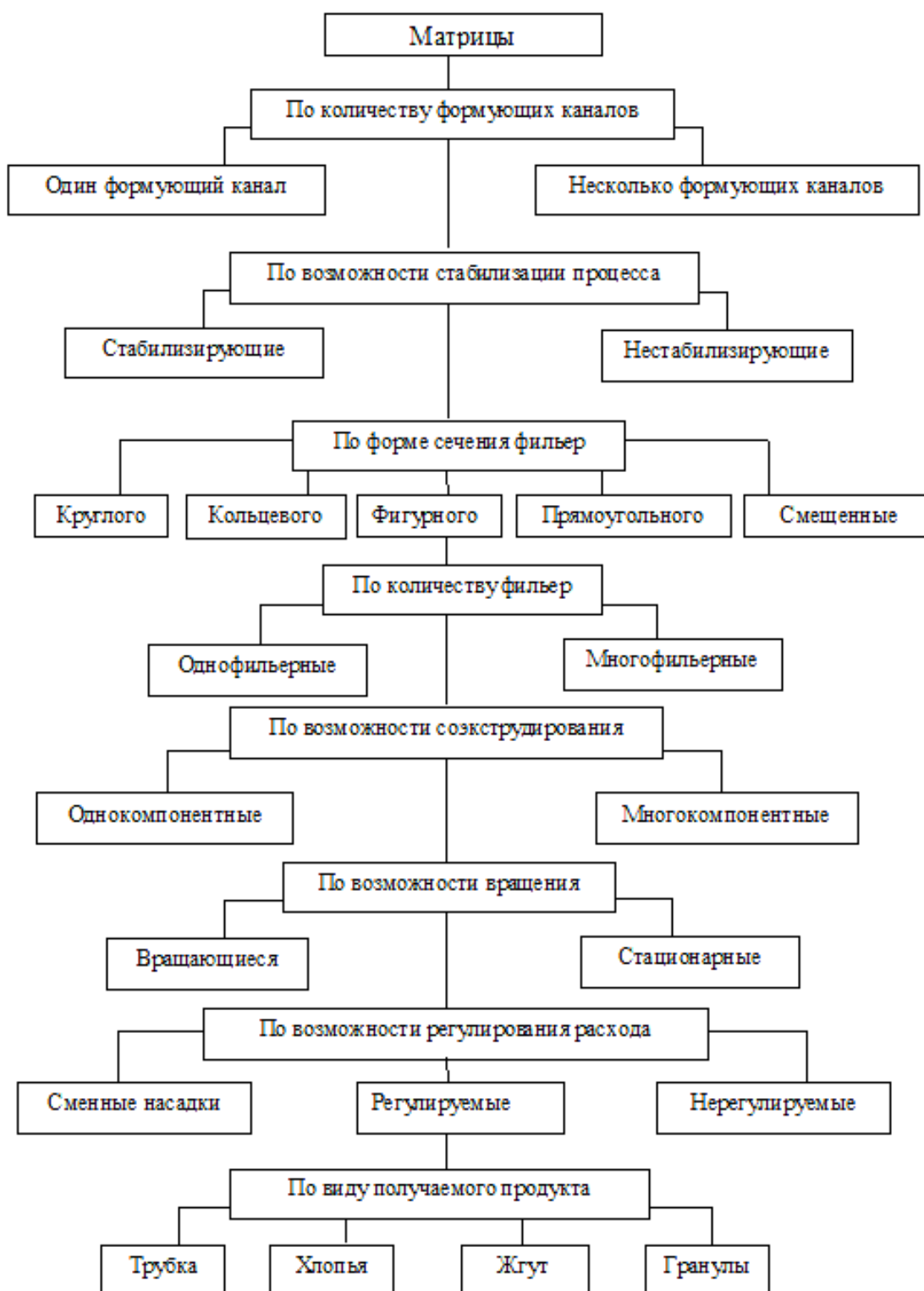


Рисунок 7 - Классификация матриц экструдеров

При производстве бесшовных труб и подобных изделий, где необходимо получить гладкую поверхность, а также для скручивания нескольких экструдированных нитей используют вращающиеся матрицы. Матрицы экструдеров могут иметь как одно формующее отверстие (фильеру) так и

несколько, при этом форма фильер может быть совершенно различной в зависимости от требований, предъявляемых к продукту.

1.7 Особенности конструкций фильер

При разработке конструкций экструдеров особое внимание уделяется конструкциям рабочих органов (шнеку, фильерам, внутренней части корпуса, «греющим» шайбам). Именно от этих элементов зависит температурный режим процесса экструдирования, давления во всех зонах, качество обработки кормов.

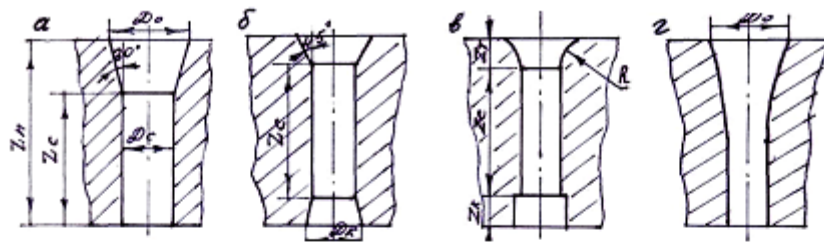
Рядом авторов подробно описаны многочисленные конструкции шнеков, корпусов. Одношнековые экструдеры применяются как для изготовления пищевых продуктов, так и для обработки различных видов кормов. Эти экструдеры различают по величине напряжений сдвига: низкие, средние, высокие; по конструктивным особенностям шнека: с уменьшающимся шагом нарезки, с обратной внутренней винтовой нарезкой корпуса, с коническим валом, с коническим корпусом, с убывающим по длине шагом нарезки и коническим корпусом [4].

Двухшнековые экструдеры со шнеками, не находящимися во взаимном зацеплении, имеют перед одношнековыми машинами преимущество лишь в лучшем перемешивании продукта, но весьма сложны по конструкции и требуют больших эксплуатационных затрат. По конструктивным особенностям шнеков различаются: самоочищающиеся, вращающиеся в одном направлении, вращающиеся в противоположных направлениях; самоочищающиеся, с нарезкой в одном направлении, с коническим шнеком и корпусом; частично самоочищающиеся, вращающиеся в противоположных направлениях, вращающиеся в одном направлении. Но в большинстве случаев мало уделено внимания конструкциям фильер, в частности параметрам выходных каналов. При конструировании экструдеров большинство авторов применяет каналы выходных фильер либо цилиндрические, либо прямоугольные. Хотя в экструдерах, применяемых в пищевой промышленности есть и другие формы выходных каналов.

Из анализа литературных источников нами предпринята попытка обобщить используемые при переработке кормовых материалов конструкции фильер, а именно их выходных каналов.

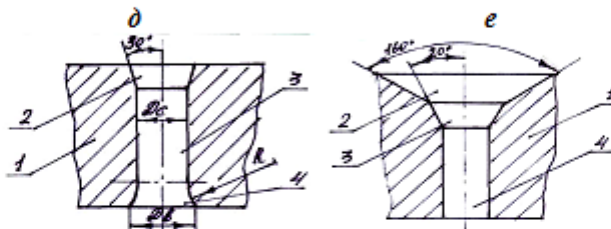
На рисунке 8 показаны выходные каналы с круглым сечением, при этом на рисунке 8 а, входное отверстие со стороны шнека экструдера имеет развертку с углом в 30 градусов, длина фильеры Z_n по отношению к диаметру D_c составляет примерно 3/1, такое соотношения учтено в работах авторов из Казахстана [10, 11].

По рисунку 8 б, видно, что входной канал имеет угол скоса 45 градусов, а выходной канал либо небольшой скос до 10 градусов (рисунок 8, б), либо увеличенный цилиндрический выход (рисунок 8 в, при этом вход имеет скругление радиусом R). Данную конструкцию выходных каналов применили в ряде работ авторы из различных регионов СНГ. По рисунку 8 г выполнены фильеры с каналами в работах авторов.



Конструктивные схемы каналов фильер:

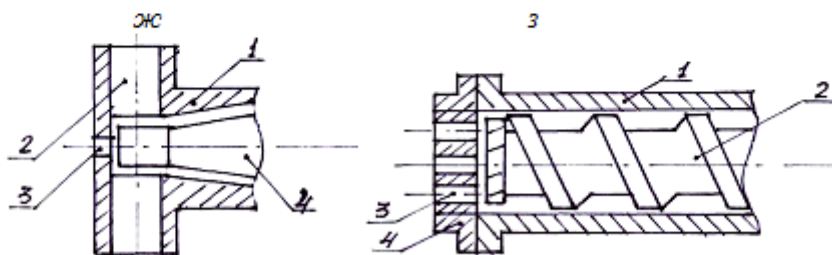
1 - входная полость, 2 - формующая полость, 3 - выходная полость



Фильера по авторскому свидетельству №818908

Фильера по авторскому свидетельству (М.А. Овдиенко, Н.Тарутини др.) № 1253815 (В.И.А. хмагов, И.А.Бондаренко и др.)

1-корпус фильеры, 2-входная полость, 3- формующая полость, 4- выходная полость.



1-матрица, 2-фильера, 3-разгрузочное отверстие, 4-шнек
Матрица экструдера с боковым расположением фильер по патенту РФ № 2186511

1-корпус экструдера, 2-шнек, 3-выходное отверстие, 4- корпус фильеры
Матрица экструдера по патенту РФ № 2182807 (В.Г. Коротков и др.)

Рисунок 8 – Виды фильер

При конструировании фильер почти все авторы отмечают необходимость соблюдения соотношения длины фильеры к диаметру $3/1$, а входной канал необходимо изготавливать с углом не менее 45 градусов, что позволяет перерабатываемому материалу быстрее поступать к формующей части фильеры.

На рисунке 8 з показана фильера, изготовленная по патенту РФ № 2182807 с несколькими цилиндрическими выходными каналами, позволяющими ускорить процесс экструдирования, такой тип фильер можно применять в экструдерах с низким температурным режимом.

Авторами патентов № 2184655, № 2147995, № 2092056, № 2154944, №

2089065 разработаны фильеры со сменными головками, подвижными стенками матрицы и другими конструктивными особенностями, повышающими качество продукции. Эти авторы основывались на разработках конструкций матриц с цилиндрическими фильерами.

1.8 Особенности конструкций шнека экструдера

Принцип действия шнеков основывается на использовании вращающегося шнека, спиральная часть которого, способна перемещать материал, расположенный в полостях между корпусом и шнековым пером шнека. Такая технологическая схема обладает компактностью и имеет высокий коэффициент полезного действия, что делает шнеки экономичным оборудованием. Простая конструкция позволяет изготавливать специализированные модели шнеков, для любых производственных условий и материалов [6].

Существуют две кинематические схемы работы шнекового конвейера: тянущая – когда привод расположен со стороны разгрузки, и толкающая – когда вращение передаётся шнеку со стороны загрузочной горловины. Каждая схема имеет свои случаи применения, и в значительной степени определяется физическими свойствами материала, видом используемого шнека и возможностью технического обслуживания привода.

Корпус шнека обычно состоит из отдельных секций, соединённых между собой болтами. У большинства шнеков он имеет форму цилиндра, на торцах которого расположены фланцы для соединения секций между собой или установки торцевых стенок с уплотнительными и подшипниковыми узлами. Корпус изготавливают из углеродистых и нержавеющей сталей. На наружной поверхности корпуса шнека устанавливают проушины или болты для крепления изделия.

Загрузка и выгрузка материала осуществляется через соответствующие патрубки, количество которых определяется особенностями эксплуатации. Под загрузочным патрубком расположен инспекционный люк, для очистки шнека при засоре. К торцу патрубка приварен фланец, необходимый для жёсткого соединения шнека с затворами и другими элементами транспортной цепи. Для подачи волокнистых и малоподвижных материалов загрузочную горловину изготавливают в виде бункера, в которую устанавливают ворошитель или датчик наличия продукта [7].

Основным элементом любого шнекового конвейера является подающий шнек. Форма и исполнение подающего шнека в значительной степени зависит от физических свойств подаваемого материала.

Сплошной шнек состоит из трубы, с приваренным по спирали пером, кромка которого образует небольшой зазор с внутренней стенкой корпуса шнека. Шнек подвергают обязательной балансировке, чтобы избежать нежелательных вибраций и шумов при работе (рисунок 9).

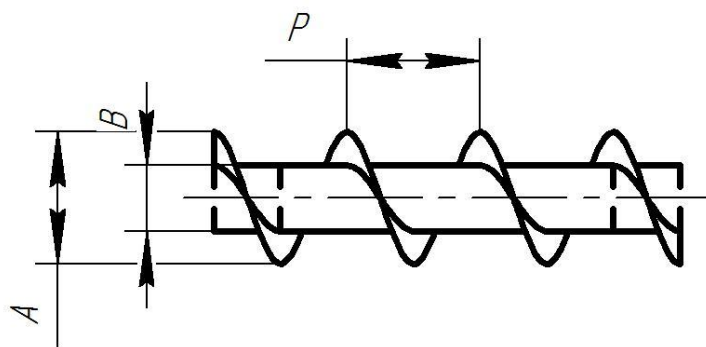


Рисунок 9 - Сплошной шнек

Шаг шнековой линии спирального шнека непостоянен по его длине: в зоне загрузки шаг выполняют более мелким, чем в основной транспортной зоне. Сплошной шнек используется для транспортировки материалов обладающих высокой подвижностью.

Ленточный шнек состоит из трубы, на которой, через промежуточные рёбра, смонтирована широкая лента. Подающий шнек такого исполнения используется (рисунок 10):

- 1) для подачи вязких, густых порошков или связующих материалов, которые могут прилипнуть к шнеку на соединении с валом;
- 2) для подачи кусковых материалов, таких как известняк и гравий;
- 3) для быстрых дозирующих конвейеров, когда требуется хорошее извлечение.

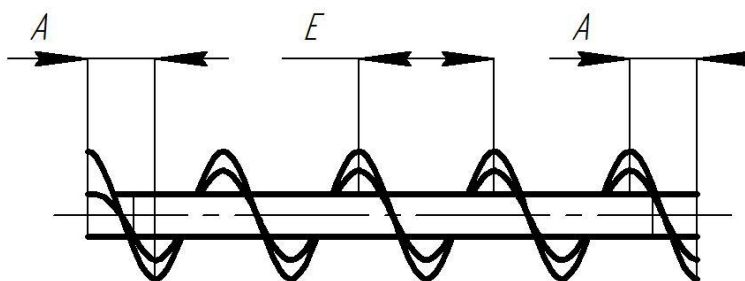


Рисунок 10 - Ленточный шнек

Устанавливая на валу ленточного шнека другую ленту меньшего диаметра, имеющую шаг с отрицательной тягой, можно получить смешивающий шнек [7].

Ленточные шнеки без центральной оси используются для транспортировки сложных разнородных, вязких или штучных продуктов (рисунок 11).



Рисунок 11 - Ленточный без осевой шнек

Они могут иметь крепления с обоих концов или только с одной стороны, при этом торец пера ленточного шнека будет скользить по днищу корпуса шнекового конвейера.

Лопастные шнеки используются на шнеках, которые помимо транспортирования должны осуществлять предварительное перемешивание продукта. Часто шнеки такой формы используются для создания многовальных транспортных систем (рисунок 12).

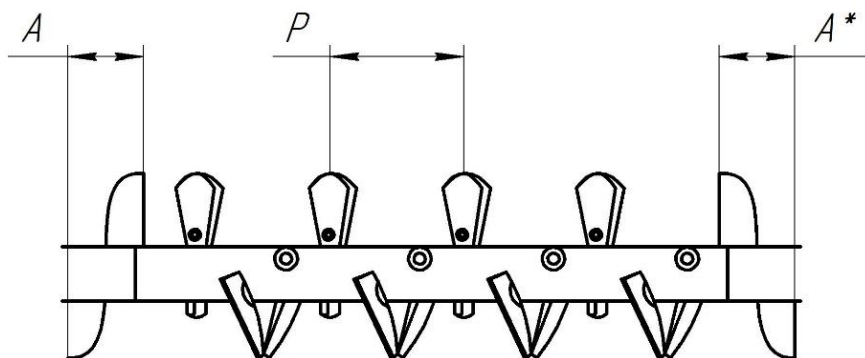


Рисунок 12 - Лопастной шнек

Шнековые конвейеры часто используются для объёмного дозирования сыпучих материалов. Основной проблемой такой эксплуатации, является сложность в достижении точного дозирования, вызванная волнообразностью подачи материала. Для повышения равномерности подачи продукта, на разгрузочном конце шнека устанавливают специальное приспособление – дозирующий винт, который имеет многозаходную спираль с малым шагом.

При работе с жидкими или высокоподвижными продуктами, а также при использовании шнеков, имеющих наклон в сторону выгрузки, часто наблюдается эффект сифонирования, то есть истечение продукта при остановленном шнеке. Для снижения этого эффекта используют специальное приспособление, которое крепится на валу шнекового конвейера в конце шнекового пера перед выходным патрубком (рисунок 14).

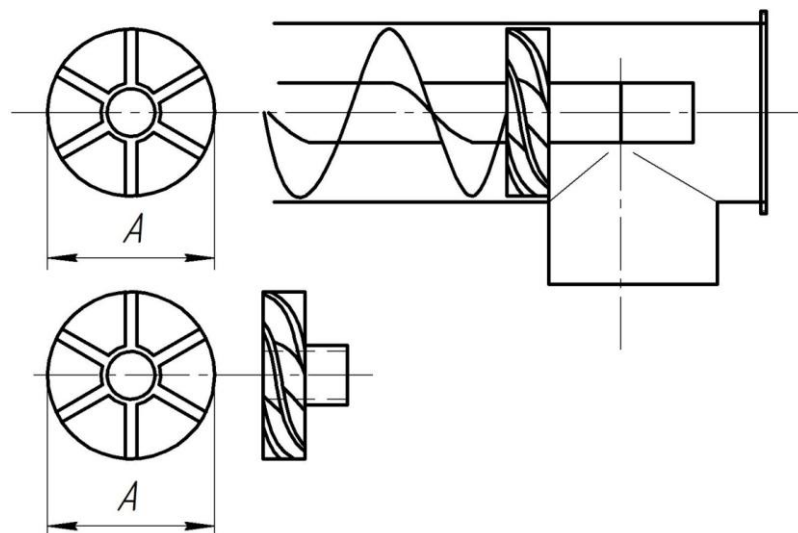


Рисунок 13 - Дозирующий винт шнека.

Для материалов имеющих плохую подвижность и высокую слёживаемость могут использоваться подающие шнеки со специальной формой пера (рисунок 13).

Для транспортировки материалов, обладающих высокой абразивностью, кромку шнекового пера упрочняют посредством нанесения специального износостойкого покрытия [7].

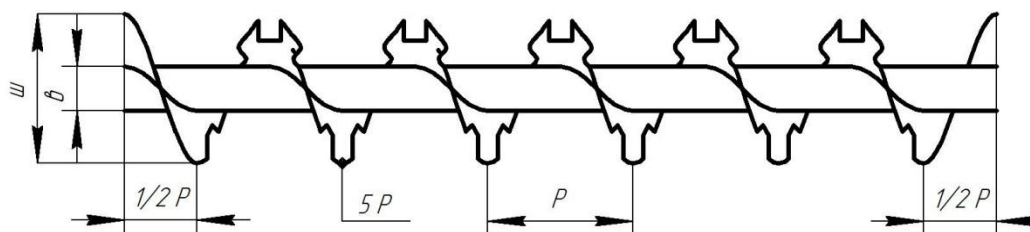


Рисунок 14- Специальный шнек

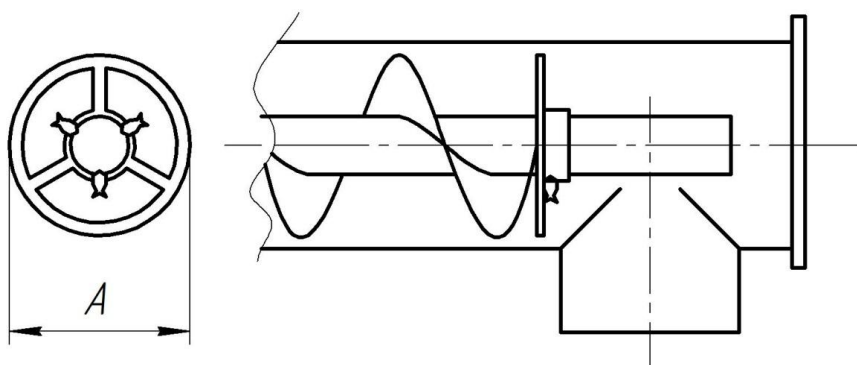


Рисунок 15 - Шнек для подачи жидких материалов

Для обеспечения герметичности шнека и предотвращения попадания частиц подаваемого продукта в подшипниковые узлы, вал подающего шнека имеет надёжные уплотнения. С целью снижения вероятности выхода из строя подшипников, при катастрофическом износе уплотнений, подшипниковый и уплотнительный узлы реализованы в различных корпусах. Уплотнения вала имеют возможность ручной регулировки, они изготавливаются с пневматической системой продувки (рисунок 15).

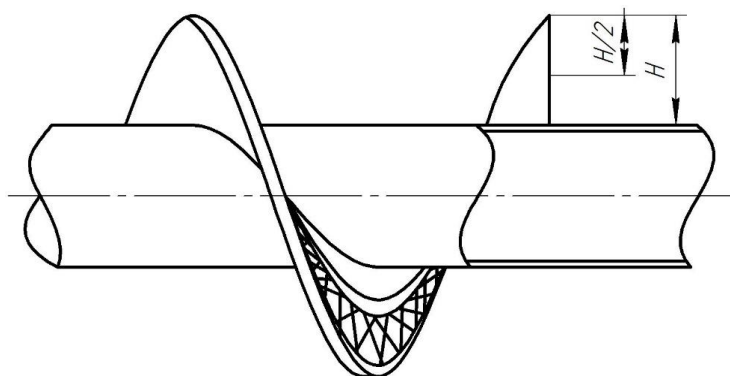


Рисунок 16 - Упрочнение пера шнека

Автором патента на изобретение №2465764 Горюновым С.В. разработана конструкция шнека экструдера, выполненного в виде конуса обращенного основанием вверх, шнековые рабочие органы имеют заостренные отогнутые витки для предварительного измельчения материала, а приводной вал ленточного шнекового рабочего органа выполнен полым и вращается на валу рабочего органа со сплошным шнеком (рисунок 17 а). На рисунке 17 б, представлена конструкция шнека выполненная в виде размещенного в кожухе вала с прикрепленными к нему шнековыми лопастями (1,2) с образованием двухзаходного шнека. Одна из лопастей перфорирована отверстиями (3). Сумма площадей отверстий составляет 5-50% от общей площади перфорированной лопасти [8].

На рисунке 17 в, изображен шнек который обеспечивает одновременное перемещение и дробление материала, он имеет вал 2 с осью Н и по меньшей мере одной лопастью 1, включающей закрепленный участок на вращающемся валу 2 с присоединенным к нему свободным конечным участком. Закрепленный участок расположен в плоскости, которая наклонена по отношению к плоскости под прямым углом к оси Н указанного вала 2. Закрепленный участок имеет первую режущую кромку, а конечный участок имеет вторую режущую кромку. Свободный конечный участок по меньшей мере одной лопасти 1 имеет наклон от -5° до 5° по отношению к плоскости, расположенной под прямым углом к оси Н. Техническим результатом изобретения является повышение срока службы шнека и увеличение скорости его вращения [9].

На рисунке 17 з, показана конструкция подающего шнека 1, который выполнен из упругой полосы в форме прямого геликоида, охватывает с зазором хвостовик, выполненный на заднем конце прессующего шнека 3, и закреплен на хвостовике задним витком 2, при этом диаметр хвостовика равен внутреннему диаметру заднего витка прессующего шнека, шаг подающего шнека больше шага прессующего шнека, а между задним витком прессующего шнека и передним витком подающего шнека образована камера, основаниями которой являются упомянутые витки шнеков, установленные с интервалом друг относительно друга, равным 3-5 шагам прессующего шнека, а боковые поверхности камеры образуются поверхностями корпуса и хвостовика [9].

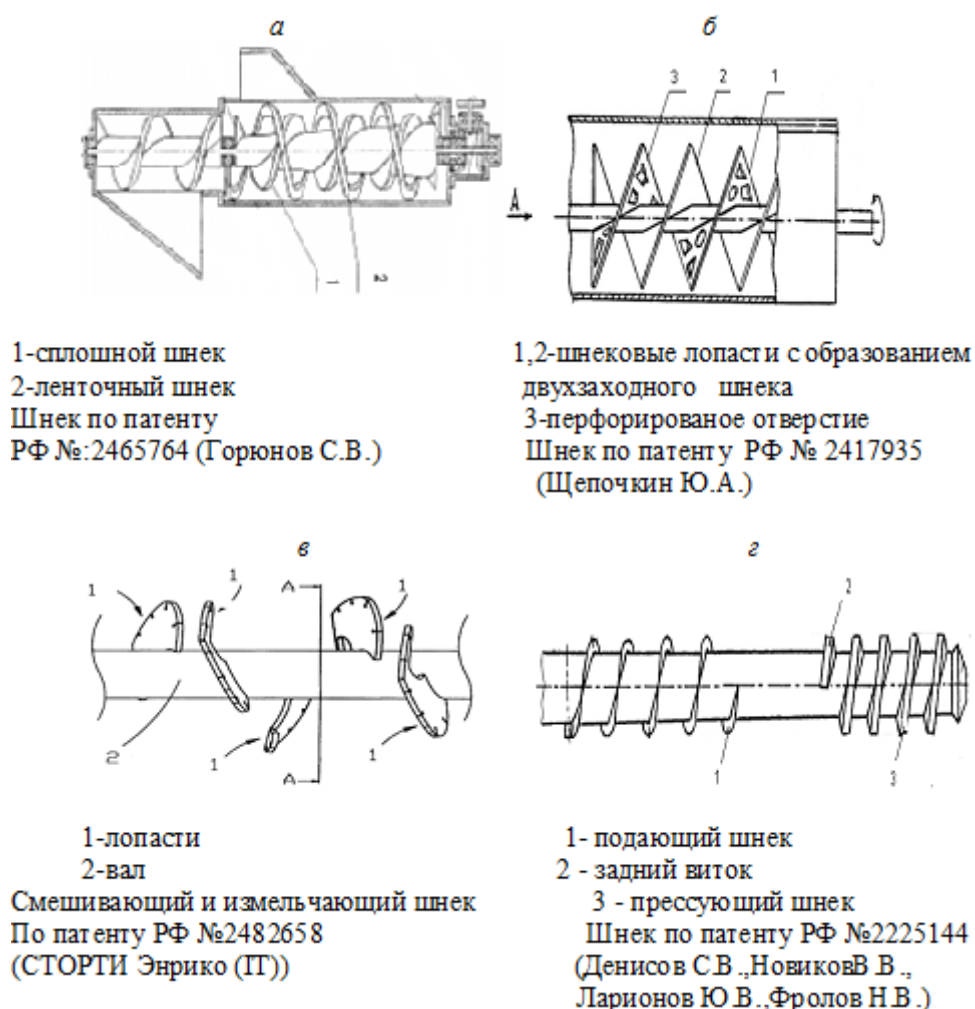


Рисунок 17 – Виды шнеков

Авторами патентов № 2465764, № 2417935, № 2482658, № 2225144, разработаны шнеки экструдера с конструктивными особенностями, повышающими качество продукции.

Существует большое множество одношнековых конструкций экструдеров, им присущи общие закономерности: винтовое движение материала от входа к выходу; деформации сдвига частиц материала вдоль и

поперек винтового канала; минимальный технологический зазор между корпусом и шнеком; минимальные застойные зоны; возможный обогрев или охлаждение через рубашку корпуса

На рисунках 18, *а - л* показаны основные конструкции специальных шнеков, обеспечивающих повышение производительности экструзионных одношнековых машин [1, с. 20].

Рисунок 18 *а*, витки шнека подрезают, организуя дополнительные зазоры для перетока материала.

Рисунок 18 *б*, представлен шнек, на сердечнике которого выполнена спираль, примыкающая к витку шнека, в виде выступа с шириной, возрастающей в направлении перемещения материала.

Рисунок 18 *в*, наличие винтовых канавок на внутренней поверхности корпуса в смесительной зоне обеспечивает циркуляцию и высокий сдвиговый эффект.

Для повышения гомогенизирующего воздействия шнек может быть оснащен пазами в форме многогранника (рисунок 18 *з*) или ось шнека располагают эксцентрично оси отверстия корпуса (рисунок 18 *д*).

На рисунке 18 *е* показан шнек со ступенчато установленными кулачками, что повышает пластификацию материала, проходящего по зазорам.

Экструдерный винт Макклифа представляет собой двухзаходный шнек, в котором от основного транспортирующего гребня ответвляется гомогенизирующий гребень с несколько большим шагом, чем шаг основного гребня (рисунок 18 *ж*). Это позволяет деформировать материал в более узком зазоре между гребнем и корпусом.

На рисунке 18 *з*, изображен трансферный смеситель системы Френкеля. Большая эффективность смешения в экструдере достигается за счет того, что глубина нарезок винтов шнека и корпуса переменная, в процессе работы материал вынужден непрерывно переходить из винтовых каналов корпуса в канал шнека, что ускоряет процессы смешивания.

В шнековой машине системы «К-Kneter» одновременное вращение шнека осуществляющее возвратно-поступательное движение (рисунок 18*и*) достигается высокая эффективность смешивания.

Для повышения качества смешивания по окружности шнека с определенным интервалом возможна установка нескольких рядов штифтов, изменяющих направление центральной части потока (рисунок 18 *к*) [23].

Для усиления смесительного воздействия боковые поверхности винта можно снабдить выступами (рисунок 18 *л*).

Конструкции вышеперечисленных шнековых машин направлены на переориентацию линии тока материал в каналах шнековой машины, при возникновении гидродинамической сложности процессов смешения и гомогенизации. Поэтому решение задач о течении полимерных материалов в каналах шнековых машин возможно только на примерах конструктивного применения, то есть на практике.

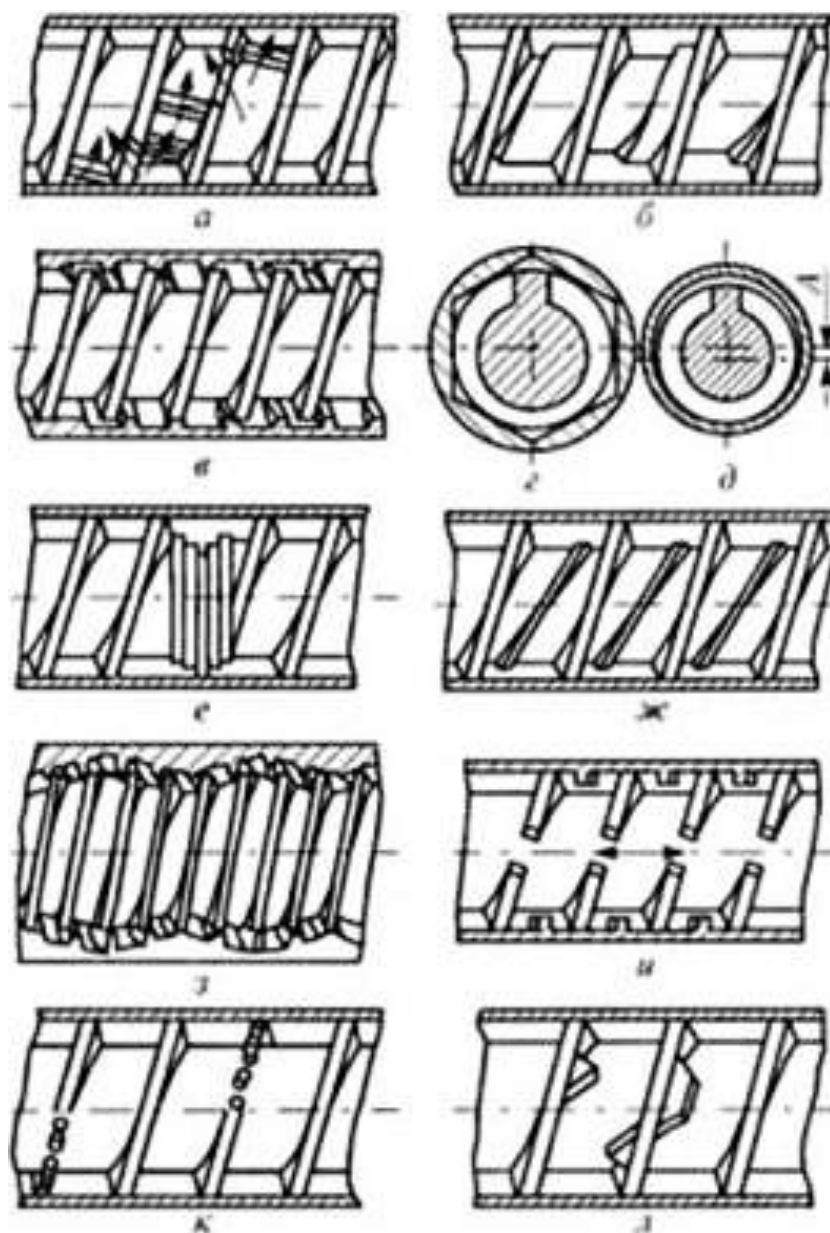


Рисунок 18 - Конструкции специальных шнеков

Для решения задачи, поставленной в нашей работе, предложено конструктивное решение, показанное на рисунке 19.

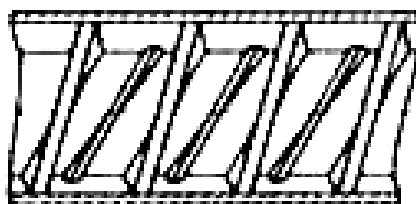


Рисунок 19 - Схема двухзаходного шнека, установленного в зоне пластификации материала

Несмотря на множество достоинств процесса экструдирования, основным его недостатком является ресурсоемкость. В связи с этим решение задачи снижения энергоемкости с одновременным повышением качества экструдированного корма является актуальной при приготовлении кормов.

Конструктивные изменения, вносимые в механизм пресс-экструдера, позволят повысить его производительность, возможности направления и предотвращения разбрасывания выходящего экструдата [2, с.13].

Прототипом, является устройство для экструдирования кормов методом сухой экструзии, содержащее питатель, корпус, шнек, матрицу с формующими отверстиями (предварительный патент KZ, №16535, 15.12.2005 бюл №12-7с)[2].

Недостатком данного устройства является то, что при экструдировании материал(экструдат) выходит за счет высокого давления, тем самым приобретает скорость и отлетает на некоторое расстояние в разные стороны.

Задачей настоящего изобретения является повышение производительности процесса экструдирования путем совершенствования конструкции экструдера. Указанная задача решается тем, что в известном устройстве, включающем загрузочную камеру, винт, корпус, компрессионный затвор, фильеру, согласно предполагаемого изобретения, на корпус фильеры в зоне выхода материала установлено устройство, обеспечивающее направление выходящего экструдата (рисунок 20).

На решенную техническую задачу получено положительное решение (№27084 по заявке № 2013/0189.1. Экструдер для переработки комбикормов. Г. Астана. Республика Казахстан)[2].

На рисунке 21 показан разрез матрицы по оси канала фильеры. На рисунке 4 показан вид на матрицу в плане. На корпусе 1 матрицы выполнен патрубок 2, на котором хомутом 3 закреплена трубка 4. В нижней части патрубка находится расширение 5.

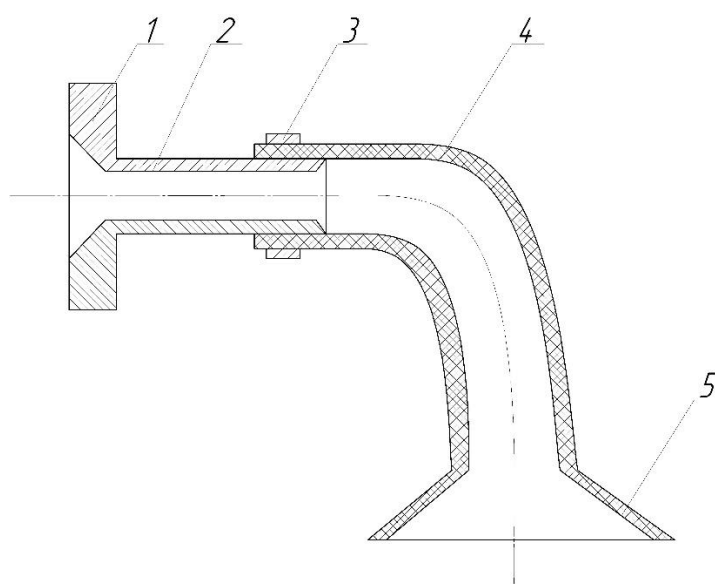
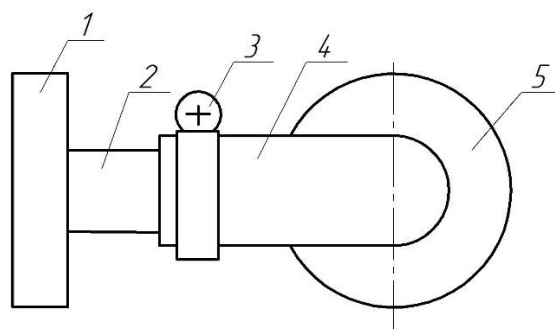


Рисунок 20 - Разрез матрицы по оси канала фильеры



1 - корпус, 2 - патрубок, 3-хомут, 4-трубка, 5 - расширение

Рисунок 21 - Вид на матрицу в плане

Комбинированные корма должны отвечать требованиям нормативно-технической документации, разработанной для половозрастных и видовых групп животных, государственные стандарты предусматривают большой перечень показателей качества готовой продукции.

В полнорационных комбикормах строго определено содержание влаги, сырого протеина, клетчатки, кальция, фосфора, поваренной соли, лизина, метионина с цистином, песка и крупности. Разработаны научно обоснованные требования к качеству гранулированных комбикормов, для различных видов животных.

ТЕМА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРУДИРОВАНИЯ

2.1 Теоретические исследования процесса экструдирования кормосмеси

Экструдирование растительного сырья, основными компонентами которого являются крахмал (полисахариды), белки и вода, проводят в экструдерах с целью получения полуфабрикатов или готовых изделий при комплексном воздействии на обрабатываемую пищевую среду давления, температуры, влажности и напряжения сдвига.

Преимущества экструзии состоят в совмещении в одном экструдере нескольких процессов: диспергирования, перемешивания, гомогенизации, термической и механической обработки, структурообразования, выпрессовывания и сушки пищевых материалов. Экструдер заменяет ряд периодических процессов и оборудования, а сам процесс экструзии позволяет направленно изменять свойства и структуру перерабатываемого материала, обеспечивает непрерывность процесса, возможность непрерывной подачи в перерабатываемый материал ароматизаторов, красителей, пластификаторов и вкусовых добавок [10].

При термопластической экструзии сырье в процессе перемещения в экструдере от входа к выходу подвергают двухстадийному нагреванию. На первой стадии осуществляется нагрев сырья до температуры 60...80 °С. При такой температуре и содержании воды до 30 % биополимеры пластифицируются и переходят из стеклообразного состояния в высокоэластическое. На второй стадии температура обычно поддерживается в пределах 120...190 °С, материал переходит в вязко-текучее состояние, образуя расплав биополимеров. При этом кристаллические области способных к кристаллизации биополимеров, например амилозы и амилопектина в составе крахмала, плавятся, а аморфные переходят из неупорядоченного высокоэластического состояния в вязко - текучее. Начинается структурообразование расплавов, фиксируемое затем в получаемых экструдатах.

Наиболее интенсивно структурообразование расплавов биополимеров протекает под действием сил сдвига и растяжения в головке экструдера. Это обусловлено изменением реологических условий течения в этих зонах.

Форма экструдата определяется формой отверстий в матрице, которую устанавливают на выходе материала из экструдера. Экструзионные продукты питания, содержащие преимущественно крахмал, могут иметь однородную или пористую микроструктуру, а продукты, основным компонентом которых являются белки, характеризуются волокнистой или пористой анизотропной микроструктурой [10].

Необходимыми условиями получения экструзионных продуктов питания являются: увлажнение и пластификация сырья, получение расплава

биополимеров, денатурация белков и клейстеризация крахмалов, структурирование расплава под действием сил сдвига и растяжения, его охлаждение и формование.

При термопластической экструзии в перерабатываемом материале происходят необратимые биофизические изменения, прежде всего белков, крахмала и сахара.

Экструдат затем сушат или обжаривают и покрывают вкусовыми добавками. Способом термопластической экструзии получают сухие завтраки, хлебцы, сухие напитки, супы, аналоги мяса и рыбопродуктов.

Для создания рабочих теорий процесса экструзии правомерно использование моделей изотермического, адиабатического, политропического и произвольного теплового режимов работы зоны дозирования.

Для рассмотрения традиционных математических моделей процессов экструзии, удобнее всего разделить их на три основные группы моделей: гидродинамические, геометрические и реологические [11].

Так, уравнение математической модели дозирующей зоны экструдера по Мак-Келви имеет вид:

$$\Pi = F_d \cdot \left[\frac{U_z h W}{2} \right] - \left[\frac{h^3 W}{12 \mu H} \right] \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \cdot F_p \quad (1)$$

где Π – объемная производительность зоны дозирования, м³/с;

U_z – компонента скорости движения корпуса относительно шнека в направлении z , м/с;

h – глубина канала шнека, м;

W – ширина канала, м;

μ_H – динамическая вязкость ньютоновской жидкости, Па*с; $\frac{\partial P}{\partial z}$ – градиент давления по оси канала z , Па/м;

F_d , F_p – безразмерные коэффициенты формы, учитывающие влияние на распределение потоков соотношения $\frac{h}{W}$

Математическая модель, предложенная В.А. Силиным, является примером иного, геометрического подхода к решению задачи моделирования процесса экструзии полимеров для этой зоны:

$$\Pi = [\pi \cdot (D^2 - d_\partial^2) \cdot (H - e) \cdot \frac{60np}{4}] \eta_\partial \cdot \left(\frac{1 - p_e}{P_{\max}} \right) \quad (2)$$

где Π – производительность экструдера в зоне дозирования, кг/с;

D – наружный диаметр шнека, м;

d_∂ – диаметр сердечника червяка в зоне дозирования, м;

H – шаг шнека, м; e – осевая ширина витков шнека, м;

n – частота вращения шнека, с⁻¹;

ρ – плотность расплава, зависящая от температуры и давления, кг/м³;

η_0 – коэффициент осевого перемещения расплава в канале червяка в зоне дозирования;

P_c – противодействие экструзионной головки, Па;

P_{max} – максимальное давление, создаваемое всеми витками червяка при закрытой головке, Па.

Наиболее точно реальную физическую картину процесса экструзии отражают реологические модели. Реальное движение расплава полимера в зоне дозирования – это трехмерное неизотермическое течение аномально вязкой жидкости.

И.Э. Груздевым получено уравнение для расчета производительности дозирующей зоны экструдера при изотермических условиях течения аномально-вязкой жидкости со сложным сдвигом:

$$P = q_x \cdot q_{max} \cdot \eta \cdot v_0 \cdot h \cdot s \cdot i \quad (3)$$

где P – объемный расход продукта, м³/с;

q_x, q_{max} – безразмерные расходы продукта;

η – коэффициент проскальзывания;

v_0 – скорость движения пластины (окружная скорость шнека), м/с;

h – глубина канала шнека, м;

s – ширина канала, м;

i – число заходов шнека [10,11].

Характерной особенностью течения степенной жидкости в условиях сложного сдвига является более слабая зависимость максимального расхода продукта от аномалии вязкости.

2.2 Экструдер для переработки кормосмеси

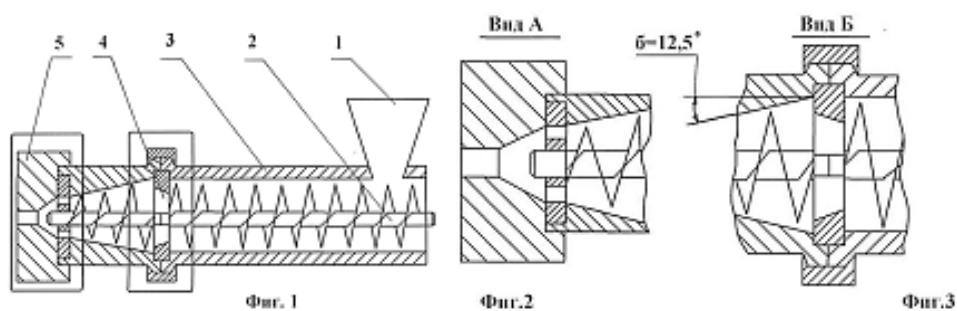
Для повышения эффективности процесса экструдирования и минимизации затрат необходимо оптимизировать работу экструдера, в частности, за счёт снабжения шнека выступами треугольной формы, расположенными по всей длине на прессующей поверхности витка по траектории спирали Архимеда.

Изобретение относится к устройствам для переработки кормов, в том числе комбинированных кормов, может быть использовано в сельском хозяйстве, в частности животноводстве.

Известно устройство для экструдирования кормов методом сухой экструзии, содержащее питатель, корпус, шнек, матрицу с формулирующими отверстиями. Угол скоса изготовлен около 15,6° в направлении прессуемого материала (угол защемления). Длина фильеры изготовлена в 3 раза больше, чем диаметр фильеры [предварительный патент КЗ. № 16535, 2005] [11].

Недостатком данного устройства является сложность конструкции, наличие большого количества деталей, высокая себестоимость получаемой продукции, низкий температурный режим.

Известно устройство включающем в себя загрузочную камеру, шнек, корпус, компрессионный затвор, фильеру. Конструкция корпуса в зоне фильер (в зоне пластификации материала) изготовлена под углом $12,5^\circ$ к оси, конструкция шнека в зоне пластификации изготовлена с увеличивающимся числом витков. Данное устройство является наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату (рисунок 22) (инновационный патент КЗ. № 19896,2008) (Прототип) [12].



1 - загрузочная камера, 2 - прессующий шнек, 3 - корпус, 4 - компрессионный затвор, 5 - фильера.

Рисунок 22- Особенности конструкции экструдера №19896

Недостатком данного устройства является низкий коэффициент проскальзывания материала, недостаточное смешивание кормосмеси в первой зоне - зоне сдавливания которое не обеспечивает продавливание экструдата и способствует его прогоранию.

Задачей настоящего изобретения является повышение производительности, снижение энергозатрат процесса экструдирования путем совершенствования конструкции экструдера.

Указанная задача решается тем, что в известном устройстве, включающем в себя загрузочную камеру, шнек, корпус, компрессионный затвор, фильеру, согласно предлагаемого изобретения, шнек снабжен заостренными выступами треугольной формы, расположенными по всей длине на прессующей поверхности витка по траектории спирали.

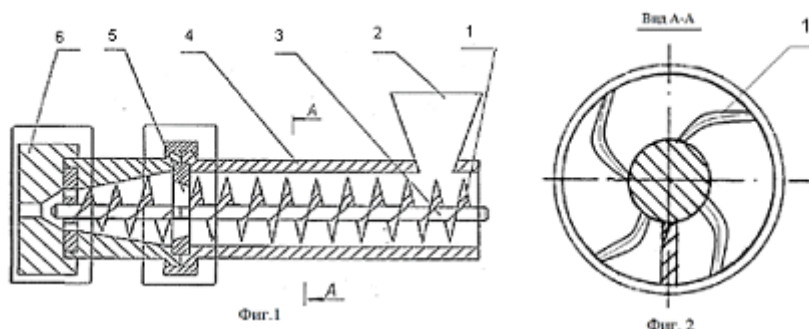
Для названного устройства «Экструдер для переработки кормосмеси» при снабжении шнека с выступами треугольной формы позволяет частицам корма совершать распределение влажности, а заостренная вершина выступа дополнительно разрушает большие частицы корма. Наклонные стороны выступа предотвращают возможность забивания шнека. Таким образом, обеспечивается более равномерное распределение влаги между обрабатываемыми компонентами различной влажности, увеличение значения коэффициента проскальзывания материала и его продавливание. Это

способствует увеличению производительности агрегата и снижению расхода топлива на единицу готового корма [11, 12].

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство экструдирования кормосмеси отличается простотой, надежностью, низкой себестоимостью.

На фигуре 1 приведен общий вид устройства для экструдирования кормов, на фигуре 2 вид А-А конструктивные отличия от прототипа (рисунок 23).

Устройство для экструдирования комбикормов состоит из загрузочной камеры 2, прессующий шнек 3 с выступами треугольной формы 1, корпуса 4, компрессионного затвора 5, фильеры 6. Выступы 1, вершина которых заострена, направлен по траектории спирали Архимеда (фигура 2 Вид А-А).

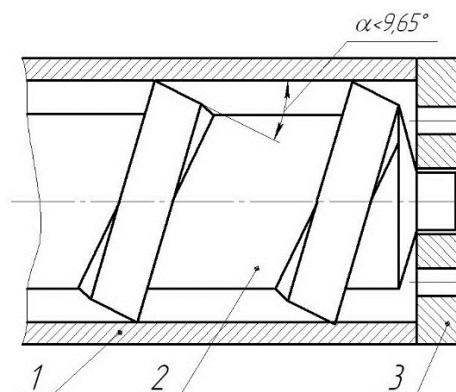


1 - выступы треугольной формы, 2 - загрузочная камера, 3- прессующий шнек, 4- корпус, 5 - компрессионный затвор, 6 - фильера.

Рисунок 23 – Конструктивно - технологическая схема шнека экструдера

Устройство для экструдирования кормосмеси работает следующим образом. Материал поступает в загрузочную камеру 2, захватывается шнеком 3 и под давлением, которое увеличивается за счет трения о стенку корпуса 4, продавливается через компрессионный затвор 5 и фильеру 6. В процессе экструдирования происходит перераспределение влаги между обрабатываемыми компонентами. Менее влажные компоненты (солома) впитывают выделяющуюся влагу. Для улучшения перераспределения влаги по всей массе совокупного материала его необходимо перемешивать во всей зоне прессования. Это достигается с помощью выступов треугольной формы 1, расположенных на прессующей поверхности шнека по траектории спирали, за счет перемещения более влажной массы от вала шнека 3 к периферии. По результатам проведенных исследований получен предварительный патент Республики Казахстан за № 15942.

Устройство для экструдирования грубых кормов (авторы – Курманов А.К., Гаврилов Н.В.) и предварительный патент № 18519. Экструдер (авторы – Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Курманов Б.К., Хасенов У.Б., Гаврилов Н.В.) [10, 12].



1-корпус экструдера, 2-шнек, 3-фильера

Рисунок 24 - Схема конструкции экструдера

Экструдер для переработки кормосмеси представлен на рисунке 25.

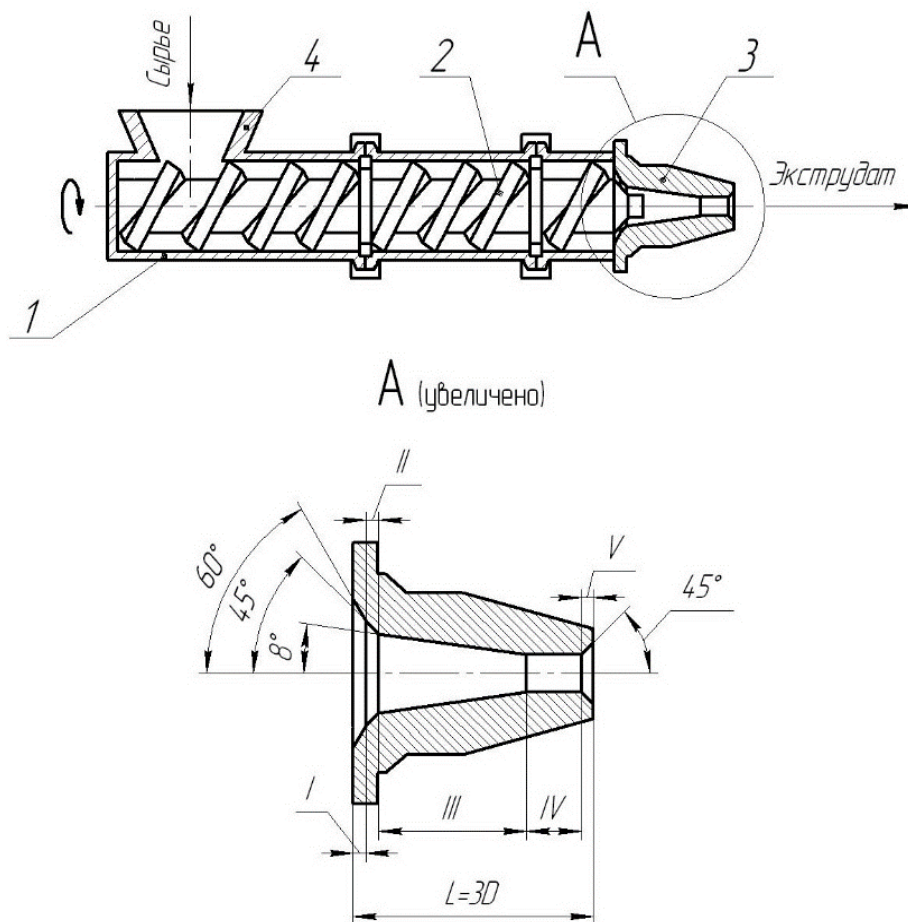
Данное устройство разработано на основании проведенных исследований, получен предварительный патент Республики Казахстан за № 19144. Экструдер для переработки кормосмеси (авторы – Гаврилов Н.В., Гаврилова М.Н.), инновационный патент Республики Казахстан за № 26996. Экструдер для переработки кормосмеси (авторы - Гаврилов Н.В., Шашубаева А.С.), патент на полезную модель Республики Беларусь за №8631. Экструдер для переработки кормосмеси (авторы - Шило И.Н., Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Романюк В.Ю., Гаврилов Н.В., Кушнир В.Г., Гаврилова М.Н.) [12, 13, 14].

Изобретение относится к устройствам для переработки кормов и может быть использовано в сельском хозяйстве, в частности в животноводстве, для переработки кормосмесей. Техническим решением является повышение производительности, снижение энергозатрат процесса экструдирования путем совершенствования конструкции экструдера.

Указанная задача решается тем, что в известном устройстве, включающем загрузочную камеру, шнек, корпус, фильеру; согласно предполагаемого изобретения конструкция внутренней поверхности фильеры выполнена в виде ступенчатых последовательных усеченных конусовидных поверхностей, образующие которых расположены соответственно под углом 60° , 45° , $8-12^\circ$ к оси по направлению прессуемого материала, при этом выходное отверстие будет иметь скос под углом 45° (Вид В).

Экструдер для переработки комбикормов представлен на рисунке 26.

Данное устройство разработано на основании проведенных исследований, получен инновационный патент Республики Казахстан за № 19896. Экструдер для переработки комбикормов (авторы – Гаврилов Н.В., Гаврилова М.Н., Жантугулов Т.Ж.), инновационный патент Республики Казахстан за № 23311.



1-корпус экструдера, 2-шнек, 3-фильера, 4-загрузочная камера

Рисунок 25 - Схема экструдера для переработки кормосмеси по инновационному патенту Республики Казахстан № 26996

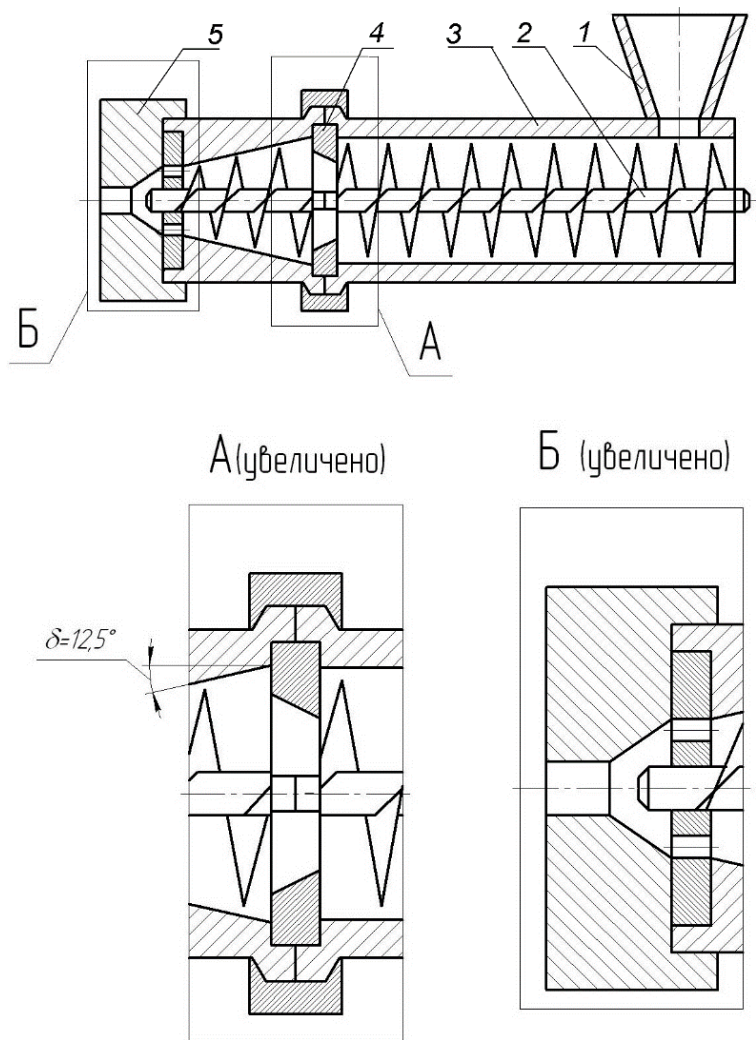
Экструдер для переработки комбикормов (авторы - Гаврилов Н.В., Гаврилова М.Н., Жантугулов Т.Ж), патент на полезную модель Республики Беларусь за №8564. Экструдер для переработки комбикормов (авторы - Шило И.Н., Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Романюк В.Ю., Гаврилов Н.В., Кушнир В.Г., Гаврилова М.Н.), заключение о выдаче инновационного патента на изобретение за №27084. Экструдер для переработки комбикормов (авторы – Гаврилов Н.В., Макаров С.В.) [14, 15, 16].

Изобретение относится к устройствам для переработки комбикормов и может быть использовано в сельском хозяйстве, в частности в животноводстве, для переработки комбикормов.

Задача изобретения - повышение производительности, снижение энергозатрат процесса экструдирования путем совершенствования конструкции экструдера.

Для этого в известном устройстве, включающем в себя загрузочную камеру, шнек, корпус, компрессионный затвор, фильеру, согласно изобретения,

конструкция корпуса в зоне размещения фильер (в зоне пластификации материала) изготавливается под углом ($\delta - 12,5^\circ$) к продольной его оси в направлении фильер (Вид А). Кроме того, конструкция шнека в зоне пластификации изготавливается с увеличивающимся числом витков, а зона уплотнения и пластификации разделена компрессионным затвором (Вид Б).



1-загрузочная камера, 2-шнек, 3-корпус экструдера, 4-компрессионный затвор, 5-фильера

Рисунок 26 - Схема экструдера для переработки комбикормов по инновационному патенту Республики Казахстан №19896

Устройство для экструдирования комбикормов состоит из загрузочной камеры 1, шнека 2, корпуса 3, компрессионного затвора 4, фильеры 5. Использование предполагаемого экструдера позволяет снизить энергозатраты, повысить производительность, это подтверждено экспериментальным путем.

Движение потока энергии и материального потока внутри экструдера при переработке кормосмеси осуществляется в результате приложения вращающего момента к валу шнека. В экструдированном материале возникают напряжения

пропорциональные площади, на которую воздействует сила F_1 и её результирующие силы F_i (рисунок 27). Из всех сил следует выделить силы F_1, F_2, F_3, F_5 , повышающие напряжение внутри корма и силы F_4, F_6 снижающие его.

Сила F_1 способствует перемещению кормосмеси вдоль оси шнека экструдера. Сила F_2 является реакцией стенки фильер. Сила F_3 возникает в зоне А при изготовлении скоса поверхности шнека. Сила F_4 возникает в результате утечки корма между винтовой поверхностью шнека экструдера и корпусом. Сила F_5 является результатом воздействия боковой поверхности шнека. Сила F_6 обеспечивает выход экструдата.

Материал в фильере представляет собой вязкопластическую жидкость, отличающуюся от реальной жидкости индексом течения (n) [1, 2]. Если представить фильеру как насадок, то можно повысить скорость истечения (производительность) в 1,32 раза, выдержав соотношение $l/d_\phi = 3 \dots 4$, где l, d_ϕ – длина и диаметр фильеры, м [3, 4, 5].

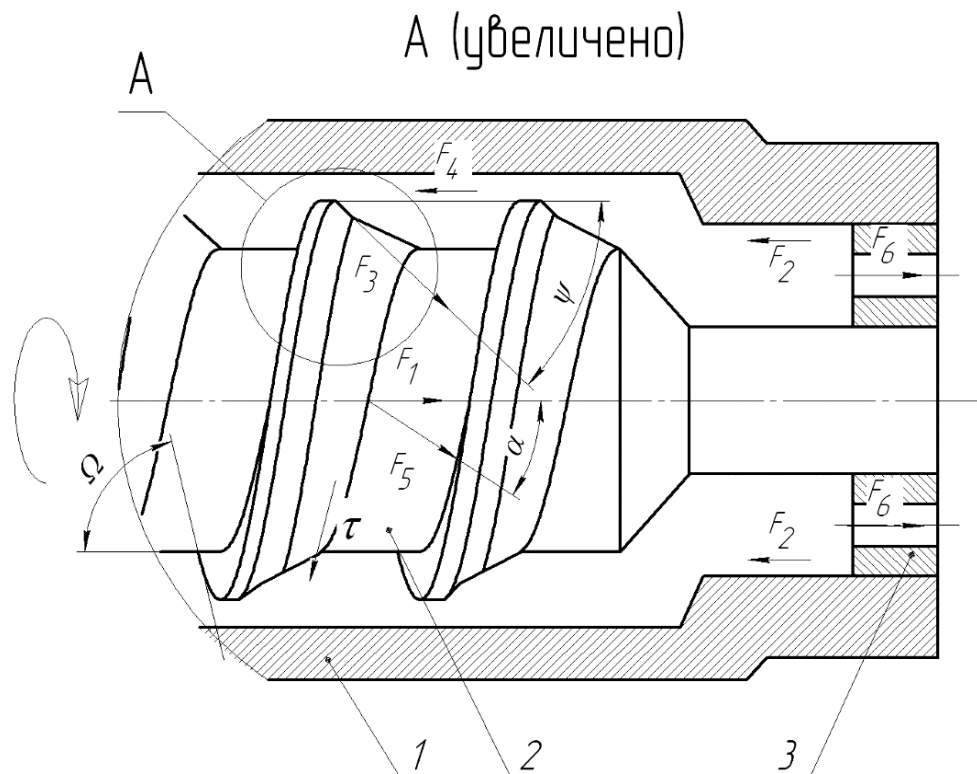


Рисунок 27 - Распределение сил при экструдировании

Для серийной машины с прямой винтовой поверхностью шнека воздействие силы F_4 максимальное, то есть утечку корма при экструдировании можно уменьшить только уменьшением зазора между корпусом и торцом витка шнека:

$$F_4 = F_1 \cdot \sin \Omega, \text{ Н} \quad (4)$$

Тогда условие равновесия будет иметь вид:

$$\sum F_i = 0, \text{ Н} \quad (5)$$

Или в общем виде:

$$F_1 = F_2 + F_5 - F_4 - F_6, \text{ Н} \quad (6)$$

Одним из вариантов устранения утечки корма через зазор между торцом витка шнека и корпусом является создание гидравлического затвора с использованием физико-механических свойств материалов. Угол Ψ больше угла трения материала корма о сталь, это создаёт условие для защемления корма между стенкой корпуса и торцом витка шнека, то есть возникает сила F_3 , обеспечивающая устранение утечки корма (рисунок 3, вид Б). Это снижает температуру корпуса, уменьшается скорость движения корма относительно корпуса, увеличивается доля полезной работы в общем балансе энергии [7, 8, 9].

На рисунке 28 указаны: L – зазор между витком шнека и корпусом экструдера, м; K – толщина витка шнека, м; K' – продолжение скоса винтовой поверхности до корпуса экструдера, м; AB – расстояние скоса винтовой поверхности, м.

Условие равновесия сил в этом случае будет иметь вид:

$$F_1 = F_2 + F_5 + F_3 - F_6, \text{ Н} \quad (7)$$

Сила F_1 связана с крутящим моментом зависимостью:

$$F_1 = \frac{M}{r_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}, \text{ Н} \quad (8)$$

где M – крутящий момент, Н·м;

r_{cp} – средний радиус шнека, м;

φ – угол трения материала, град.

Напряжение в слое экструдированного материала можно выразить:

$$\sigma = \frac{F}{S}; \text{ Н/м}^2 \quad (9)$$

где F – сила, Н;

S – площадь сечения, м².

Но так как напряжения, возникающие в слое экструдированного материала, зависят от параметров сил, их можно выразить как сумму напряжений:

$$\sigma = \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_5 - \sigma_6; \text{ Н/м}^2 \quad (10)$$

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{L} = \frac{F_2}{\pi R L} ; \text{Н/м}^2 \quad (11)$$

где R – радиус корпуса экструдера, м;
 L – длина рабочей части экструдера, м (см. рисунок 1).

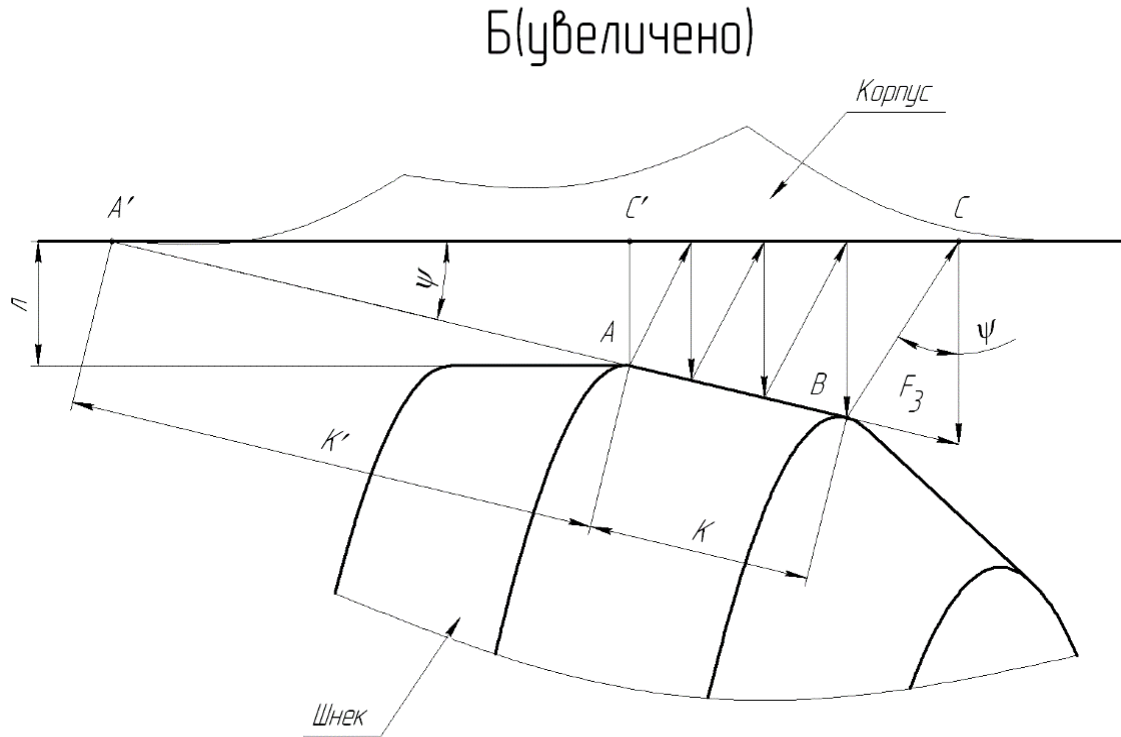


Рисунок 28 - Определение силы (F_3), обеспечивающей устранение утечки корма

$$\sigma_5 = \frac{F_1}{\pi d_{cp} (D - d)} ; \text{Н/м}^2 \quad (12)$$

где D – диаметр корпуса экструдера, м;
 d – диаметр шнека экструдера, м.

$$\sigma_6 = \frac{F_6}{S} = \frac{F_6}{\frac{\pi d_\phi^2}{4} \times 4} ; \text{Н/м}^2 \quad (13)$$

где S – площадь фильер, м^2 ;
 4 – количество выходных отверстий фильеры,
 d_ϕ – диаметр выходных отверстий.

Определяем значения сил F_2 , F_5 , F_6 :

$$F_2 = F_1 \cdot \cos \Omega ; \text{Н} \quad (14)$$

$$F_5 = F_1 \cdot \sin \Omega ; \text{Н} \quad (15)$$

$$F_6 = F_1 \cdot \sin \Omega ; \text{Н} \quad (16)$$

Для вычислений значений силы F_3 нашли значение расстояния скоса винтовой поверхности (АВ) (рисунок 28, вид Б):

$$AB = \frac{K}{\cos \psi} ; \text{м} \quad (17)$$

Вычислили значения расстояний АС' и А'В:

$$AC' = \frac{M}{\cos \psi} ; \text{м} \quad (18)$$

$$A'B = AB + AA' ; \text{м} \quad (19)$$

где А'А = К', (рисунок 28).

$$\text{Тогда:} \quad A'B = AB + K' ; \text{м} \quad (20)$$

Вычислили максимальные и минимальные значения силы F_3 :

$$F_{3\max} = A'B \cdot \text{tg}^2 \Psi = \frac{F_1}{\cos \Psi} ; \text{Н} \quad (21)$$

$$F_{3\min} = AC' \cdot \text{tg} \Psi ; \text{Н} \quad (22)$$

Тогда значения напряжений внутри кормосмеси σ_3 равно:

$$\sigma_3 = \frac{F_{3\max}}{S_{СК}} ; \text{Н/м}^2 \quad (23)$$

где $S_{СК}$ – площадь скоса поверхности шнека, м^2

Определили площадь скоса:

$$S_{СК} = \pi (R_{\max} + R_{\min}) \cdot AB ; \text{м}^2 \quad (24)$$

Площадь скоса по всей длине поверхности шнека:

$$S_{СК} = \pi \cdot a \cdot (R_{\max} + R_{\min}) \cdot AB ; \text{м}^2 \quad (25)$$

где a – число витков.

Подставили значения напряжений в формулу 23:

$$\sigma = \frac{F_2}{\pi \cdot R \cdot L} + \frac{F_3}{AB \cdot \pi \cdot a \cdot (R_{\max} + R_{\min})} + \frac{F_5}{\pi \cdot d_{Cp} \cdot (D - d)} - \frac{F_6}{\pi \cdot d_{\phi}^2} ; \text{Н/м}^2 \quad (26)$$

получили:

$$\sigma = \frac{F_1 \cdot \cos \Omega}{\pi \cdot R \cdot L} + \frac{F_1 / \cos \psi}{AB \cdot \pi \cdot a \cdot (R_{\max} + R_{\min})} + \frac{F_1 \cdot \sin \Omega}{\pi \cdot d_{cp} \cdot (D - d)} - \frac{F_1 \cdot \sin \Omega}{\pi \cdot d_{\phi}^2}; \text{ Н/м}^2 \quad (27)$$

После соответствующих преобразований получили:

$$\sigma = \frac{F_1}{\pi} \left(\frac{\cos \Omega}{R \cdot L} + \frac{1}{AB \cdot a \cdot (R_{\max} + R_{\min}) \cdot \cos \psi} + \frac{\sin \Omega}{d_{cp} \cdot (D - d)} - \frac{\sin \Omega}{d_{\phi}^2} \right) = \frac{F_1}{\pi} \cdot T; \text{ Н/м}^2 \quad (28)$$

где T – величина, зависящая от конструктивных параметров экструдера, $1/\text{м}^2$

$$\text{или: } \sigma = \frac{M}{\pi \cdot r_{cp} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)} \cdot T; \text{ Н/м}^2 \quad (29)$$

Из формулы 26 выразили значение крутящего момента (M):

$$M = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot r_{cp} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)}{T}; \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (30)$$

Для вязкопластического состояния материала при экструзионной обработке с применением уравнения Оствальда – де Вилля (31), напряжение создаваемое в экструдиреваемом материале, выражается [1]:

$$\tau = \mu' \cdot \gamma^n \quad (31)$$

где τ – напряжение сдвига;

μ' – коэффициент консистенции материала;

γ – скорость сдвига материала;

n – индекс течения.

Или

$$\sigma = \frac{\mu \cdot \gamma^n}{f_{\text{сдвига}}}; \text{ Н/м}^2 \quad (32)$$

где $f_{\text{сдвига}} = f_{\text{тр}}$ при предельном значении напряжений.

$$\text{Тогда: } M = \frac{\mu \cdot \gamma^n \cdot r_{cp} \cdot \pi \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)}{T \cdot f_{\text{сд}}}; \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (33)$$

Результаты теоретических исследований зависимостей крутящего момента отражены в рисунках 29,30.

Анализ зависимостей показывает, что они имеют разный характер. При увеличении значений вязкости кормосмеси значения крутящего момента

увеличиваются, а при увеличении значений угла скоса поверхности шнека значения крутящего момента уменьшаются.

Мощность, затрачиваемая на экструдирование кормосмеси, выражается формулой:

$$N = M\omega; \text{ кВт} \quad (34)$$

где ω - частота вращения шнека, рад/с.

Исходя из имеющихся значений мощности, выраженной через крутящий момент и частоту вращения, подставив их в формулу 34, получили:

$$N = \frac{\mu \cdot \gamma^n \cdot r_{cp} \cdot \pi \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)}{T \cdot f_{cd}} \cdot \omega; \text{ кВт} \quad (35)$$

По теоретическим исследованиям мощность, затрачиваемая на экструдирование кормосмеси, увеличивается в зависимости от частоты вращения шнека экструдера.

Производительность экструдера по переработке кормосмеси, с учётом коэффициента проскальзывания, определили по формуле (36) [1]:

$$Q = g_k \cdot g_{\max} \cdot \eta \cdot v_0^2 \cdot h \cdot x \cdot i \quad (36)$$

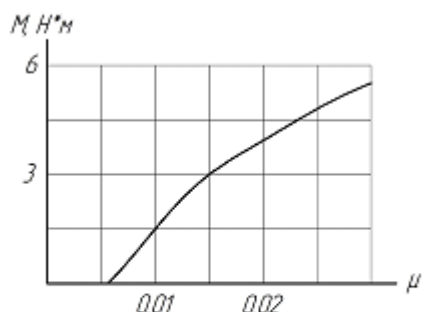


Рисунок 29 - Зависимость крутящего момента от вязкости кормосмеси

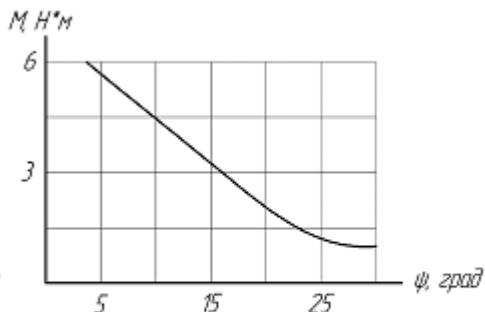


Рисунок 30 - Зависимость крутящего момента от угла скоса поверхности шнека

Значения безразмерного коэффициента g_k в зависимости от градиентов давления и аномалий вязкости принят от 0 до 1, коэффициента g_{\max} в зависимости от угла подъёма винтовой линии и аномалий вязкости принят от 0,32 до 0,52 [1, 5, 7, 8]. Коэффициент проскальзывания кормосмеси (η) при экструдировании зависит от коэффициента трения ($f_{тр}$).

В теоретических расчётах значения коэффициента проскальзывания изменяются в пределах от 0,1 до 1 [1, 5, 6, 7]. Глубина винтового канала (h), шаг шнека (x), число заходов шнека (i) являются постоянными величинами, зависящими от конструкции экструдера. С учётом имеющихся значений теоретический расчёт производительности провели, изменяя значения

окружной скорости шнека экструдера (V_0).

Теоретическая производительность экструдера в зависимости от частоты вращения, угла скоса поверхности шнека показана на рисунках 31.32.

Анализ зависимости производительности от частоты вращения шнека показывает, что производительность возрастает при увеличении частоты вращения.

Анализируя полученные значения зависимости производительности от угла скоса поверхности шнека можно сказать, что максимум производительности экструдера достигается в исследуемых интервалах при угле скоса 5° .

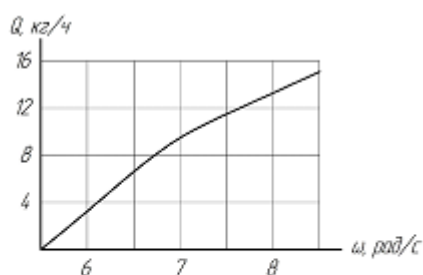


Рисунок 31 - Зависимость производительности от частоты вращения шнека

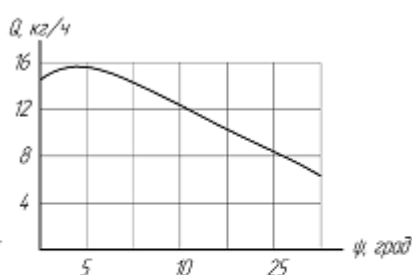


Рисунок 32 - Зависимость производительности от угла скоса поверхности шнека

Теоретический расчет производительности экструдера в зависимости от вязкости кормосмеси показал, что в исследуемых интервалах производительность возрастает и имеет максимальное значение при вязкости кормосмеси $0,02 \text{ МПа} \cdot \text{с}^n$. Значения индекса течения (n) в теоретических расчётах принято $0,23$ [2, 4, 9, 10].

2.3 Теоретические исследования параметров шнека экструдера

В экструдере шнек является основным элементом, который совместно с материальным цилиндром уплотняет, расплавляет и гомогенизирует экструдированную массу, а затем выдавливает ее сквозь выходное отверстие формирующей головки.

Важные параметры шнека, характеризуют его работу (рисунок 33):

- длина (L) и диаметр (D), а также отношение длины к диаметру (L/D);
- глубина нарезки в начале и конце шнека (h_1 и h_2);
- длины отрезков с различной глубиной нарезки (L_1, L_2, L_3);
- ширина гребня (e);
- шаг витка (t);
- угол шнековой нарезки (φ).

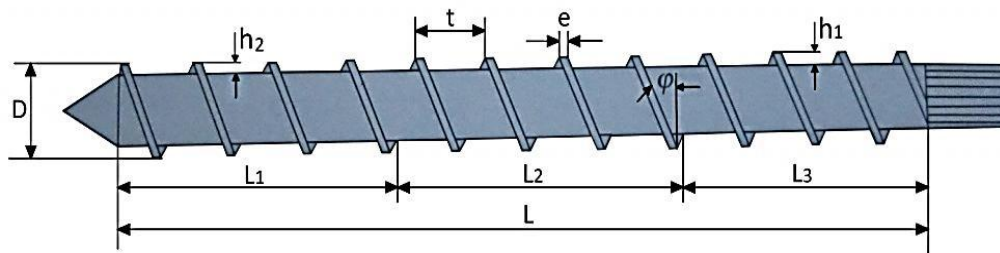


Рисунок 33 - Параметры шнека экструдера

Числовые данные о диаметре (D) и соотношении длины к диаметру (L/D) – это величины, по которым может быть дана оценка производительности экструдера. Крутящий момент шнека и его диаметр, являются также параметрами характеризующими конструкцию экструдера [12].

Таким образом, экструдеры классифицируются по производительности и изготавливаются только со шнеками определенного диаметра.

Общепринятые диаметры шнеков:

D=20;32;45;50;52;55;60;63;90;125;160;200;250 и 320мм.

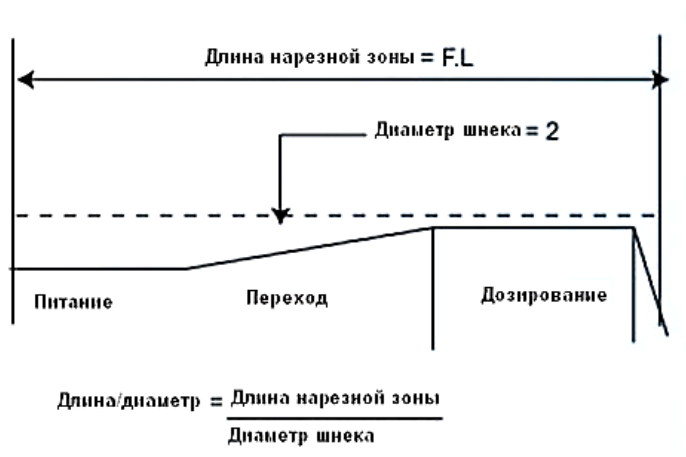


Рисунок 34 - Характеристика основных компонентов однозаходного шнека

Короткошнековые экструдеры имеют соотношение длины к диаметру $L/D=12-18$, длиношнековые $L/D>30$. Наиболее распространенные экструдеры с $L/D=20-25$. В некоторых современных конструкциях длина шнека достигает $L/D=36$.

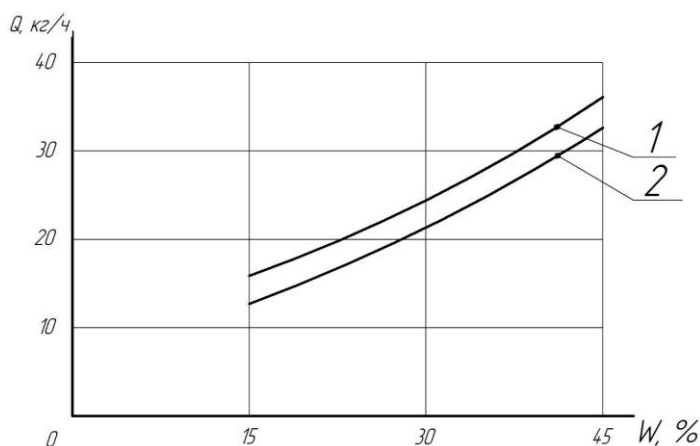
Соотношение глубины нарезки h_1 и h_2 наиболее часто используемых шнеков составляет от $1/2$ до $1/3$.

Характеристика основных компонентов однозаходного шнека. Эти характеристики представлены на рисунке 34.

Размеры параметров шнека витка (t) и ширины гребня (e) согласуется с параметрами шнека и, как правило, составляет $t=D, e=0,1 \times D$.

Теоретически определенные геометрические параметры шнека экструдера снабженного выступами треугольной формы по всей длине прессующей части, обеспечивают максимальную производительность прессы – экструдера.

Результаты теоретических исследований зависимостей производительности от влажности представлены на рисунке 35.



1 – график теоретической зависимости для базовой конструкции шнека

2 – график теоретической зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 35 – Зависимость производительности от влажности кормосмеси

Анализ теоретической зависимости при различных конструкциях шнека показывает, что при изменённых параметрах шнека экструдера и при увеличении влажности кормосмеси, производительность увеличивается.

2.4 Математическое моделирование процесса экструдирования

2.4.1 Требования к математическим моделям для параметрического синтеза

В общем виде система уравнений, описывающих процесс механического взаимодействия обрабатываемого материала с рабочими органами технологической машины, состоит из уравнений движения этого материала в рабочем пространстве машины [12].

На рисунке 36 представлена структура математической модели одношнекового экструдера, которая состоит собственно из системы математических моделей, необходимых для проведения векторной оптимизации, и тесно связанной с этой моделью базой данных. Основой базы данных является множество T технологических параметров процесса, являющихся в данном случае

управления. Множество T сформировано из технологических требований к процессу и управляет внешними величинами математической модели, которые разделены на четыре множества параметров:

- множество свойств обрабатываемого материала M ;
- множество кинематических параметров процесса K ;
- множество структурных параметров технологического объекта P ;
- множество геометрических параметров пространства взаимодействия G .



Рисунок 36 - Структура математической модели одношнекового экструдера

Таким образом, системе математических моделей в качестве исходных данных передаются следующие векторы [13]:

- вектор параметров свойств \bar{m} обрабатываемого материала из множества допустимых альтернатив M , включает в себя коэффициент консистенции в шнековом канале шнека, индекс течения прессуемого материала;

- вектор кинематических параметров процесса \bar{k} из множества допустимых альтернатив K , включает в себя угловую скорость вращения шнека;

- вектор структурных параметров \bar{p} (не выражаемых в единицах измерения геометрических величин) из множества допустимых альтернатив P , включает число секций шнека, число заходов в каждой секции, число фильер в матрице, коэффициент, учитывающий сопротивление на вход в головку экструдера;

- вектор геометрических параметров пространства взаимодействия \bar{g} из множества допустимых альтернатив G , в который входят все учитываемые математической моделью геометрические размеры шнекового прессующего механизма - диаметр шнекового цилиндра, внешний диаметр шнековой линии шнека, осевая толщина шнековой лопасти шнека, длина рабочей части шнека, диаметр фильеры матрицы и ее длина, шаг шнековой лопасти шнека, угол наклона гребней шнека.

Основной является реологическая модель обрабатываемого материала, которая в общем случае задается, исходя из технологических требований. Реологическая модель учитывает, что прессуемый материал проявляет свойства псевдопластического тела.

Векторы K , P , G и результаты вычислений по модели свойств должны обеспечить замкнутость ядра системы - модели ее энергетического состояния. Для технологических машин эта модель описывает потоки механической энергии, которыми обрабатываемый материал обменивается с рабочими органами. Эти потоки выражены через напряженное состояние во всех полостях рабочего пространства шнекового прессующего механизма: в канале шнека, в компрессионном затворе, в полости утечек, в канале фильеры. Таким образом, напряженное состояние является в данном случае внутренней характеристикой системы. В свою очередь, внутренняя характеристика системы оказывает влияние на модель свойств обрабатываемого материала [12, 13].

Внутренняя характеристика системы позволяет использовать модель векторной оптимизации, которая представляет собой подсистему, состоящую из трех элементов: модель формирования параметров эффекта, множество ограничений параметров эффекта, модель построения оптимальной области.

В качестве параметров эффекта мы выбрали: КПД, производительность экструдера, мощность сил полезного сопротивления, силу, действующую на матрицу, импульс касательных напряжений.

Рассмотренные параметры эффекта имеют многоуровневую структуру. На первом уровне находятся параметры эффекта, определяемые непосредственно из внутренней характеристики системы - производительность прессующего механизма, мощность сил полезного сопротивления, сила, действующая на матрицу. На втором уровне находятся параметры эффекта, определяемые с

помощью параметров эффекта первого уровня, к ним относятся - импульс касательных напряжений и энергоемкость процесса прессования N/Q . На третьем уровне расположен коэффициент полезного действия прессующего механизма, определяемый с помощью параметров эффекта второго уровня.

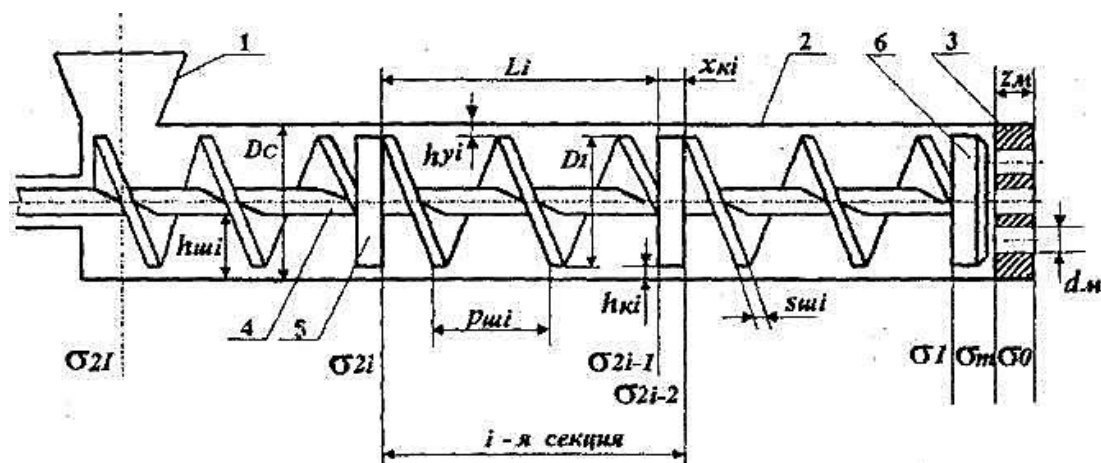
Таким образом, оптимизация параметров эффекта экструдера сводится к отысканию максимума коэффициента полезного действия при выполнении ограничений, наложенных на параметры эффекта первого и второго уровней.

2.4.2 Формирование математической модели

Система одношнекового прессующего механизма является сложной, из-за сложности взаимодействия звеньев механизма с обрабатываемым материалом.

Прессующий механизм показан на рисунке 37. Взаимодействие прессуемого материала с рабочими органами связано с движением материала в пространстве между этими органами.

Рассмотрение действительного механизма затруднительно из-за сложности пространства между рабочими органами экструдера. Все поверхности указанных полостей являются развертывающимися цилиндрическими и коническими и при развертке представляют несколько пар параллельных между собой плоскостей, которые будем полагать неограниченными. Прессуемый материал расположен между парой рассматриваемых плоскостей, с указанием на них рабочих участков.



- 1 - загрузочное устройство; 2 - шнековый цилиндр; 3 - матрица; 4 - шнек;
5 - компрессионный затвор; 6 - головка экструдера.

Рисунок 37 - Схема прессующего механизма:

Движение прессуемого материала можно представить как движение между парами параллельных плоскостей, при этом сохраняется свойство непрерывности объемной производительности в шнековом механизме, который может рассматриваться как система секций, каждая из которых ограничена

компрессионным затвором. Исключение составляют осесимметричные каналы фильера, для которых имеется собственное решение задачи течения экструдированного материала [13, 14].

Для более точного описания процесса разобьем экструдер на секции. Секцией в общем случае будем называть элементарный шнековый прессующий механизм с условно постоянными параметрами процесса прессования. Секция может оканчиваться матрицей, либо компрессионным затвором - участком механизма, на котором лопасть шнека прерывается и проходное сечение уменьшается. Компрессионный затвор может быть фиктивным, если параметры процесса прессования изменяются при непрерывных лопастях шнека.

Матрицу будем полагать эквивалентной компрессионному затвору и вместе с прилегающей частью шнека считать первой секцией прессующего механизма.

2.4.3 Кинематический расчет движения материала в каналах шнека

Реологическое уравнение течения псевдопластической жидкости удовлетворительно описывается уравнением Оствальда-де Вилля, связывающим напряжение сдвига τ_{xy} со скоростью сдвига $\dot{\gamma}_x$:

$$\tau_{xy} = \mu \cdot \dot{\gamma}_x^n \quad (37)$$

где μ - коэффициент консистенции материала;

n - индекс течения, характеризующий отклонение свойств данного материала от свойств ньютоновской жидкости [14].

Рассмотрим установившееся движение прессуемого материала между двумя бесконечными параллельными пластинами, полученными разверткой пары контактных с прессуемым материалом коаксиальных цилиндрических поверхностей шнекового цилиндра и шнека, нижняя из которых неподвижна, а верхняя движется со скоростью v_c . Систему координат выберем, как показано на рисунке 38.

Объемными силами, возникающими при движении материала, пренебрегаем по сравнению с величиной напряжений, возникающих в материале при прессовании. Требуется определить напряжение сдвига, необходимое для пластического течения материала между контактными поверхностями. При одномерном течении нормальное напряжение может быть представлено в вид:

$$d\tau_{xy} = \frac{d\sigma}{dx} \cdot dy \quad (38)$$

После интегрирования дифференциального уравнения получим:

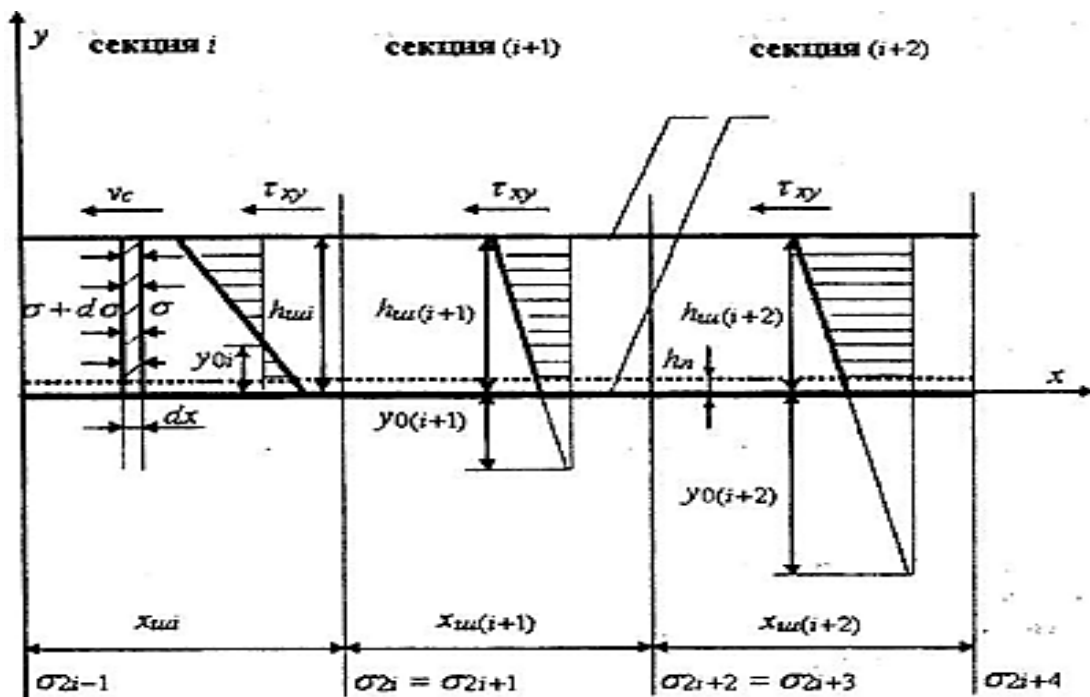
$$\tau_{xy} = \frac{d\sigma}{dx} \cdot y + C \quad (39)$$

где τ_{xy} - напряжение сдвига в прессуемом материале;

$\frac{d\sigma}{dx}$ - градиент нормальных напряжений в прессуемом материале (сжимающим напряжениям приписаны положительные значения).

Положим, что существует плоскость $y = y_0$, на которой касательные напряжения равны нулю. Произвольную постоянную C определим из граничного условия $\tau = 0$ при $y = y_0$. Получим:

$$\tau_{xy} = \frac{d\sigma}{dx} \cdot (y - y_0) \quad (40)$$



- 1 - плоскость, замещающая шнековый цилиндр
- 2 - плоскость, замещающая дно шнекового канала

Рисунок 38 - Схема модели шнекового канала

Анализ решений уравнения (40), проведенный С.А. Бостанджияном и А.М. Столиным, позволяет выделить два возможных случая распределения касательных напряжений в канале шнека:

- касательные напряжения не изменяют направления, то есть $y_0 < 0$;

- касательные напряжения меняют направление на противоположное, то есть $0 < y_0 < h_{ш}$

Сделав ряд преобразований и рассмотрев случаи, когда $y_0 < 0$ и $0 \leq y_0 \leq h_{ш}$, предположив постоянство плотности экструдруемого материала между секциями, уравнение неразрывности между соседними секциями

$$|v_c| \geq \frac{n}{(1+n) \left(\frac{h_{ш}^{1+n}}{\mu} \frac{d\sigma}{dx} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

при выполнении в секциях условия непрерывности нормальных напряжений на границе между соседними секциями $\sigma_{2i} = \sigma_{2(i+1)-1}$, проанализировав зависимость объемной производительности можно сделать заключение, аналогичное условию:

$$-\frac{a_{ш}}{m+1} h_{ш}^{m+1} \leq v_c \leq \frac{a_{ш}}{m+1} h_{ш}^{m+1}, \quad (41)$$

где, $m = \frac{1}{n}$ на основании, которого напряжение сдвига изменяет свое направления в канале шнека при выполнении условия:

$$h_{ш}^2 \left[\frac{v_c}{h_{ш}} - \frac{\left(\frac{h_{ш} d\sigma}{\mu dx} \right)^m}{m+2} \right] < Q < h_{ш}^2 \left[\frac{v_c}{h_{ш}} - \frac{\left(\frac{h_{ш} d\sigma}{\mu dx} \right)^m}{(m+1)(m+2)} \right] \quad (42)$$

В канале шнека объемный расход не может превысить на единичной ширине величины $-v_c h_{ш}$

Связь между окружной скоростью шнекового цилиндра и скоростью v_c определена соотношением:

$$v_c = \frac{D_c}{2} \omega \cos \alpha \quad (43)$$

где D_c - диаметр шнекового цилиндра;

ω - угловая скорость шнека;

α - угол подъема шнековой линии шнека [14].

2.4.4 Определение скорости проскальзывания экструдруемого материала по дну шнекового канала

При исследовании течения вязко-пластических материалов в каналах различной формы обнаружена возможность их движения с проскальзыванием по контактными поверхностям. Эта гипотеза получила подтверждение при экспериментальном исследовании процесса экструдирования комбикорма.

Выделим пограничный слой толщиной $h_{ш}$ прилегающий к нижней пластине. Граница этого слоя обозначена на рисунке 38 пунктирной линией [15].

Будем считать, что зависимость напряжения сдвига τ_{xy} от скорости сдвига $\dot{\gamma}_x$ (градиента скорости $\frac{dv_x}{dy}$) в пограничном слое удовлетворительно описывается уравнением Оствальда-де Виля:

$$\tau_{xy} = \mu_n \cdot \dot{\gamma}_x^{n_n} \cdot \left(\frac{dv_x}{dy}\right)^{n_n} \quad (44)$$

где μ_n - коэффициент консистенции прессуемого материала в пограничном слое;

n_n - индекс течения прессуемого материала в пограничном слое.

Уравнение Оствальда-де Виля справедливо также вне пограничного слоя. При этом его параметры не имеют нижнего индекса. Обозначим скорость движения материала в области $y < y_0$ через v_{x1} , а в области $y > y_0$ через v_{x2} .

$$a_{um} = \left(\frac{1}{\mu_n}\right) m_n \left| \frac{d\sigma}{dx} \right| m_n, \quad m_n = \frac{1}{n_n} \quad (45)$$

Проведя ряд преобразований, и учитывая в зависимости от нахождения y_0 случаи, когда $v_{x1} = 0$, $v_{x2} = v_n$, $v_{x1} = v_{x2}$ получим соответствующие скорости проскальзывания.

$$\text{Для случая } h_n < y_0 < h_{ш} \quad (46)$$

$$\text{если } [y_1^0]^{(m_1 n + 1)} - (y_1^0 - h_1 n)^{(m_1 n + 1)} \quad (47)$$

$$\text{и когда } h_n < y_0 < h_{ш} \quad [[y_1^0]^{(m_1 n + 1)} - (y_1^0 - h_1 n)^{(m_1 n + 1)}] \quad (48)$$

Полученные результаты могут быть использованы для определения параметров процесса экструдирования в режиме проскальзывания прессуемого материала по шнеку одношнекового пресса. Для этого нужно определить толщину пристенного слоя h_n и реологические параметры материала μ_n и n_n в пограничном слое [15, 16].

2.5 Расчет производительности экструдера

2.5.1 Расчет геометрии шнека и частоты его вращения

В качестве исходного параметра для расчета задается диаметр шнека D . Если он не задан, то его можно взять из технической характеристики, предварительно выбранной технологической линии для производства изделия или ориентировочно рассчитать по соотношению (в мм).

$$Q = 0,68D^{2,5}, \quad (49)$$

где Q – объемная производительность, $\text{мм}^3/\text{с}$.

Полученное значение диаметра шнека округляют до ближайшего большего числа из стандартного ряда диаметров шнеков для конкретного вида полимерного материала [16].

Глубина шнекового канала шнеков h для переработки пластических масс принимается равной:

1) в зоне питания (загрузки) :

$$hl = (0,12...0,16)D, \quad (50)$$

2) в зоне дозирования:

$$h_3 = 0.5 \left[D - \sqrt{\sqrt{D^2} - \frac{4h_1}{i} (D - h_1)} \right] \quad (51)$$

где степень сжатия материала i принимают по таблице;

3) в зоне пластикации (сжатия) :

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0 \quad (52)$$

$$L_0 = L - L_H \quad (53)$$

где L – длина шнека, см;

L_0 – длина шнека до зоны сжатия, см;

L_H – длина напорной части шнека, см,

$$L_H = (0,4...0,6)L \quad (54)$$

При выборе толщины витка e (ширины гребня) необходимо учитывать, что увеличение толщины витка приводит к повышению расхода мощности, а уменьшение ее к образованию значительного потока утечки через зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхностью витка шнека. Ширину гребня витка шнека рекомендуется принимать равной:

$$e = (0,06...0,1)D \quad (55)$$

Меньшие значения принимаются для диаметров шнека более 125 мм, большие менее 125 мм.

Радиальный зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхностью витка шнека рекомендуется принимать:

$$\sigma = (0,02...0,005)D \quad (56)$$

При этом меньшие значения принимаются для больших величин диаметров шнеков [16].

Частота вращения шнека существенно влияет на производительность шнековых машин. Ее рост происходит до определенного значения частоты вращения шнека (критического), выше которого начинается неустановившееся движение материала (частицы материала прекращают двигаться в осевом направлении, а лишь вращаются вместе со шнеком). Это приводит к уменьшению производительности, увеличению потребляемой мощности и повышенному износу рабочих частей машины.

Критическая частота вращения шнека в зоне загрузки шнековой машины может быть определена по следующему соотношению (с^{-1}):

$$n_{ед} = \frac{44,2}{60\sqrt{D}} \quad (57)$$

где D - диаметр шнека, м.

В зонах сжатия и дозирования допускаемую частоту вращения шнеков значительно уменьшают для соблюдения допускаемой температуры нагрева материалов, не возникновения их термомеханической деструкции (для термопластов) и преждевременной вулканизации (для резиновых смесей).

Рабочая частота вращения шнека равна:

$$n_p = (0,2...0,7) \cdot n_{кр} \quad (58)$$

где $n_{кр}$ - нижние значения числовых коэффициентов принимают для малых диаметров шнеков, верхние для больших значений. На практике частота вращения находится в пределах от 0,08 до 4,2 с^{-1} .

В последнее время начали применять адиабатические (автотермические) шнековые машины со скоростями вращения до 8,4 с^{-1} .

2.5.2 Расчет производительности одношнековых экструдеров

Определяющее влияние на производительность машины оказывает дозирующая зона шнека. Эффективность дозирующей зоны сильно зависит от геометрических параметров самого шнека. Отдача же шнекового экструдера в целом зависит не только от геометрических размеров шнека и числа оборотов, но и в значительной степени от конструкции формующей головки [16, 17].

На основе гидродинамического подхода к анализу взаимодействия рабочих органов с перерабатываемым материалом в дозирующей зоне экструдера принято рассматривать три составляющие потока движения расплава:

1) поток расплава, движущийся по межвитковому пространству в направлении от зоны загрузки к зоне дозирования вдоль оси шнека; возникает вследствие вращения шнека относительно цилиндра;

2) поток расплава, движущийся в противоположном направлении, что вызвано перепадом давления P по длине шнека;

3) поток утечки, движущийся в зазоре между наружной поверхностью витков шнека и внутренней поверхностью материального цилиндра в направлении от зоны дозирования.

Подобное разделение на три потока в канале шнека следует считать условным, так как противотока практически не существует, а имеет место некоторое ограничение прямого потока, возникающее в результате сопротивления головки.

Объемная производительность шнековой машины для переработки термопластов, в зависимости от сопротивления головки и конструкции дозирующей зоны, может быть выражена соотношениями:

$$Q = \frac{AK}{K + B + C} \cdot n \quad (59)$$

$$Q = \frac{A_1 K}{K + B_1 + C_1} \cdot n \quad (60)$$

$$Q = \frac{A_1 K}{K + B_2 + C_2} \cdot n \quad (61)$$

где Q - объемная производительность, $\text{см}^3 / \text{мин}$;

K - коэффициент сопротивления головки, см^3 ;

n - частота вращения шнека, мин^{-1} ;

A, A_1, A_2 - соответственно постоянные прямого потока для шнеков с постоянными геометрическими размерами, переменной глубиной и шагом нарезки в зоне дозирования, см^3 ;

B, B_1, B_2 - соответственно постоянные обратного потока для шнеков с постоянными геометрическими размерами, переменной глубиной и шагом нарезки в зоне дозирования, см^3 ;

C, C_1, C_2 - соответственно постоянные потока утечек для шнеков с постоянными геометрическими размерами, переменной глубиной и шагом нарезки в зоне дозирования, см^3 .

Значения постоянных прямого потока A , обратного B и потока утечек C определяются следующим образом [17].

Для шнека с постоянными геометрическими размерами нарезки:

$$A = \frac{Dh \cdot (t - \lambda e) \cdot \cos_2 \varphi}{2} \quad (62)$$

$$B = \frac{h^3 \cdot (t - \lambda e) \cdot \sin 2\varphi}{24L_H} \quad (63)$$

$$C = \frac{\pi^2 D^2 \sigma^2 \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \varphi}{10eL_H} \quad (64)$$

где D – наружный диаметр шнека, см;

t - шаг нарезки шнека, см;

h - глубина нарезки, см;

e - ширина гребня нарезки, см;

λ - число заходов;

δ - величина зазора между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра, см;

φ - угол подъема шнековой линии нарезки шнека; $\operatorname{tg} \varphi = t/\pi D$;

L_H – длина зоны дозирования, см.

Для шнека с переменной глубиной нарезки:

$$A_1 = \frac{\pi^3 (t - \lambda e) \cdot \sigma}{a + t^2 b} \quad (65)$$

$$B_1 = \frac{\pi t \cdot (t - \lambda e)}{12L_H (a + t^2 b)} \quad (66)$$

$$C_1 = \frac{\pi D \cdot \sigma^3 t^2}{10eL_H \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} \quad (67)$$

где σ , a , b – коэффициенты, характеризующие конструкцию шнека с переменной глубиной нарезки.

Они определяются по следующим соотношениям ($1\text{см}^2, 1/\text{см}^4$):

$$\sigma = \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \operatorname{lg} \frac{h_2}{h_3} + \frac{D^2}{2h_2 h_3} \quad (68)$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \cdot \left[\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right] \quad (69)$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg \frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)} + \frac{2h_2h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2} \quad (70)$$

где d_1 – диаметр сердечника (вала) шнека под загрузочной воронкой, см:

$$d_1 = D - 2h_1 \quad (71)$$

d_3 - диаметр сердечника шнека в зоне дозирования, см:

$$d_3 = D - 2h_3 \quad (72)$$

Для шнека с переменным шагом нарезки:

$$A_2 = \frac{\pi^3 D \cdot (D - h)^2 h j_1}{4\pi^2 \cdot (D - h)^2 j_2 - j_a} \quad (73)$$

$$B_2 = \frac{\pi h^3 (D - h) \Delta t}{3[4\pi^2 \cdot (D - h)^2 j_2 - j_3]} \quad (74)$$

$$C_2 = \frac{5D^2 \delta^3 \Delta t}{5e(D - h) \cdot [\pi(D - h) j_4 - \Delta t j_5]} \quad (75)$$

где J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 – коэффициенты, характеризующие конструкцию шнека с переменным шагом нарезки. Они определяются по следующим соотношениям (см, см²) [17]:

$$J_1 = t_1 - t_3 + 2,3\Delta t \lg \frac{t_1}{t_3} \quad (76)$$

$$J_2 = \frac{2,3}{2e} \cdot \left[(2e + \Delta t) \lg i - \Delta t \lg \frac{t_1}{t_2} \right] \quad (77)$$

$$J_3 = (t_1 - t_2) \cdot (t_1 + t_3 + 2\Delta t + 6e) + 4,6e \cdot (\Delta t + 2e) \cdot \lg i \quad (78)$$

$$J_4 = 2,3 \lg \cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{\varphi_2}}{\operatorname{tg} \frac{\varphi_3}{\varphi_2}} + 2 \cdot \frac{\sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}}{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2} \quad (79)$$

$$J_4 = 2 \cdot \frac{\sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2}}{\cos \varphi_1 \cos \varphi_3} - 2,3 \frac{\operatorname{tg} \frac{90 - \varphi_1}{2}}{g \frac{90 - \varphi_2}{2}} \quad (80)$$

где Δt – разность между соседними шагами.

Если параметры шнека известны из его чертежа, то Δt рассчитывают по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{m - 1} \quad (81)$$

где t_1 – шаг нарезки шнека у загрузочной воронки, см. Если он неизвестен, можно выбрать из соотношения $t_1 = (0,75 \dots 1,25)D$;

t_3 – шаг нарезки в конце шнека, см. Если он неизвестен из чертежа шнека, можно рассчитать по следующей формуле при заданной степени сжатия i :

$$t_3 = \frac{t_1 + e(i - 1)}{i} \quad (82)$$

$$m = \frac{2L_H}{t_1 + t_3} \quad (83)$$

где m – число шагов в напорной части шнека.

Здесь длина напорной части шнека L_H (длина зоны, в которой материал находится в расплавленном состоянии) рассчитывается:

$$L_H = (0,65 \dots 0,75) \cdot L \quad (84)$$

Δt можно также вычислить по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_1^2 - t_3^2}{2L_H - t_1 - t_3} \quad (85)$$

Угол подъема шнековой линии в зоне загрузки φ_1 :

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \cdot \frac{t_1}{2\pi R_{cp}} \quad (86)$$

Угол подъема шнековой линии в зоне дозирования φ_3 :

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{t_1}{2\pi R_{cp}} \quad (87)$$

Средний радиус R_{cp} рассчитывается:

$$R_{cp} = \frac{(D-h)}{2} \quad (88)$$

Для шнека с переменным шагом угол подъема шнековой линии φ является переменной величиной и может быть найден из формулы:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{t_i}{\pi D} \quad (89)$$

Объемную производительность экструдера Q , см /мин пересчитывают в массовую часовую производительность по формуле (кг/ч) [18, 19]:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{60Q\rho_p}{10^6} \quad (90)$$

где ρ_p – плотность расплава полимера при температуре переработки (на выходе из экструдера), кг/м³.

2.6 Расчет мощности в одношнековом экструдере

Знание потребляемой экструдером мощности необходимо для расчета энергетических затрат на производство изделий. При установившемся режиме экструзии величина потребляемой мощности является показателем стабильности процесса. Обычно контроль ведут по мощности, потребляемой приводом [19, 20].

Мощность (Вт), потребляемая экструдером (N), расходуется на передвижение массы материала вдоль спирального канала к головке и далее (N_1), а также на срез материала (расплава) в зазоре между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра (N_2):

$$N = N_1 + N_2 \quad (91)$$

Для шнека с переменной глубиной нарезки:

$$N_1 = 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \left[\frac{\pi^3 (t-e)Lj\eta}{t} n^2 + A_1 \Delta P n \right] \quad (92)$$

где A_1 – постоянная прямого потока, см³,
 n – частота вращения шнека, с⁻¹,
 J – коэффициент, см²

$$J = \frac{\pi^2 D^2 - 4t}{\pi^2} + \frac{(D + d_3)^3 - (D + d_2)^3}{3(d_3 - d_2)} + \frac{2,3\pi^2 D^5 \ln \frac{h_2}{h_3}}{(t^2 + \pi^2 + D^2)(h_2 - h_3)} \quad (93)$$

Величина перепада давления в головке складывается из величин давления на тех участках, что и при расчетах коэффициента сопротивления головки К. Расчет показан выше.

Диаметр вала шнека в начале в начале напорной зоны d_2 , см:

$$d_2 = D - 2h_2 \quad (94)$$

Мощность N_2 рассчитывается следующим образом:

$$N_2 = 9,8 \cdot 10^{-7} \frac{\pi^3 D^3 e L \eta}{\delta t} n^2 \quad (95)$$

где L – длина шнека, см

t – шаг нарезки, см

δ – величина зазора между стенкой цилиндра и гребнем шнека, см

В формулах расчета мощности фигурирует вязкость расплава η , которую находят по скорости сдвига следующим образом.

Скорость сдвига (с⁻¹) спиральном канале шнека (для N_1):

$$\gamma_{ck} = \frac{\pi^2 (D - h_{cp}) \cdot (D - 2h_{cp}) \cdot n}{h_{cp} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{cp})^2 + t^2}} \quad (96)$$

где $h_{cp} = \frac{(h_2 + 2h_3)}{2}$

Скорость сдвига в зазоре между гребнем шнека и стеной цилиндра (для N_2):

$$\gamma_{\sigma} = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} \quad (97)$$

Для шнека с переменным шагом нарезки величина N_1 рассчитывается:

$$N_1 = 9,8 \cdot 10^{-7} \cdot \left[\frac{\pi^2 (d+h)^3 d^2 \eta}{h} (G - eR)n^2 + A_2 \Delta P n \right] \quad (98)$$

где G – коэффициент, см^{-1}

$$G = \frac{2,3}{2\Delta t} \lg \frac{\cos^2 \varphi_3 \pi (\varphi_2 - \varphi_3)}{\cos^2 \varphi_2 \cdot 360(d+h)} \quad (99)$$

Угол подъема спиральной линии в начале напорной зоны φ_2 рассчитывается:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{t_2}{\pi(D-h)} \quad (100)$$

Шаг нарезки в начале напорной зоны t_2 , см:

$$t_2 = \frac{t_1 + e(i-e)}{i} \quad (101)$$

Угол подъема спиральной линии в конце зоны дозирования φ_3 рассчитывается [19]:

$$\varphi_3 = \arctg \frac{t_3}{\pi(D-h)} \quad (102)$$

Коэффициент R , см^2 рассчитывается:

$$R = \frac{2,3}{\pi^2 (d+h)} \lg \frac{t_2^2 \cos^2 \varphi_2}{t_3^2 \cos^2 \varphi_3} + \frac{\pi(\varphi_2 - \varphi_3)}{180(d+h)\Delta t} \quad (103)$$

Для определения вязкости расплава в канале шнека необходимо знать скорость сдвига (с^{-1}):

$$\gamma = \frac{\pi^2}{30h\sqrt{4\pi^2 d^2 + (t_2 + t_3)^2}} \quad (104)$$

Мощность (Вт), потребляемая шнеком с переменным шагом на срез расплава в зазоре (N_2):

$$N_2 = 4,9 \cdot 10^{-7} \left[\frac{\pi^3 D^3 (d+h) e [2(t_2 - t_3) + 2,3 \Delta t (\lg t_2 - \lg t_3) \eta n^2]}{\varphi \Delta t} \right] \quad (105)$$

Для определения вязкости расплава в зазоре между гребнем шнека и стенкой цилиндра [19]:

$$\gamma_\delta = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{4\pi^2 D^2 + (t_2 - t_3)^2}} \quad (106)$$

Мощность двигателя $N_{дв}$ привода экструдера должно быть выше на величину КПД=0,4...0,6, чтобы компенсировать неучтенные потери: на преодоление сил трения, на механические потери в приводе экструдера и др., т.е.

$$N_{дв} = \frac{N}{0,4...0,6} \quad (107)$$

2.7 Теоретические предпосылки разработки конструктивно-технологической схемы матрицы экструдера

Для повышения эффективности процесса экструдирования и минимизации затрат необходимо оптимизировать работу экструдера, в частности, за счёт скоса в выходном отверстии под углом 45^0 . Достичь этого можно путём модернизации дозирующей зоны экструдера - матрицы.

Для обеспечения такого технологического процесса нами был произведен обзор устройств для экструдирования грубых кормов, и разработана конструктивно-технологическая схема матрицы экструдера.

Изобретение относится к устройствам для переработки кормов, в том числе комбинированных кормов, может быть использовано в сельском хозяйстве, в частности животноводстве.

Известно «Устройство для экструдирования грубых кормов», состоящее из загрузочной камеры, винта, корпуса, насадка. Кромка винта изготовлена со скосом $9,65$ градуса к прессуемому материалу (предварительный патент КЗ, №15942, 05.05.2005 бюл. №7-7с, МПК В 29 С 47/00) [17].

Недостатком данного устройства является сложность конструкции, наличие большого количества деталей, высокая себестоимость получаемой продукции, низкий температурный режим.

Известно устройство для экструдирования кормов методом сухой экструзии, содержащее загрузочную камеру, корпус, винт, матрицу с формующими отверстиями. Угол скоса изготовлен около $15,6$ градуса в направлении прессуемого материала (угол защемления). Длина фильеры изготовлена в 3 раза больше, чем диаметр фильеры. Данное устройство является наиболее близким по технической сущности и достигаемому

результату (предварительный патент КЗ, №16535, 15.12.2005 бюллетень №12 – 7с, МПК А 23 N 17/00). (Прототип) [18].

Недостатком этого устройства является то, что получение технического результата повышение производительности процесса экструзии и улучшение качества продукции – достигается установкой в технологический процесс экструзии конструкции фильеры, с внутренней поверхностью, изготовленной в виде одной ступенчатой усеченной конусовидной поверхности, расположенной под углом 45° к оси и сопряженной с выходной цилиндрической поверхностью.

Задачей настоящего изобретения является повышение производительности, снижение энергозатрат процесса экструдирования путем совершенствования конструкции экструдера.

Указанная задача решается тем, что в известном устройстве, включающем загрузочную камеру, винт, корпус, фильеру; согласно предполагаемого изобретения конструкция внутренней поверхности фильеры выполнена в виде ступенчатых последовательных усеченных конусовидных поверхностей, образующие которых расположены соответственно под углом 60°, 45°, 8-12° к оси по направлению прессуемого материала, при этом последняя внутренняя конусовидная поверхность сопряжена с выходной цилиндрической поверхностью. Кроме того винт изготавливается двухзаходным.

При движении материала по винтовому конвейеру производительность его прямо пропорциональна коэффициенту проскальзывания материала (η), числу заходов винта (i). Поэтому повышение производительности возможно при повышении коэффициента проскальзывания материала, числа заходов винта применительно к устройству, работающему в изотермических условиях (Груздев И.Э. Теория шнековых устройств – с. 55, форм. 2. 69) [10]:

$$Q = q_x \cdot q_{\max} \cdot \eta \cdot v_0 \cdot h \cdot s \cdot i, \text{ кг/час} \quad (108)$$

где $q_x \cdot q_{\max}$ - коэффициенты расхода материала;

η – коэффициент проскальзывания материала;

v_0 - скорость перемещения материала;

h – глубина канала, s – ширина канала;

i – число заходов винта.

Для названного устройства «Экструдер для переработки кормосмеси» коэффициент проскальзывания повышается за счет новой конструкции фильеры со ступенчатыми переходными поверхностями и одним выходным отверстием ($\eta > 1$), число заходов (i) соответствует двум.

Движение корма в экструдере носит псевдопластический характер (неньютоновский характер), описывающийся уравнением Оствальда-де Виля. При исследовании течения вязкопластических материалов в каналах различной формы обнаружена возможность их движения с проскальзыванием по контактными поверхностям. Эта гипотеза получила подтверждение при экспериментальных исследованиях процесса экструдирования комбикормов

(Штеренлихт Д.В. Гидравлика. – с. 218, Карташов Л.П. Моделирование экструдеров – с.12) [18,19].

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство экструдирования кормосмесей отличается простотой, надежностью, низкой себестоимостью.

На фигуре 1 (рисунок 39) приведен общий вид устройства для экструдирования кормосмеси, на фигуре 2 вид А, фигуре 3 вид Б конструктивные отличия от прототипа.

Устройство для экструдирования кормосмеси (рисунок 39) работает следующим образом.

Материал подается в загрузочную камеру, захватывается винтом, который вращаясь, перемещает кормосмесь к фильере, при перемещении кормосмеси за счет трения о стенку корпуса увеличивается давление на перерабатываемую кормосмесь, что приводит к её пластификации. Фильера, изготовленная со ступенчатыми внутренними поверхностями, обеспечивает захват пластифицированного материала и его продавливание. В процессе экструдирования происходит разрушение структуры, создаются компоненты с повышенным содержанием декстринов и общих сахаров, повышающих усваиваемость экструдата животными, исключается микробиологическая обсемененность, болезнетворные бактерии и грибки гибнут или подавляются до приемлемых условий под воздействием температур. Использование предлагаемого экструдера позволяет снизить энергозатраты, повысить производительность на 30 процентов в сравнении с прототипом.

Задачей настоящего изобретения является повышение производительности, снижение энергозатрат процесса экструдирования путем совершенствования конструкции фильеры.

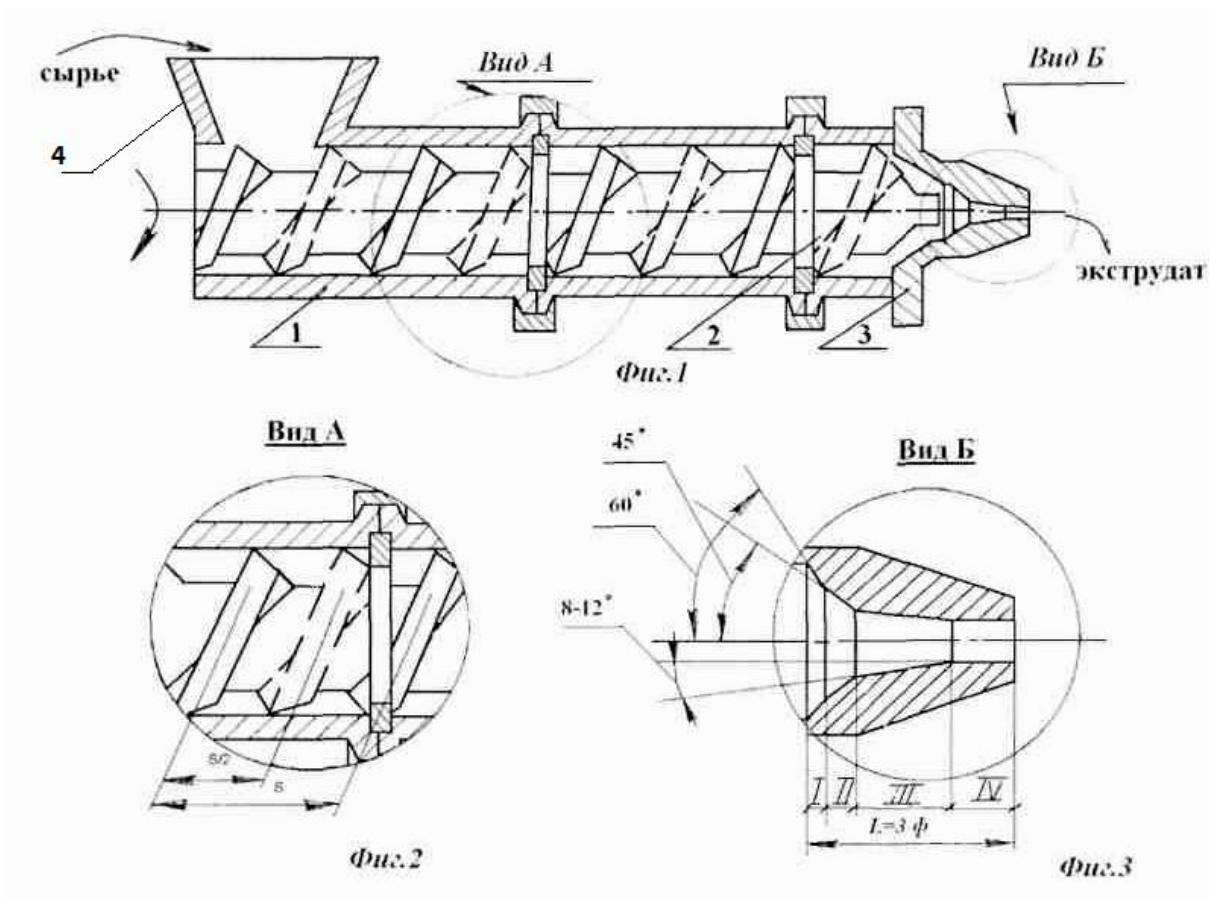
Указанная задача решается тем, что в известном устройстве, включающем загрузочную камеру, винт, корпус, фильеру; согласно предполагаемого изобретения конструкция внутренней поверхности фильеры выполнена в виде ступенчатых последовательных усеченных конусовидных поверхностей, образующие которых расположены соответственно под углом 60° , 45° , $8-12^{\circ}$ к оси по направлению пресуемого материала, при этом выходное отверстие будет иметь скос под углом 45° .

Устройство для экструдирования кормосмеси (рисунок 40) состоит из загрузочной камеры 4, винта 2, корпуса 1, фильеры 3, греющих шайб и работает следующим образом.

Материал подается в загрузочную камеру 4, захватывается винтом 2, который, вращаясь, перемещает кормосмесь к фильере 3, при перемещении кормосмеси за счет трения о стенку корпуса увеличивается давление на перерабатываемую кормосмесь, что приводит к её пластификации. Фильера 3, изготовленная со скосом под углом 45° в выходном отверстии обеспечивает снижение пригорания экструдата и увеличение производительности.

Использование предлагаемого экструдера позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с прототипом.

Так как разработанная конструктивно-технологическая схема матрицы имеет ряд особенностей, то необходимо провести теоретические исследования с целью обоснования основных параметров, и экспериментальные исследования устройства, разработанного на основании результатов аналитических исследований с целью определения оптимальных и рациональных конструктивно-режимных параметров.



1-корпус; 2-винт; 3-фильтра; 4 загрузочная камера;

а) общий вид устройства для экструдирования кормосмеси

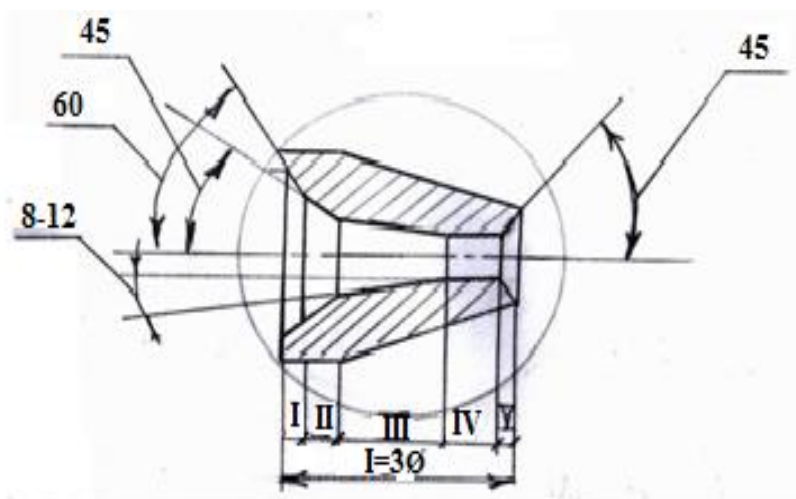
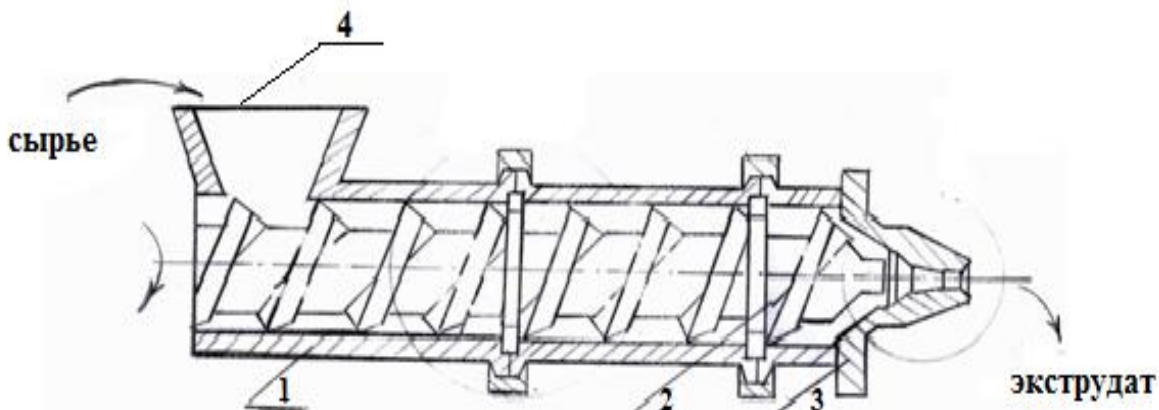
б) конструктивно технологическая схема матрицы экструдера

Рисунок 39 – Конструктивно - технологическая схема матрицы экструдера

На основании анализа структурной функциональной схемы экструдера с матрицей, компенсирующей скачки давления, можно сказать, что основными оценочными критериями работы являются (рисунок 41): u_1 , u_2 , u_3 - производительность устройства, неравномерность давления экструдирования и энергоёмкость экструдирования.

Ад - устройство для дозирования корма, поступающего на пресс; Апрес - прессовальное устройство экструдера; Ав - фильерное устройство матрицы пресса; f_1 , f_1 , f_2 , f_3 - обобщенные статические показатели, характеризующие гранулометрический состав кормов, поступающих на дозирование, на пресс, в зонах сжатия и гомогенизации, на выходе из экструдера, их физико-механические свойства; X_1 , X_2 , X'_2 , X''_2 , X_3 - обобщенные

значения внутренних (соответственно) дозирующего устройства, зоны подпрессовки пресса, сжатия материала и его гомогенизации, матрицы; U_1, U_2, U_3 - обобщенные значения результирующих факторов: производительности устройств, мощности привода, энергоёмкости процесса, показателей улучшения качества корма



- 1-корпус; 2-винт; 3-фльера; 4 загрузочная камера;
 а) общий вид устройства для экструдирования кормосмеси
 б) конструктивно технологическая схема матрицы экструдера

Рисунок 40 – Общая схема

Основными внешними воздействиями (входными факторами), оказывающими влияние на работу матрицы, являются обобщённые статистические показатели $f_1, f_2 \dots f_i$ (рисунок 41) характеризующие физико-механические свойства экструдата (плотность, вязкость, состав корма), а также условия «диктуемые» экструдером (давление, развиваемое шнеком, его неравномерность, температура при экструдировании) [10].

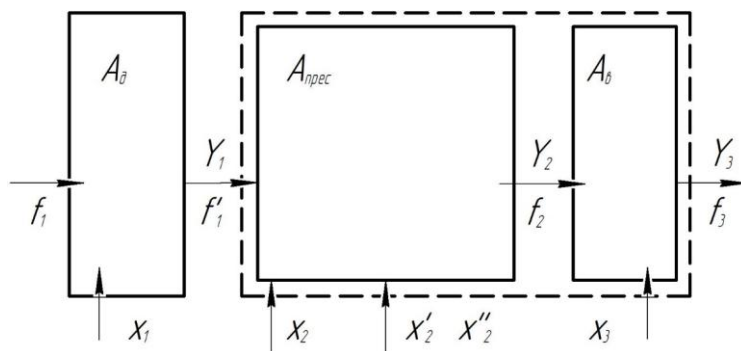


Рисунок 41- Структурная схема функционирования экструдера

На значения оценочных критериев оказывают влияние внутренние факторы, обусловленные внутренней структурой и конструктивно-режимными параметрами экструдера. При этом основной задачей является определение оптимальных, либо рациональных значений обобщённых параметров устройства X_{cb} , с целью доведения показателя y_3 до оптимального, а при невозможности-до рационального уровня.

Теоретический анализ показателей работы матрицы позволяет получить на основе аналитических выражений и схемы последовательности выполнения расчётов математическую модель (рисунок 41), а экспериментально полученная техническая характеристика экструдера с разработанной матрицей определит рациональные её параметры.

Аналитические исследования матрицы экструдера предусматривают определение производительности и энергоёмкости экструдирования в зависимости от физико-механических свойств корма и конструктивно - режимных параметров.

Экспериментальная проверка теоретических расчётных данных позволяет при наличии их сходимости с опытными значениями расширить применение получаемых расчётным путём данных для обоснования интервалов и их уровней варьирования при экспериментальном изучении процессов и отыскании рациональных значений, сократив количество проводимых опытов.

В результате обзорного анализа литературных источников и априорного определения перечня показателей, влияющих на конкретный технологический процесс, были определены интервалы и уровни варьирования независимых факторов, а также перечень критериев оценки работы устройства.

Проведение поисковых опытов позволило сравнить сходимость теоретических и опытных данных и уточнить аналитическое описание процесса и полученные математические модели, определиться окончательно с зоной проведения экспериментальных исследований.

Структура экспериментальных исследований соответствует общей функциональной схеме технологического процесса экструдирования и представляет собой комбинацию и сочетание проведения факторного анализа и теории однофакторного планирования (рисунок 42).

После подтверждения соблюдения технологических требований при экструдировании определяется техническая характеристика модернизированного экструдера, а также производственная проверка его работоспособности. Полученные показатели работы используемой машины применяются для выявления ее технико-экономической характеристики.

2.8 Исследования параметров экструдера

И.Э. Груздевым получено уравнение (см. формулу 108) для расчёта производительности дозирующей зоны экструдера при изотермических условиях течения аномально вязкой жидкости со сложным сдвигом. Характерной особенностью течения степенной жидкости в условиях сложного сдвига является более слабая зависимость максимального расхода продукта от аномалии вязкости [10].

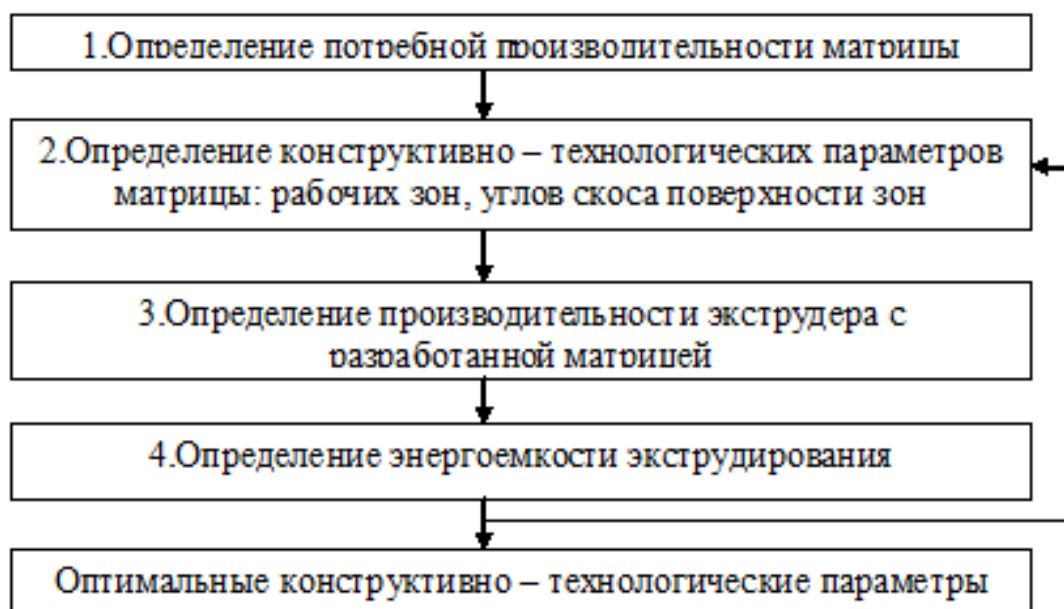


Рисунок 42 – Структурная схема последовательности расчетов

Глухов М. А. в своей работе указывает, что качество экструдата и производительность экструзионной машины в значительной степени определяются режимом работы дозирующей зоны, а лучшие условия для формования продукта с требуемой формой достигаются в матрице с сужающимся каналом благодаря тому, что значение скорости движения расплава вдоль кольцевой щели имеет точку перегиба, в которой, и происходят изменения в структуре получаемого продукта [19].

Существует прямая взаимосвязь между создаваемым давлением внутри экструдера и расходом через насадку с фильерами, такая задача часто встречается в инженерной практике. Оптимизация параметров насадки дает

возможность повысить производительность и снизить энергоёмкость процесса экструдирования при сохранении оптимального давления.

Производительность выходной головки для экструзивного расплава зерновых можно вычислить по формуле

$$Q = \frac{K\Delta p}{\mu} \quad (109)$$

где Q - объёмный расход, мм³/с;

Δp - перепад давления по длине канала, Па;

μ - динамическая вязкость, Па*с;

K — коэффициент геометрической формы канала или коэффициент сопротивления матрицы, мм³.

Коэффициент сопротивления K характеризует геометрическую форму конструктивного решения матрицы. Общий коэффициент геометрической формы для всей головки можно рассчитать как сумму сопротивлений отдельных участков прохода сложного профиля, исходя из уравнения

$$K_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_n}}, \quad (110)$$

где $K_{общ}$ - коэффициент сопротивление всей формирующей головки, мм³;

$K_1, K_2 \dots K_n$ -коэффициенты сопротивления каждого отдельного участка головки, мм³;

n -число участков.

Теоретические исследования А.А.Петрова посвящены термодинамической обработке комбикормов в экспандере. Эти исследования позволили отметить перспективным применение экструзионной техники, сравнить экструдер и экспандер по технологическим параметрам работы (влажности, температуре, давлению, времени обработки, производительности) что позволило оценить достоинства одношнековых экструдеров. Рассмотрена производительность при экструдировании [10]

$$Q = \pi R_\phi (P_u - P_{атм}) \frac{P_u Z_\phi}{8\nu I_\phi} \quad (111)$$

где R_ϕ -радиус фильеры, м;

P_u и $P_{атм}$ - соответственно давление в головке и в атмосферное;

Z_ϕ - число фильер матрицы;

I_ϕ – длина канала фильеры, м;

ν – кинематическая вязкость смеси, Па с.

Зубкова Т. М. в своей работе определяла зависимости режимных параметров от конструктивных, при этом экспериментально были определены силы, действующие на матрицу в зависимости от влажности сырья и частоты вращения шнека, а также влияние длины фильеры на производительность экструдера [2].

На основе анализа полученных данных автор работы рекомендует влажность исходного сырья не более 15 – 50%.

2.9 Математическая модель одношнекового экструдера

Формирование математической модели одношнекового экструдера зависит от множества геометрических параметров, в том числе и от параметров фильеры (диаметра, длины, геометрии фильеры). Исходя из поставленных задач исследования, предположили: обрабатываемая кормосмесь в канале корпуса экструдера, в зоне фильер, является вязкопластическим материалом; движение этого материала по рабочим органам осуществляется с проскальзыванием в виде пластической «гайки»; скорость перемещения – выдавливания материала будет зависеть от параметров выходного отверстия, в том числе и от геометрических углов.

Экструдруемый материал проявляет в канале шнека свойства псевдопластического тела, движение которого может быть представлено реологическим степенным уравнением Оствальда—де Вилля, которое при течении в цилиндрическом канале можно записать в виде:

$$\tau = \mu'(y)^n, \quad (112)$$

где y — скорость сдвига прессуемого материала;

τ — напряжение сдвига в прессуемом материале;

n – индекс течения;

μ' – коэффициент консистенции материала.

Рассмотрим течение материала, находящегося в канале матрицы длиной z_m , в цилиндрической системе координат $O\sigma\zeta$ (рисунок 43). Начало координат выбираем в плоскости выходного отверстия. Ось Oz направлена по оси симметрии канала в сторону входного отверстия.

Объемными силами, возникающими при движении материала, пренебрегаем по сравнению с напряжениями, возникающими при прессовании материала.

Требуется определить напряжения, возникающие при установившемся течении в материале.

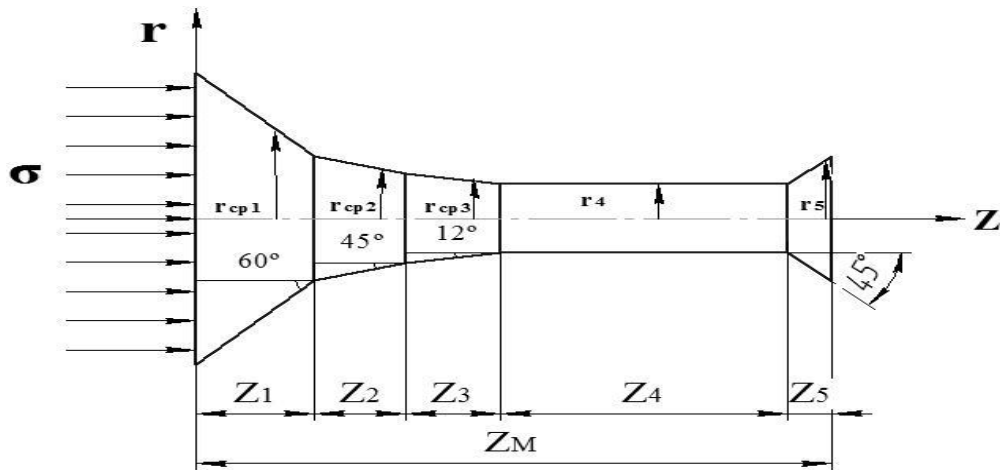


Рисунок 43 - Схема канала фильеры матрицы

При такой постановке задачи уравнения движения материала будут совпадать с дифференциальными уравнениями равновесия:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{zr}}{r} = 0 \end{cases}$$

В своих работах Кутузов А.Г, установил что, при выходе псевдопластической жидкости из насадки экструдера происходит изменение граничных условий от прилипания (течение Пуазейля) до движения со свободной поверхностью.

В результате появляются внутренние напряжения в псевдопластической жидкости. Для данной ситуации трудно получить аналитическое решение и возможно было применить численные методы, но мы экспериментально исследовали явление экструдерного набухания [20].

В верхней части потока псевдопластическая жидкость имеет полностью развитый профиль, затем проходит через выход из экструдера и, в конечном счете, движется без всяких напряжений в нижней части потока. На стенках экструдера выполняется условие прилипания, на свободной поверхности тангенциальные напряжения равны нулю, нормальные напряжения сбалансированы поверхностным натяжением, соблюдается условие непроницаемости.

Основными уравнениями, описывающими установившееся течение псевдопластической жидкости при отсутствии внешних сил, являются уравнения Навье - Стокса и уравнение неразрывности, имеющие следующий вид

$$\Delta V = 0 \quad (113)$$

$$pV - \Delta V = -\Delta V + Vt \quad (114)$$

Из-за резкой смены граничных условий в области выхода из экструдера наблюдаются большие градиенты напряжений и давления, влияющие на процесс формирования струи жидкости на выходе из насадки экструдера. На практике из-за резкого падения давления нередко происходит подгорание корма на выходе из экструдера.

Немало исследователей указывают на значение гранулометрического состава экструдированных продуктов и заполнение зоны загрузки экструдера.

Так в исследованиях А.Л. Мишанина [10] при экструдировании зерновой смеси с размером частиц до 0,26 мм процесс шёл нестабильно, наблюдались резкие пульсации давления. При этом захват продукта в загрузочной зоне происходил неравномерно, что обусловлено преждевременным выделением влаги из продукта при его контакте с нагретым корпусом экструдера и образованием комков продукта.

При использовании для экструзии зерновых смесей с размерами частиц от 0,26 до 0,32 и от 0,32 до 0,63 мм процесс шёл стабильно. Захват продукта его транспортирование, последующее сжатие и формирование происходит стабильно при малых пульсациях давления расплава продукта.

При экструдировании зерновой смеси с размером частиц от 0,63 до 1,25 мм процесс экструзии происходил стабильно при малых пульсациях давления. Коэффициент расширения при данных условиях обработки составлял от 1,1 до 1,3 м/м. Однако пористость полученного продукта была неравномерной, и наблюдалось наличие крупинки, не перешедшие в расплав, что можно объяснить недостаточной интенсивностью подвода теплоты, полученной в результате сдвиговых усилий от вращающихся шнеков экструдера.

Использование крупы с размером частиц от 1,25 до 2,50 мм приводило к неустойчивому процессу экструзии. Для данного гранулометрического состава характерно неравномерность загрузки.

Данная проблема более подробно рассматривалась в работе Успенского В.В. [20]. Для снижения пульсаций давления в предматричной зоне, он предлагает выравнивать плотность продукта, поступающего в экструдер предварительно поджав его.

Таким образом, имеющиеся модели формирующих зон экструдеров позволяют получить с определённой степенью приближенное математическое описание процесса экструзии и рассчитать его основные характеристики, что является достаточным для решения некоторых задач оптимизации работы этой зоны экструдеров. Однако поведение расплава экструдата в предматричной зоне экструдера, имеющей динамические конструктивные элементы, определение полей скоростей и давлений, определяющих качество готового продукта и производительность экструзионной установки, остается малоизученным [2].

Для материала, находящегося в канале фильеры, можно считать задачу осесимметричной и полагать в уравнениях системы, что напряжения не зависят от координаты φ . Тогда $\sigma_r = \sigma_\varphi = \sigma_z = -\sigma$, поскольку сжимающим напряжениям присваиваем положительные значения, а $\tau_{z\varphi} = \tau_{r\varphi} = 0$, и уравнения равновесия приобретут вид:

$$\begin{cases} -\frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} - \frac{\partial \sigma}{\partial z} + \frac{\tau_{zr}}{r} = 0 \end{cases} \quad (115)$$

Если умножить все члены второго уравнения системы (115) на r , получим, выражение:

$$r \frac{d\sigma}{dz} - \frac{d(r\tau_{zr})}{dr} = 0 \quad (116)$$

которое после интегрирования примет вид:

$$\frac{d\sigma}{dz} \frac{r^2}{2} - r\tau_{zr} + C = 0 \quad (117)$$

Удовлетворяя граничному условию $r = 0$, получаем $C = 0$, и окончательный вид уравнения (117) будет:

$$\tau = \tau_{zr} = \frac{d\sigma}{dz} \frac{r}{2} \quad \text{или} \quad \tau = \tau_{zr} = -\frac{\sigma_1}{z_M} \frac{r}{2} \quad (118)$$

В уравнении (118) учтено, что:

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\sigma_0 - \sigma_1}{z_M} = -\frac{\sigma_1}{z_M} \quad (119)$$

Подставляя (112) в (118) и интегрируя, получаем, удовлетворяя граничным условиям прилипания прессуемого материала к стенке при $r = R$, $v = 0$, окончательно получим

$$v_{cp} = \frac{a_M R^b}{(b)} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^b \right] \quad (120)$$

Среднеобъемная скорость материала в фильере:

$$v_{cp} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R v 2\pi r dr = \frac{a_m R^b}{(b+2)}. \quad (121)$$

Объемный расход через одну фильеру:

$$Q_\phi = v_{cp} \pi R^2 = \frac{a_m \pi R^{b+2}}{(b+2)}. \quad (122)$$

Учет влияния местных сопротивлений на вход и выход из фильеры обычно осуществляют введением эффективной длины фильеры:

$$Z_\phi = Z_m + K_{общ} d_m \quad (123)$$

где d_m — диаметр фильеры.

С учетом (119) и (122) окончательно примет вид:

$$Q_m = M \sigma_1^{b-1}, \quad (124)$$

Экспериментально определенные геометрические углы входного отверстия фильеры (60, 45, 12 градусов) и выходного отверстия фильеры (45 градусов) при диаметре выходного отверстия 20 мм обеспечивают максимальную производительность прессы – экструдера. Следовательно, дальнейшее увеличение параметров углов фильеры отрицательно скажется на эффективности экструдирования и качестве экструдата.

Результаты теоретических исследований зависимостей производительности от угла выходного отверстия фильеры и влажности представлены на рисунках 44 и 45.

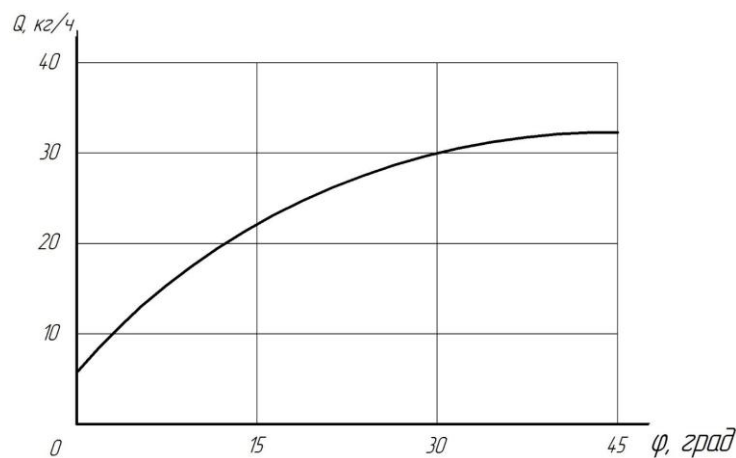


Рисунок 44 – Зависимость производительности от угла выходного отверстия фильеры

Анализ зависимостей показывает, что при увеличении угла выходного отверстия фильеры и влажности кормосмеси, производительность увеличивается.

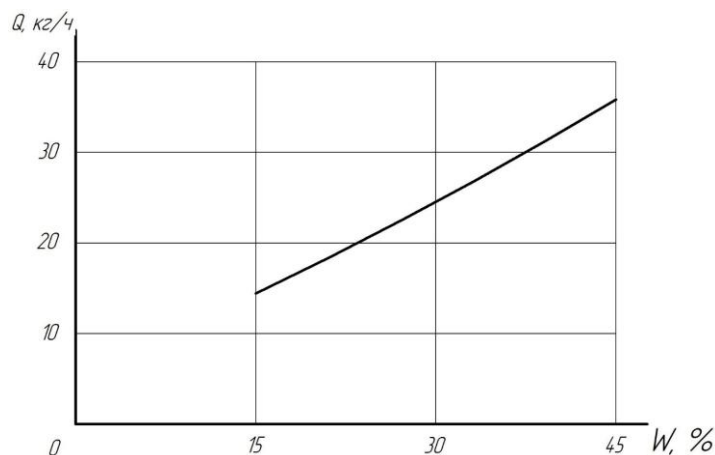


Рисунок 45 – Зависимость производительности от влажности кормосмеси

2.10 Методика инженерного расчета одношнекового экструдера

Расход через кольцевой зазор (м³/с) определили по формуле

$$Q = \frac{\pi D \Delta p \delta^3}{12 \mu} \pm \frac{\vartheta \delta}{2}, \quad (125)$$

где D – внутренний диаметр, м;

Δp – перепад давления, создаваемый экструдером перед матрицей и атмосферным давлением, Па;

δ – зазор между стенками, м;

μ – динамическая вязкость продукта, Па – с;

ϑ – средняя скорость истечения материала из фильеры, м/с.

Расходно - напорная характеристика формующей части (головки) матрицы (м³/с) определяется

$$Q'_{\text{в}} = \frac{K_{\phi}}{\mu} \cdot \Delta p 10^{-9}, \quad (126)$$

где K_{ϕ} – коэффициент геометрии формующего органа (матрицы);

$$\text{или (кг/с)} \quad Q_{\text{в}} = \frac{K_{\phi}}{\mu} \cdot \rho \Delta p 10^{-9}, \quad (127)$$

где ρ – плотность материала в канале фильеры, кг/м³.

Поскольку в зависимости от состава обрабатываемого корма(смеси), вида культуры, ее сорта, влажности температуры и спелости, кинематическая и динамическая вязкость экструдированного продукта меняется, для практического использования введём дополнительный коэффициент K_ϕ , учитывающий вязкость продукта [2].

$$Q_v = K_\phi K_\epsilon \rho \Delta p 10^{-9}, \quad (128)$$

где K_ϕ - коэффициент, учитывающий вязкость, (Па*с)⁻¹.

Для кольцевого отверстия коэффициент геометрии формующего органа K_ϕ (м³) запишется [10]

$$K_\phi = \frac{(\pi D + h) \cdot (h')^3 \cdot 10^{-9}}{12L_t}, \quad (129)$$

где D – средний диаметр кольцевого отверстия матрицы, $D' = 2R' - h'$, мм;

h' – ширина кольцевого зазора ($h' = R' - r'$);

R' , r' – радиусы сечений отверстий в матрице;

L_t - длина канала фильеры, мм.

Так как в нашем случае канал матрицы имеет переменное сечение, который имеет пять участков, то коэффициент геометрии K_ϕ – формующего органа будет состоять из пяти соответствующих слагаемых

$$\frac{1}{K_\phi} = \frac{1}{K_{\phi 1} + K_{\phi 2} + K_{\phi 3} + K_{\phi 4} + K_{\phi 5}}, \quad (130)$$

где $K_{\phi 1}$ – коэффициент геометрии участка с расширяющимся каналом;

$K_{\phi 2}$ - коэффициент геометрии участка с сужающимся каналом;

$K_{\phi 3}$ - коэффициент геометрии участка с сужающимся каналом;

$K_{\phi 4}$ - коэффициент геометрии участка с постоянным сечением;

$K_{\phi 5}$ - коэффициент геометрии участка с расширяющимся каналом.

Секундная производительность находится из заданной часовой:

$$Q_c = \frac{Q_r}{3600} \quad (131)$$

Затраты мощности на привод экструдера опираются на исследования Груздева И.Э., Мирзоева Р.Г., Янкова В.И. [10] для условий изотермического выдавливания при простом сдвиге:

$$N = B((\eta \cdot v_0)^{2-m} / (\eta v_0 \cdot h^2)(dp/dx)) \cdot (S \cdot i \cdot L / \sin \alpha) \quad (132)$$

где η - вязкость материала, Па·с;

v_0 - линейная скорость, м/с;

$$v_0 = \omega \cdot R \quad (133)$$

где ω - угловая скорость, 1/с;

R – радиус, м;

h – высота зуба, м;

S – шаг витка, м;

i – число заходов;

m – индекс для псевдопластической жидкости;

R – поправочный коэффициент;

B – реологические коэффициенты;

ΔP – перепад давления, Н/м²;

L – длина вала, м;

α - угол подъема витка, град;

dp/dx - градиент давления.

Для расчета потребной мощности на процесс экструдирования достаточно крутящий момент умножить на угловую скорость:

$$N = M\omega \quad (134)$$

ТЕМА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

При исследовании технологических процессов необходимо иметь определенную информацию, которую можно получить, используя экспериментальные и теоретические данные о процессе. Эти данные необходимы как для использования их в качестве исходных данных с наилучшими технико-экономическими показателями, так и для подтверждения целесообразности производства и работы машин и оборудования в реальных условиях.

Во время эксплуатации технологического оборудования информацию можно получать непрерывно или периодического контроля, определенных факторов процесса. Другие же можно измерить непосредственно экспрессным методом (расход электроэнергии, производительность и т.д.). Но для определения других показателей необходимы затраты времени (влажность кормосмеси, размерные и весовые, энергетические показатели кормов и др.). В соответствии с поставленными задачами исследований экспериментальная часть работы состояла из двух разделов: частного и общего (рисунок 4б).

Частная методика предусматривала определение: влажности кормосмеси и качественные показатели экструдирования (таблица 4) по плану реализации эксперимента (таблица 3).

Общая методика определяет сравнительные эксперименты и оптимизационные:

1. В первом разделе предусмотрено проведение экспериментов, сравнивающих работу экструдера с обычной длиной фильеры, и с фильерой, конструкция внутренней поверхности которой выполнена в виде ступенчатых последовательных усеченных конусовидных поверхностей, образующие которых расположены соответственно под углом 60° , 45° , $8-12^{\circ}$ к оси по направлению прессуемого материала, при этом выходное отверстие будет иметь скос под углом $45^{\circ}, 25^{\circ}, 0^{\circ}$

2. Оптимизационные эксперименты позволяют установить влияние комплекса факторов на эксплуатацию экструдера, предназначенного для переработки концентрированного моноорма и определить оптимальные режимы его работы.

3.2 Определение вязкости кормосмеси

Для определения вязкости кормосмеси подготовили смесь дробленого зерна и отрубей соотношением один к четырем и для придания влажности добавляли техническое масло, которое менялось в зависимости от придания необходимой вязкости кормосмеси.



Рисунок 46- Методика проведения экспериментов

Таблица 3 - План реализации эксперимента

№ опыта	x_1	x_2	y
1	-1	-1	
2	+1	-1	
3	-1	+1	
4	+1	+1	
5	0	0	
6	+1	0	
7	-1	0	
8	0	+1	
9	0	-1	

Таблица 4 -Кодировка факторов

Факторы		Код	Значение	Код	Значение	Код	Значение
Угол скоса выходного отверстия фильеры (град)	X ₁	+	45°	0	25°	-	0°
Влажность кормосмеси	X ₂	+	45	0	30	-	15

Массу кормосмеси тщательно перемешивали и помещали в мерный стакан, объемом один литр, затем опускали стальной шар с массой 181,15 г и фиксировали погружение по мерной линии на емкости с помощью секундомера. Погружение шара производили по 6 повторений [1].

Среднее время погружения вычислили по формуле:

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{6}; \quad c \quad (135)$$

Пройденное расстояние шариком за t_{cp} ($s = 0,035$ м по мерному стакану).

Для определения вязкости кормосмеси использовали формулу Стокса:

$$\eta_{cc} = \frac{P_{ш} - P_{кc}}{18V} \cdot d^2 \cdot g; \quad Pa \cdot c \quad (136)$$

где $P_{ш}$ - плотность шара, кг/м³;

$P_{кc}$ - плотность кормосмеси, кг/м³;

V – скорость погружения шара, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

d – диаметр шара, м ($d = 35,73$ мм = 0,003575м).

Расчёт плотности материала шарика ($\rho_{ш}$) осуществили согласно известного определения плотности по формуле:

$$P_{ш} = \frac{m_{ш}}{V_{ш}}; \quad кг/м^3 \quad (137)$$

где $m_{ш}$ - масса шара 0,18115 кг;

$V_{ш}$ - объем шара, м³.

Объем шара определили по формуле:

$$V_{ш} = 0,524 \cdot d^3 = 0,524 \cdot 35,75^3 = 23942 \text{ мм}^3 \quad (138)$$

$$\text{Следовательно: } P_{ш} = \frac{0,18115}{0,000023942} = 7576 \text{ кг/м}^3$$

Плотность кормосмеси определили из соотношения массы кормосмеси в состоянии покоя и к его занимаемому объему мерной емкости, по формуле:

$$P_{к.с} = \frac{m_{к.с.}; \text{кг}}{V_{к.с.}}; \text{кг/м}^3 \quad (139)$$

где $m_{к.с.}$ - масса кормосмеси, кг;

$V_{к.с.}$ - объем кормосмеси, м^3 .

3.3 Методика проведения исследований по определению коэффициента трения кормосмеси

Определение коэффициента трения осуществили через коэффициенты внешнего и внутреннего трения покоя и движения сыпучих, измельченных кормов [21].

Численное значение коэффициентов определили по известным методам с использованием сдвигающих элементов [21].

Для кормосмеси (отруби, зерно) применили стальные кольца, образующие поверхность трения площадью $F=0,00785 \text{ м}^2$ [22].

Корм засыпали в установленные на приборе кольца 2, 3, 8, разравнивали, излишек сняли линейкой по плоскости верхнего кольца. Затем установили грузы 6, изменяющиеся в опытах от 0,5 до 22 кг, включали привод сдвигающего стержня 5. Опыт продолжали до полного сдвига на 0,9 толщины кольца, при определении коэффициента внешнего трения $f_{в}$ и сдвига по поверхности трения 9 на 1 см при определении коэффициента внутреннего трения $f_{н}$. Скорость сдвига в пределах 0,02-0,03 см/с. Перед началом опытов тарировали установку, сдвигая незаполненные кольца по поверхности трения и по поверхности колец. Основа установки корпус 4, накрываемый крышкой 1, 7. Коэффициент трения определили из отношений:

$$\tau = \frac{(p_6 - p)}{F} \quad (140)$$

где p_6 – сопротивление сдвигу образца по поверхности и преодолению внутреннего трения, Н;

p – сопротивление сдвигу колец при тарировке, Н;

F – площадь поверхности трения, м².

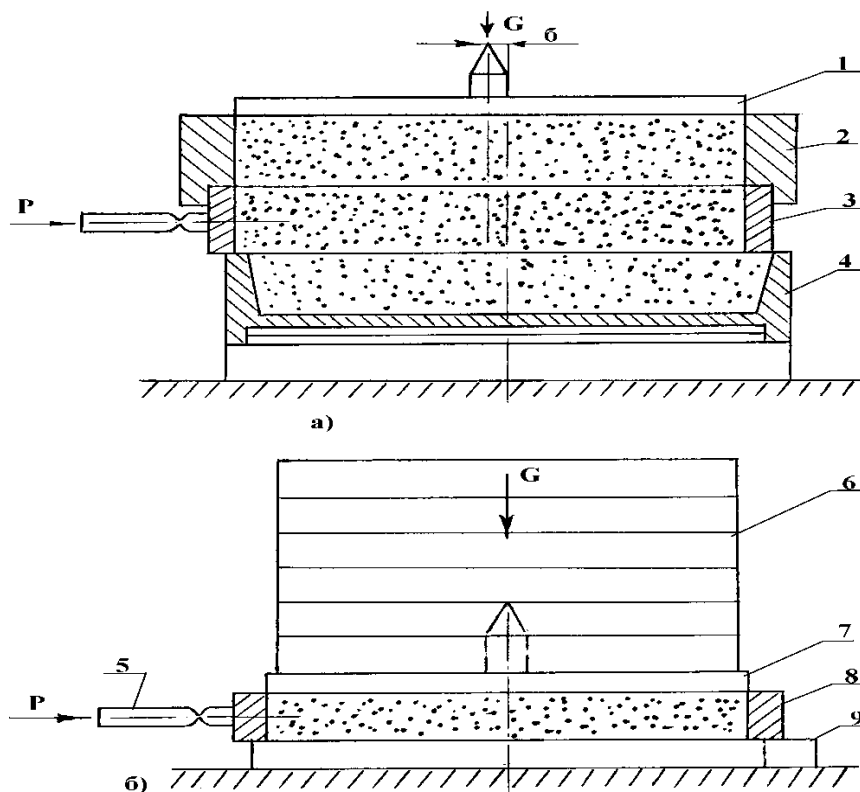


Рисунок 47 - Схема устройства для определения сдвигающих усилий

3.4 Методика определения качества экструдата

3.4.1 Определение содержания декстринов в корме

Синевато – зеленое окрашивание с декстринами и сахарами дает антроповый реактив, практически одной и той же оптической плотности. Это позволяет использовать при определении калибровочную кривую, составленную по глюкозе.

В пробирке с притертыми пробками вносили 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 мл стандартного раствора глюкозы, приливали соответственно 1,75; 1,50; 1,25; 1,00; 0,75 мл воды, получали концентрацию глюкозы, равную 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 мг/мл. Затем в каждую пробирку добавляли по 3 мл антропового реактива, закрывали пробирки пробками и энергично встряхивали. После этого пробирки ставили в водяную баню с температурой 90⁰С на 7 мин, после чего пробирки охлаждали и измеряли на фотоэлектрокалориметре с длиной волны

610 мм против контрольной пробы. Для контрольной пробы применяли две пробирки и приливали к ним по 2 мл воды и 3 мл антропового реактива.

Затем готовили образец корма 3 г, тщательно измельчали и помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, добавляли 70-75 мл воды, предварительно подогретой до температуры 70-75⁰С, перемешивали и ставили на кипящую водяную баню на 60 мин, через каждые 20 мин перемешивая содержимое колбы. По истечении времени колбу охлаждали, объем доводили до метки и перемешивали.

Для определения декстринов. В мерную колбу вместимостью 50мл вносили 1 мл вытяжки, приливали 25 мл воды, по 2 мл 15%-ного раствора желтой кровяной соли и 23%-ного раствора уксуснокислого цинка, доводили объем до метки, перемешивали и фильтровали через складчатый бумажный фильтр в коническую колбу. В пробирку с притертой пробкой вносили 0,5-1 мл фильтрата, добавляли соответственно 1,5-1 мл воды, 3 мл антропового реактива, перемешивали и ставили на водяную баню с температурой 90⁰С на 7 мин. По истечении этого времени пробирку охлаждали и проводили колориметрирование.

Содержание декстринов (x, %) рассчитывали по формуле (141):

$$x = \frac{C \cdot V \cdot V_2 \cdot 100}{H \cdot V_1 \cdot V_3 \cdot 100}, \quad (141)$$

где C – количество декстринов, найденное по калибровочной кривой, мг;

V – первоначальный объем экстракта (100 мл);

V_1 – количество экстракта, взятое на разведение (1 мл);

V_2 – конечное разведение (50 мл);

V_3 – количество фильтрата, взятое на цветную реакцию (0,5-1 мл), мл;

H – масса навески, г.

3.4.2 Определение крошимости экструдата

За показатель крошимости гранул принимают разность между первоначальной массой гранул и массой гранул после испытания, выраженную в процентах. Качество гранул, полученных с помощью одношнековых экструдеров, характеризуется крошимостью и степенью гомогенизации материала [23].

Для определения испытания гранул на крошимость применяли лабораторную установку марки ППГ-2 и весы лабораторные технические. Пробу корма массой 2-3 кг отбирали после выхода из фильеры и ее охлаждения.

Не менее чем через 30 мин с момента отбора пробы ее освобождали от крошки на просеивателе, смонтированном в лабораторную установку ППГ-2. для этого в просеиватель устанавливали сито с отверстиями диаметром, равным

0,75 диаметра испытываемых гранул.

Просеиватель приводили в движение нажатием кнопки «пуск» на левом пульте управления установки. Отсев проводим в течение 1 мин, после чего просеиватель автоматически выключается. Оставшаяся на сите часть гранул – проба корма, готовая к поведению испытания на крошимость.

Из приготовленной пробы выделяли три навески массой по 500 г каждая и помещали их в камеры истирателя установки ППГ-2, которую плотно закрывали специальными крышками. Истиратель приводили во вращение. Испытания продолжали 10 мин, после чего истиратель автоматически останавливается. Одну из камер истирателя открывали и содержимое высыпали на то же сито просеивателя.

По окончании просеивания гранулы ссыпали в специальный сборник, для чего ситовую рамку поворачивали с помощью рычага относительно оси на угол 17° . Крошку, прошедшую через сито, собирали в другой сборник. Сборник с просеянными гранулами выдвигали из корпуса лабораторной установки и взвешивали с точностью до 0,5 г. Затем сборник освобождали и по направляющим задвигали в корпус установки. В такой же последовательности проводили операции с навесками двух других камер. При параллельных определяемых в одном и том же образце допускаются абсолютные расхождения не более 1%, при контрольном и арбитражном анализе – не более 1,5%.

Крошимость гранул определяли по формуле (142):

$$I = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (142)$$

где M_1 – масса гранул до испытания (число постоянное, $M_1 = 500$ г);

M_2 – масса гранул после испытания (истирания и просеивания), г.

3.4.3 Определение влажности кормосмеси

Для измерения влажности зерновых культур (пшеницы, ржи, ячменя, овса, проса, гречихи, гороха, кукурузы, риса) и масличных культур (рапса, подсолнечника) применяли влагомер зерна Фауна - М. Представляет собой микропроцессорный прибор, предназначенный в полевых условиях при уборке, при послеуборочной обработке и сушке зерна на токах, при размещении зерна в хранилищах, а также при переработке на предприятиях, где необходим экспресс-анализ влажности непосредственно на месте отбора проб.

Влагомер Фауна - М может применяться для измерения влажности других культур и сыпучих веществ при их дополнительной (индивидуальной) градуировке, разработке и аттестации методик выполнения измерений (МВИ).

Измерение влажности. Нажать кнопку включения на одну - две секунды.

На дисплее кратковременно отобразится состояние батареи и режим измерения влажности, а затем в верхней строке - название зерна (крупы) или надпись «Шкале УЕ», а в нижней - надпись «Выбор культуры».



Рисунок 48- Влагомер зерна Фауна - М

Последовательными кратковременными нажатиями кнопки устанавливали название необходимого для контроля зерна (крупы). Через 3с влагомер автоматически переходит в режим измерения влажности.

Кормосмесь без уплотнения засыпали совком в измерительную камеру до краев, допускается засыпать "с горкой".

Нажимаем кнопку включения на одну - две секунды и прибор переходит в режим «Измерение влажности». На дисплее высвечивается название установленного зерна (крупы) и результат измерения влажности в цифровом виде. Через 5с влагомер автоматически выключается.

Высыпали кормосмесь из измерительной камеры. Для уточнения результата, процедуру измерения повторяли трижды и вычислили среднее значение.

Таблица 5 - Техническая характеристика влагомера зерна Фауна - М.

Диапазон измерений влажности	от 9 до 30 %.
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности	
в диапазоне	до 17 % - 1,0 %
в диапазоне	свыше 17 % - 2,0 %
Интервал рабочих температур от	+5 до +40 °С
Время единичного измерения	не более 15 сек
Емкость измерительной камеры	не более 300 мл
Электропитание батарея	9 В
Масса	не более 330 г
Габариты	191x104x56 мм

3.4.4 Методика определения содержания крахмала

Для определения крахмала необходимо учитывать, насколько этот корм богат водорастворимыми углеводами и жиром. Если жира и водорастворимых углеводов в исследуемом корме много, то вначале его освобождают от этих веществ и затем приступают к анализу. Навеску сухого, хорошо измельченного корма 2-3 г помещали в коническую колбу вместимостью 500 мл, добавляли 1-5 мл холодной дистиллированной воды и тщательно смачивали навеску водой. Затем добавляли в колбу небольшими порциями 150 мл нагретой до кипения дистиллированной воды, каждый раз, хорошо взбалтывая ее содержимое, закрывали колбу пробкой с обратным холодильником. После этого устанавливали колбу с жидкостью для клейстеризации крахмала в кипящую водяную баню в течение 1 часа, часто встряхивая содержимое [2].

Через час колбу снимали с бани и охлаждали до температуры 50-55⁰С, добавляли в нее 0,2-0,3 г диастазы или три – четыре капли глицериновой вытяжки, ставили колбу заново в водяную баню или в термостат и поддерживали в ней температуру в пределах 55-60⁰С. Нагревание необходимо вести до полного осветления раствора, т.е. до полного перехода всего крахмала в мальтозу. Реакцией на йод проверяли окончание гидролитического распада крахмала. Если реакция на йод положительная и жидкость в чашечке посинела, то к раствору прибавляли еще несколько капель диастазы и продолжали нагревание паровой (водяной) бани до полного расщепления крахмала.

По окончании гидролиза раствор фильтровали в мерную колбу вместимостью 500 мл, осадок на фильтре несколько раз промывали горячей водой и доводили содержимое колбы до метки. В отдельную колбу помещали 250 мг хорошо перемешанного отфильтрованного раствора, добавляли туда 25%-ный раствор соляной кислоты и затем нагревали колбу с раствором на водяной бане в течение 3 часов. Мальтоза, полученная из крахмала, под действием соляной кислоты расщеплялась до глюкозы. После этого колбу с раствором охлаждали и нейтрализовали щелочью. По изменению цвета

лакмусовой бумажки, кусочек которой предварительно опускали в колбу, судили о полной реакции.

Нейтрализованный раствор переливали в мерную колбу вместимостью 500 мл, тщательно ополаскивали первую колбу дистиллированной водой и доводили общий объем раствора в колбе до метки.

Для определения глюкозы по Бертрану из раствора использовали 20 мл. Найденное количество глюкозы (в мг) умножали на 25 и получали содержание глюкозы в 500 мл раствора. Но в связи с тем, что использовали для гидролиза мальтозы только 250 мл раствора (а не все 500 мл), то количество глюкозы в растворе увеличиваем вдвое. Умножением количества глюкозы в растворе на 0,9 (отношение наименьшей молекулярной массы крахмала 169,1 к молекулярной массе глюкозы 180,1) находили содержание крахмала по всей навеске.

Содержание крахмала в корме (x , %) вычисляли по формуле (143):

$$x = \frac{v \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 100}{H \cdot 100}, \quad (143)$$

где H – масса навески вещества, г;

v – содержание крахмала в навеске, мг;

0,9 – коэффициент перевода глюкозы в крахмал;

50 – разведение навески.

3.5 Общая методика экспериментальных исследований

3.5.1 Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментальной части был разработан и изготовлен экспериментальный образец экструдера для экструдирования кормовых смесей, схема которого и общий вид представлен на рисунке 49.

Экструдер состоит из станины 1, электродвигателя 2, соединительной муфты 3, питателя 4, ножа 5, решетки с сетками 6, фильеры 7, шайбы 8, шнека - 9, корпуса экструдера 10.

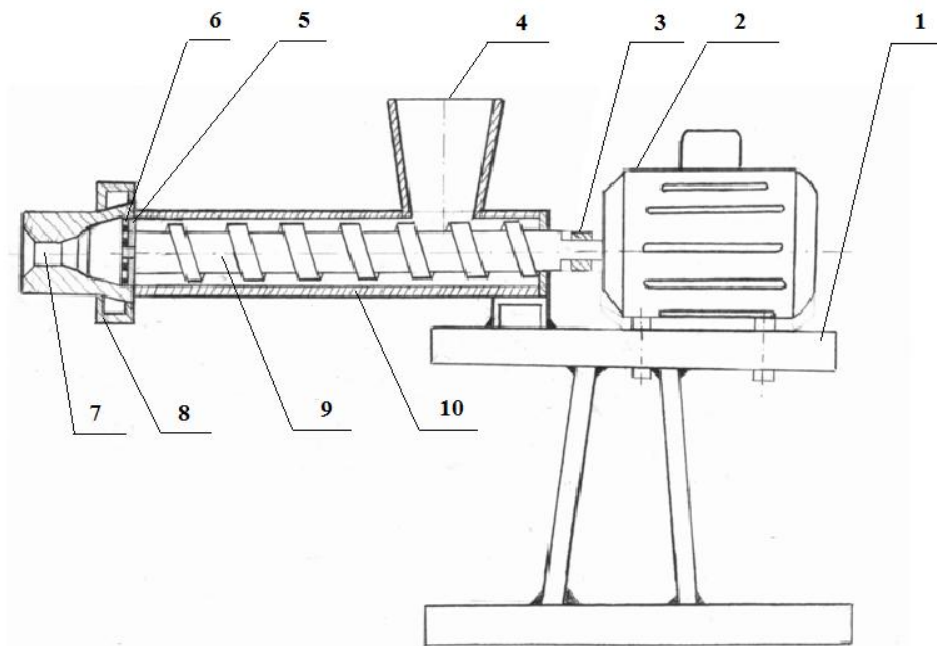
Установка работает следующим образом: подготовленная масса корма подается вручную в загрузочную горловину захватывается шнеком и перемещается к фильере, сжимается, пластифицируется и уплотняется. При этом создаваемое давление в корпусе экструдера выpressовывает экструдат из каналов фильеры. Установка крепится на опоре, привод шнека экструдера осуществляется через соединительную муфту, электродвигатель.

3.5.2 Методика проведения сравнительных экспериментов

На экспериментальном экструдере (рисунок 52) осуществляли сравнительный эксперимент, конструкция которого состоит из станины, на

котором крепится установка; электродвигатель, приводящий устройство в работу; соединительной муфты, питателя для подачи кормосмеси, решетки с сетками и ножом, шайбы, шнека и корпуса устройства.

При проведении эксперимента применяли контрольно - измерительную аппаратуру (рисунок 51). К электродвигателю 1 подключали амперметр 2, вольтметр 3, электронные счетчики параметров силы тока и напряжения 4. Изменения параметров напряжения и силы тока при проведении эксперимента фиксировали приборы с цифровой выходной информацией, для которых показания, как правило, считываются в цифровой форме. Электродвигатель установки трехфазной асинхронный – мощностью 0,5 кВт, КПД – 0,8, $\cos\varphi = 0,8$.



1 – станина, 2– электродвигатель, 3 –соединительная муфта, 4 – питатель, 5 – нож, 6 – решетка с сетками, 7 – фильера, 8 - шайба, 9 – шнек, 10 – корпус экструдера

Рисунок 49 - Схема экспериментальной установки



Рисунок 50 – Фильеры матрицы экструдера

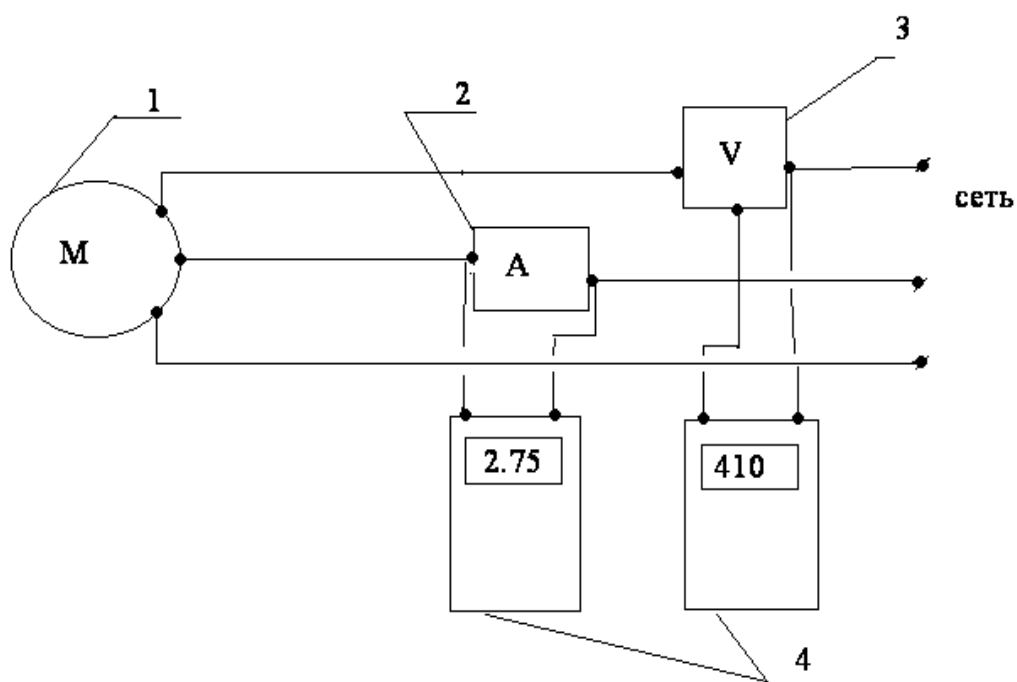


Рисунок 51 - Схема подключения приборов

Мощность необходимую для экструдирования кормосмеси определяли по формуле:

$$N_э = \frac{I \cdot U}{1000} \cdot \eta_{эл}, \text{ кВт} \quad (144)$$

где I – сила тока, потребляемая электродвигателем, А;

U – подаваемое напряжение, В;

$\eta_{эл}$ - коэффициент полезного действия электродвигателя.



Рисунок 52 - Экспериментальная установка

3.6 Результаты сравнения работы малогабаритного пресс – экструдера ПЭ-1 с различными конструкциями шнеков

В данном разделе было описано проведение экспериментов, сравнивающих работу экструдера с различными значениями конструктивных параметров. Конструкция первого шнека в зоне пластификации изготовлена с гладкой поверхностью образующей, при этом происходит недостаточное смешивание кормосмеси в зоне сдавливания и не обеспечивает продавливание экструдата, что способствует его проскальзыванию. В связи с этим изготовлен шнек с выступами треугольной формы которые позволяют частицам корма совершать распределение экструдата, а заостренная вершина дополнительно разрушает большие частицы корма. Наклонные стороны выступа предотвращают возможность забивания шнека. Таким образом, обеспечивается более равномерное распределение экструдата между обрабатываемыми компонентами различной влажности, увеличение значения коэффициента проскальзывания материала и его продавливание.

Исследование процесса экструдирования проведено при двух различных конструкциях шнека (рисунок 53), с разной геометрией шнеков. Один из шнеков снабжен выступами треугольной формы, расположенными по всей длине на прессующей поверхности витка. Геометрические размеры различных конструкций шнеков представлены в таблице 6.



1-конструкция шнека с базовыми параметрами,
2 – конструкция модернизированного шнека

Рисунок 53 – Шнеки экструдера

Таблица 6 - Геометрические параметры шнеков

№ п/п	Наименование параметра	Значение показателя по образцам сравниваемой технологии	
		базовой	новой
1	Шаг шнека, м	0,022	0,022
2	Радиус образующей шнекового канала, м	0,006	0,006
3	Максимальная глубина шнекового канала, м	0,01	0,01
4	Минимальная глубина шнекового канала, м	0,01	0,01
5	Минимальная глубина шнекового канала на торце шнека, м	0,01	0,014
6	Угол конуса стержня шнека, рад	0	0

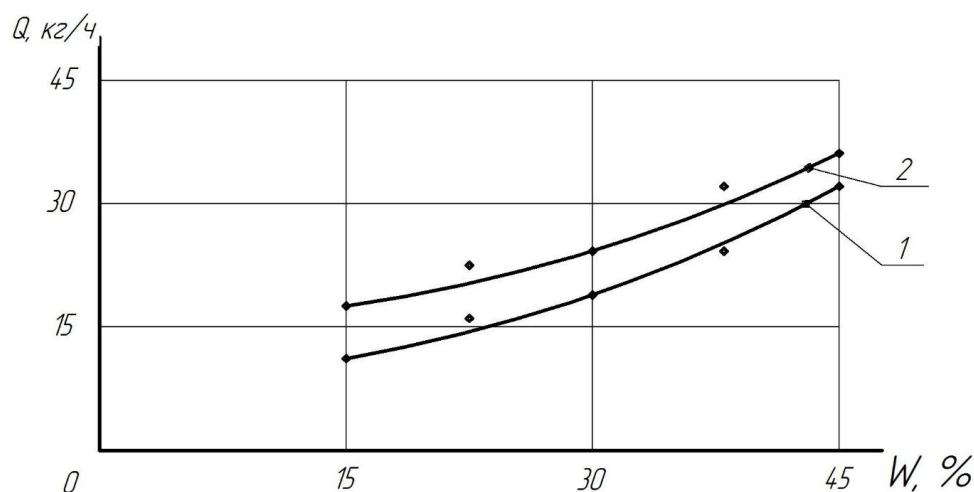
При проведении эксперимента изменяли факторы:

- конструкции шнека с разной геометрией поверхностей (базовый и новый);
- влажность кормосмеси (15%,30%,45%);
- угловая скорость вращения шнека ($w=15$ рад/с, $w=20$ рад/с, $w=23$ рад/с).

Постоянные факторы при проведении эксперимента: соотношение кормосмеси (зерна, отрубей); частота вращения шнека экструдера, масса кормосмеси [22].

Таблица 7 – Результаты сравнения работы экструдера, с разной геометрией шнека (базовый и новый)

Влажность кормосмеси, %	Производительность экструдера с разной геометрией поверхности, кг/ч	
	базовой	новой
15	12,8	16,3
30	20,2	24,7
45	31,5	36,4



- 1 – график экспериментальной зависимости для базовой конструкции шнека,
 2 – график экспериментальной зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 54– Зависимость производительности от влажности материала $W=15\%$, $W=30\%$, $W=45\%$ по данным таблицы 7

Анализируя графики зависимости по рисунку 54, следует отметить что производительность Q для лабораторной установки с новым разработанным шнеком выше (отмечен цифрой 2), чем применение её с базовым шнеком (отмечен цифрой 1).

3.7 Определение оптимальной скорости вращения шнека

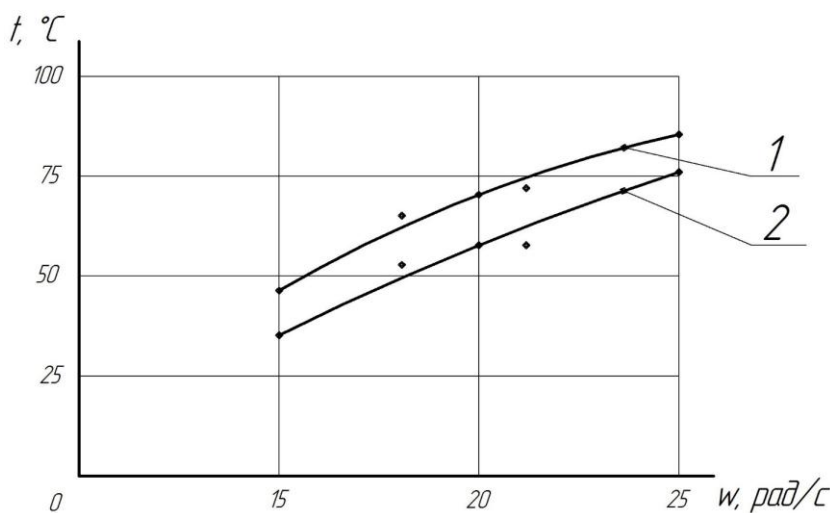
Запуск экструдера осуществляли по следующей схеме. Брали около 500 грамм подготовленной смеси (отруби и зерно) и увлажняли их до относительной влажности 15,30,45 %. Навеску тщательно перемешивали для выравнивания влажности во всем объеме. Увлажненную навеску помещали в смеситель экструдера. Таким образом, добивались разогрева рабочих органов экструдера до заданной температуры 80°C . После чего начинали подачу компонентов смеси в экструдер, требуемой для получения заданного вида продукта [23, 24].

Весь технологический процесс осуществляли в соответствии с технологическими инструкциями по эксплуатации малогабаритного пресс-экструдера ПЭ-1.

Целью данного эксперимента (поискового эксперимента) было определение возможности экструзии предложенных рецептов смесей на данной установке. Кроме того ставилась задача по определению оптимальной скорости вращения шнека (рад/с), при которой материал будет экструдироваться с минимальными удельными энергозатратами.

На данном этапе эксперимента в экструдере был установлен однозаходный шнек с различной геометрией поверхности – базовый и новый.

Влажность кормосмеси изменяли путём добавления воды в кормосмесь, при этом весовое соотношение компонентов: 100гр зерна, 400гр отрубей. Для измерения влажности зерновых культур (пшеницы, ржи, ячменя, овса, проса, гречихи, гороха, кукурузы, риса) и масленичных культур (рапса, подсолнечника) применяли влагомер зерна Фауна - М.



1 – график экспериментальной зависимости для базовой конструкции шнека, 2 – график экспериментальной зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 55 – График зависимости температуры процесса экструдирования от угловой скорости вращения шнека $w=15$ рад/с, $w=20$ рад/с, $w=23$ рад/с

Представляет собой микропроцессорный прибор, предназначенный в полевых условиях при уборке, при послеуборочной обработке и сушке зерна на токах, при размещении зерна в хранилищах, а также при переработке на предприятиях, где необходим экспресс-анализ влажности непосредственно на месте отбора проб.

Подготовленную таким образом смесь экструдировали на указанном выше пресс-экструдере.

При проведении исследований варьировали угловые скорости вращения шнека экструдера в диапазоне: 23, 20 и 15 рад/с, за счет изменения передаточного числа клиноремной передачи.

В ходе эксперимента определялась производительность (Q , кг/ч) экструдера по следующей методике: отбирался образец готового продукта за определенный промежуток времени, после чего его массу взвешивали на технических весах.

На выходе из экструдера получали экспериментальные образцы, которым дана органолептическая оценка их внешнего вида и проведен их прочностной анализ [24].

Проанализировав полученные графики зависимости по рисунку 55 можно отметить, что наиболее оптимальная скорость вращения шнека в лабораторной установки с новой конструкцией шнека при 15 рад/с, поскольку при повышении скорости увеличивается температура, а следовательно, влага из сырья начинает испаряться – происходит осушение смеси в рабочей зоне экструдера, таким образом, многократно увеличивается коэффициент трения материала о стенки экструдера, что приводит к затруднению процесса экструдирования– материал не экструдруется [24].

ТЕМА 4 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты сравнительных экспериментов

В данном разделе было описано проведение экспериментов, сравнивающих работу экструдера с обычной длиной фильеры, и с фильерой конструкция внутренней поверхности которой выполнена в виде ступенчатых последовательных усеченных конусовидных поверхностей, образующие которых расположены соответственно под углом 60° , 45° , $8-12^{\circ}$ к оси по направлению прессуемого материала и выходной зоны, имеющей скос под углом 45° .

При проведении эксперимента изменяли факторы:

- угол скоса выходного отверстия фильеры (0° , 25° , 45°);
- влажность кормосмеси (15%, 30%, 45%).

Постоянные факторы при проведении эксперимента: соотношение кормосмеси (зерна, отрубей); частота вращения шнека экструдера, масса кормосмеси.

Влажность кормосмеси изменяли путём добавления воды в кормосмесь, при этом весовое соотношение компонентов: 100гр зерна, 400гр отрубей. Угол скоса выходного отверстия фильеры изменяли согласно плану эксперимента. В качестве плана эксперимента приняли план реализации двухфакторного эксперимента (см. таблицу 6). Натуральные и кодированные значения факторов приведены в таблице 8. В качестве критерия оптимизации выбрали производительность.

Проведение экспериментов сводилось к следующему. Подготавливали кормосмесь, (соотношение корма в смеси 1:4) проводили взвешивание зерноотходов и отрубей, тщательно их перемешивали, полученную порцию кормосмеси увлажняли водой. Работа установки протекала следующим образом (см. рисунок 49): подготовленная порция кормосмеси вручную подавалась в питатель 4 установки, масса подхватывалась винтом 9 и продвигалась по оси экструдера, к корпусу фильер 7. Созданное давление в корпусе экструдера 10 выдавливало экструдат через отверстия матрицы наружу.

Таблица 8– Результаты сравнения работы экструдера, с фильерой имеющей скос под углом 0° , 25° и 45°

Влажность кормосмеси, %	Производительность, кг/ч		
	0°	25°	45°
15	9,6	11,6	15,1
30	12,7	19,2	23,8
45	23,4	29,4	35,7

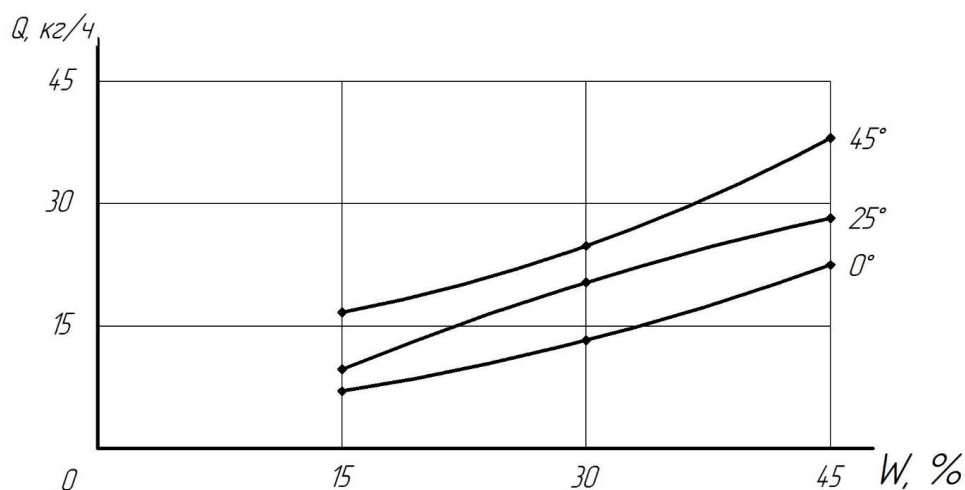


Рисунок 56 – График зависимости производительности от влажности кормосмеси по данным таблицы 6

Привод винта пресса осуществлялся через соединительную муфту 3, электродвигатель 2, для крепления всех узлов установки осуществлён монтаж на станину 1. При проведении экспериментов параллельно осуществляли контроль изменения параметров силы тока и напряжения

По данным таблицы 8 был построен график зависимости производительности от влажности кормосмеси (рисунок 56). На основании проведенных исследований можно сделать вывод, о том, что угол наклона выходного отверстия фильеры и влажность кормосмеси влияют на производительность экструдера. При увеличении влажности кормосмеси и угла выходного отверстия фильеры, производительность увеличивается.

4.2 Результаты сравнения работы малогабаритного пресс – экструдера ПЭ-1 с различными конструкциями шнеков

В данном разделе было описано проведение экспериментов, сравнивающих работу экструдера с различными значениями конструктивных параметров. Результаты экспериментов в таблице 9. Конструкция первого шнека в зоне пластификации изготовлена с увеличивающимся числом витков, при котором происходит недостаточное смешивание кормосмеси в зоне сдавливания и не обеспечивает продавливание экструдата и способствует его прогоранию. В связи с этим изготовлен шнек с выступами треугольной формы которые позволяют частицам корма совершать распределение влажности, а заостренная вершина выступа дополнительно разрушает большие частицы корма. Наклонные стороны выступа предотвращают забивания шнека. Таким образом, обеспечивается более равномерное распределение влаги между обрабатываемыми компонентами различной влажности, увеличение значения коэффициента проскальзывания материала и его продавливание.

При проведении эксперимента изменяли факторы:

- конструкций шнека с разной геометрией поверхностей (базовый и новый);

- влажность кормосмеси (15%,30%,45%).

Постоянные факторы при проведении эксперимента: соотношение кормосмеси (зерна, отрубей); частота вращения шнека экструдера, масса кормосмеси [22].



Рисунок 57 – Конструкции шнеков

Таблица 9 – Результаты сравнения работы экструдера, с разной геометрией шнека (базовый и новый)

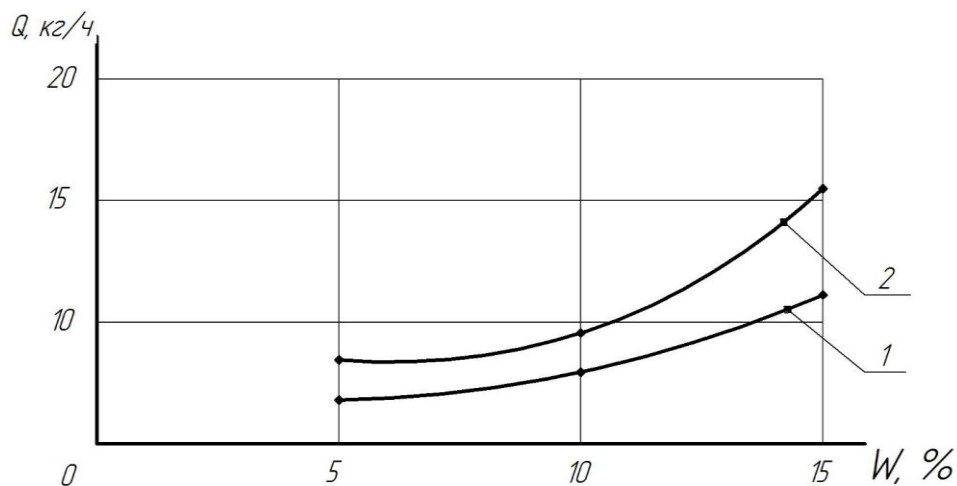
Влажность кормосмеси, %	Производительность экструдера с разной геометрией поверхности, кг/ч	
	базовой	новой
15	12,8	16,3
30	20,2	24,7
45	31,5	36,4

Таблица 10- Геометрические параметры исследованных шнеков

№ п/п	Наименование параметра	Значение показателя по образцам сравниваемой технологии	
		базовой	новой
1	Шаг шнека, м	0,022	0,010 (в зоне пластификации)
2	Радиус образующей шнекового канала, м	0,006	0,006
3	Максимальная глубина шнекового канала, м	0,01	0,01
4	Минимальная глубина шнекового канала, м	0,01	0,01
5	Минимальная глубина шнекового канала на торце шнека, м	0,01	0,014
6	Угол конуса стержня шнека, рад	0	0

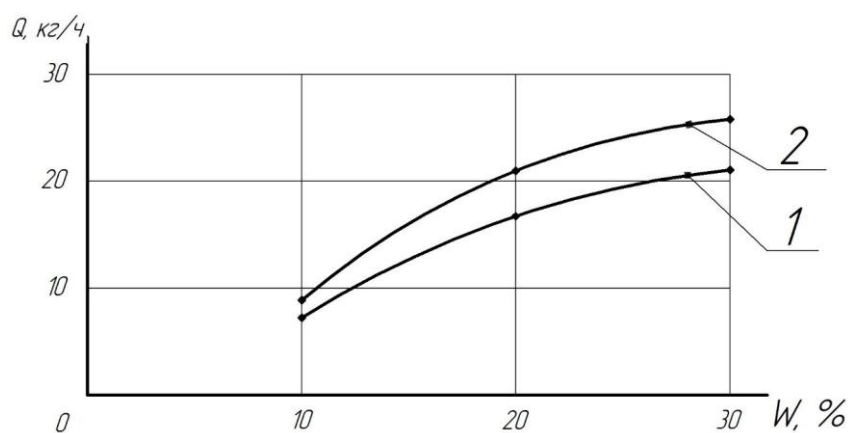
Исследование процесса экструдирования проведено при двух различных конструкциях шнека (рисунок 57), с разной геометрией шнеков. Геометрические размеры различных конструкций шнеков представлены в таблице 10.

Анализируя графики зависимости по рисункам 58-60, следует отметить что производительность Q для лабораторной установки с новым разработанным шнеком выше (отмечен цифрой 2), чем применение её с базовым шнеком (отмечен цифрой 1).



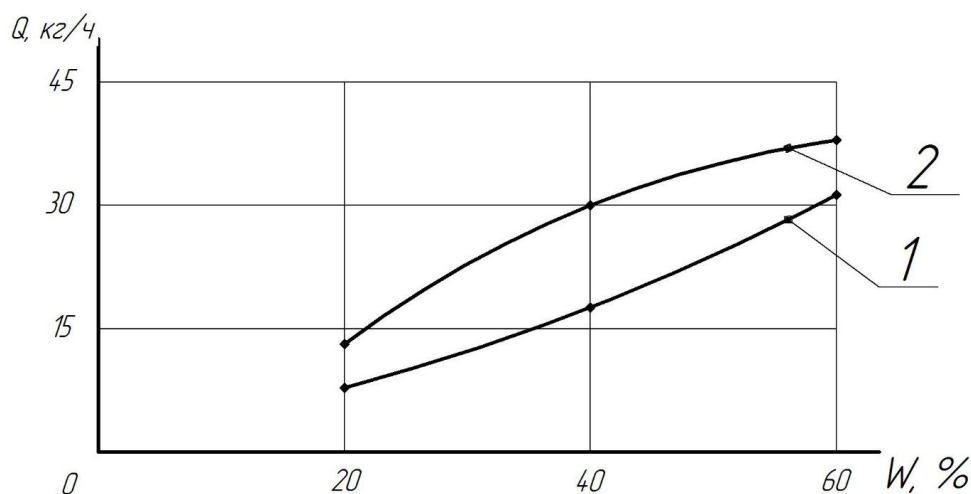
1 – график экспериментальной зависимости для базовой конструкции шнека, 2 – график экспериментальной зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 58– Зависимость производительности при влажности материала $W=15\%$ по данным таблицы 9



1 – график экспериментальной зависимости для базовой конструкции шнека, 2 – график экспериментальной зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 59 – Зависимость производительности при влажности материала $W=30\%$ по данным таблицы 9



1 – график экспериментальной зависимости для базовой конструкции шнека, 2 – график экспериментальной зависимости для новой конструкции шнека

Рисунок 60 – Зависимость производительности при влажности материала $W=45\%$ по данным таблицы 9

4.3 Результаты оптимизационных экспериментов

При обработке результатов оптимизационных экспериментов применяли программу «MathCAD 14», получено уравнение регрессии, описывающее процесс экструдирования кормосмеси в зависимости от факторов (влажности кормосмеси, угла скоса выходного отверстия фильеры):

$$Y = 35,7 - 0,25x_1^2 + 1,9x_2^2 \quad (145)$$

Компьютерные данные расчета коэффициентов уравнения регрессии в приложении. Адекватность уравнения проверена по критерию Фишера [23].

Анализ зависимости производительности от угла скоса выходного отверстия фильеры и влажности кормосмеси при проведении оптимизационных экспериментов показан в изотермической проекции, в исследуемых интервалах варьирования. Характер поведения кривых при угле скоса выходного отверстия фильеры (интервалы варьирования от -1 до +1, то есть при раскодировке значений от 0^0 до 45^0), показывает наибольшее значение производительности в точке +1 (то есть при раскодировке, угол равен 45^0).

Анализ модели представлен на рисунке 61.

Значение производительности при изменении влажности кормосмеси (интервалы варьирования от -1 до +1, то есть при раскодировке от 15 % до 45 %) изменяются по кривой, имеющей максимальное значение в точке +1 (то есть при 45 % влажности кормосмеси)

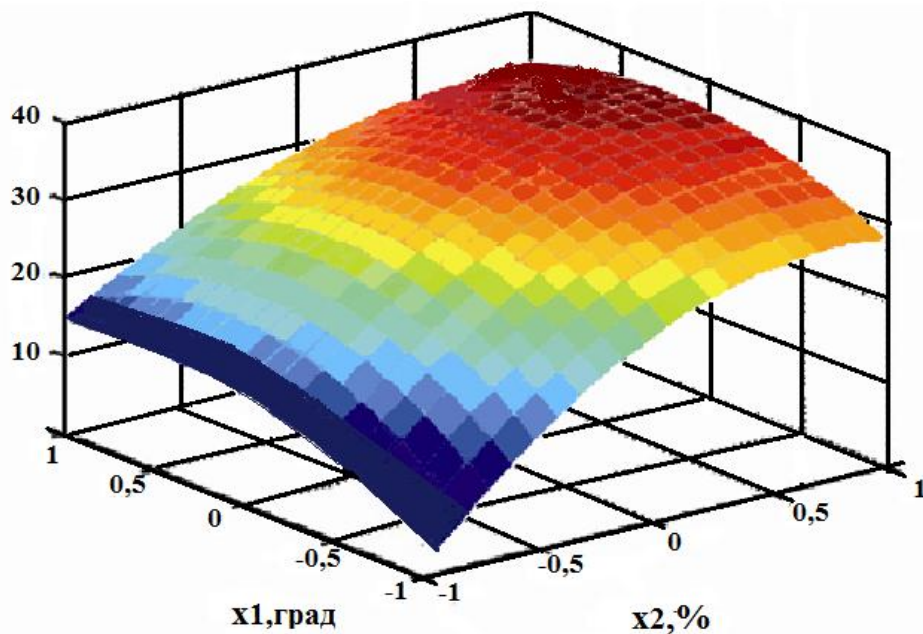


Рисунок 61 – Зависимость производительности от влажности и угла скоса выходного отверстия фильеры

4.4 Результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований сравнены с теоретическими и отражены на графиках (рисунки 62 и 63), построение графиков осуществлено методом графического наложения. Сплошной линией показано изменение производительности при проведении экспериментов, пунктирной линией показано изменение производительности определенной теоретическими исследованиями.

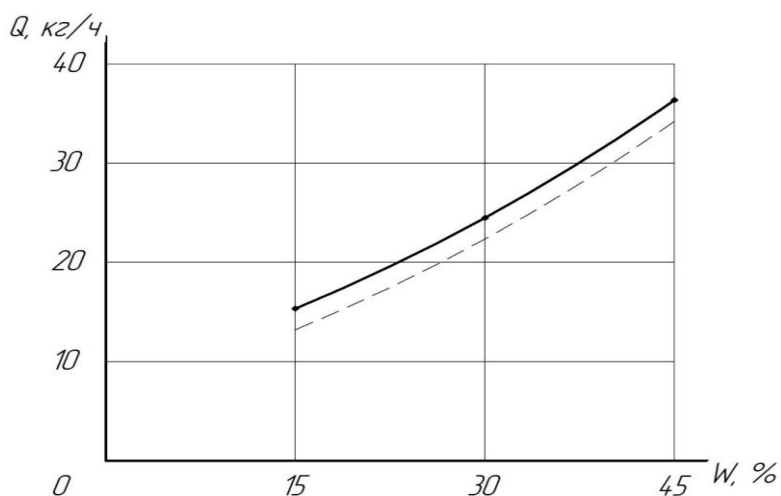


Рисунок 62 - Зависимость производительности от влажности кормосмеси

Из рисунка 62 видно, что при изменении влажности кормосмеси, значения производительности повышаются как теоретически, так и экспериментально, когда влажность кормосмеси имеет большее значение. Расхождение теоретических исследований с экспериментальными исследованиями составляет 11%.

Анализ зависимости производительности от угла скоса выходного отверстия фильеры (рисунок 63), полученный в интервалах варьирования от 0° до 45° позволил сделать вывод о том, что теоретически рассчитываемые значения производительности имеют меньшие значения, чем при проведении экспериментов, при экструдировании кормосмеси максимальное значение производительности достигается при угле скоса выходного отверстия фильеры равном 45°. Расхождение теоретических исследований с экспериментальными исследованиями составляет 9%.

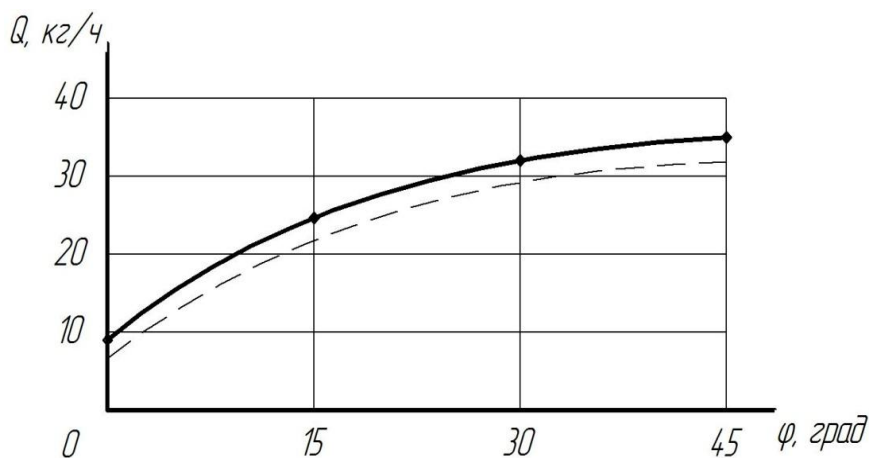


Рисунок 63 - Зависимость производительности от угла скоса выходного отверстия фильеры

4.5 Результаты определения качества экструдата

В третьем разделе определение качества экструдата по формуле 142 был проведен расчет показывающий, что крошимость гранул уменьшилась на 13,1%. По данным расчета был построен график зависимости температуры от крошимости гранул. Данный график зависимости позволил сделать вывод о том, что крошимость гранул напрямую зависит от температуры, то есть при увеличении температуры крошимость гранул уменьшается (рисунок 64).

По формуле 143, третьего раздела определения качества экструдата был проведен расчет, показывающий, что количество декстринов возросло на 30,2%.

$$x = \frac{e \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 100}{H \cdot 100} = \frac{360 \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 100}{500 \cdot 100} = 32,4\% \quad (146)$$

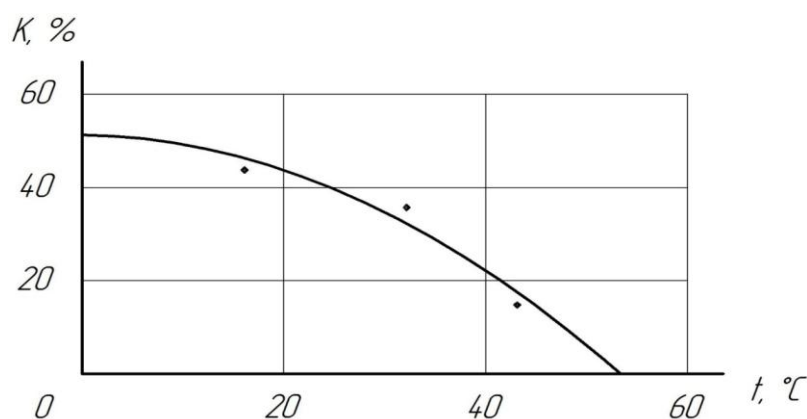


Рисунок 64 – Зависимость крошимости от температуры

Температура процесса соответствовала 50 °С, что соответствует процессу холодной экструзии. Замер проведен термометром ТЛС 2с точностью измерения температуры в диапазоне от -30 до 360 °С в процессе лабораторных исследований, с ценой деления шкалы не менее 0,1 °С.

4.6 Определение коэффициента трения

Для испытуемого образца в составе из зерна и отрубей были получены численные значения коэффициента трения с использованием устройства (см. рисунок 47) и расчетной формулы 38. Полученная графическая зависимость изменения коэффициента трения от влажности кормосмеси показала уменьшение коэффициента трения при увеличении влажности кормосмеси (рисунок 65). Коэффициент трения по графической зависимости и результатам расчетов равен 0,4 при влажности кормосмеси 45%.

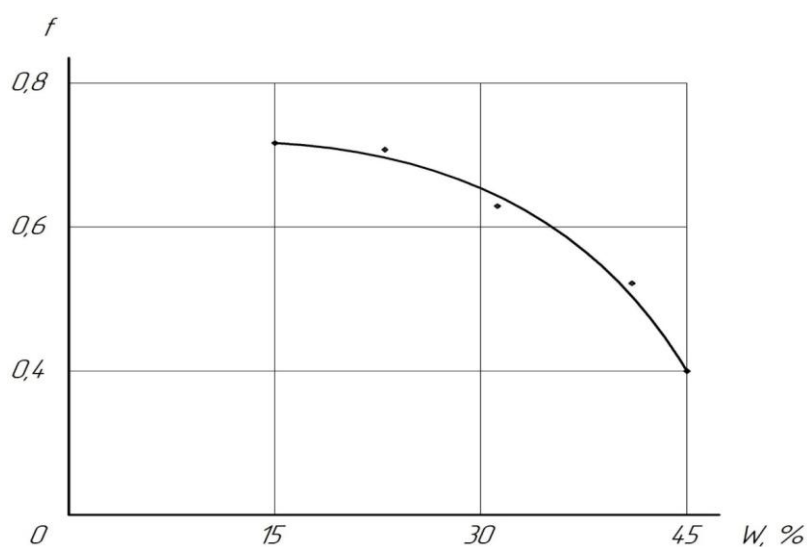


Рисунок 65– График зависимости коэффициента трения от влажности кормосмеси

4.7 Рекомендации производству

На основании проведенных исследований предлагаем внедрение в производство одношнекового экструдера, с учетом следующих пунктов:

- данное устройство можно применить в условиях малого фермерского хозяйства для приготовления кормосмеси для свиней и птиц;
- разработанную конструкцию с имеющимся техническим заданием (эскизами) и результатами исследований конструктивных параметров предложить для дальнейшего производства;
- при использовании в учебном процессе кафедры машин, тракторов и автомобилей осуществлять дальнейшие исследования процесса экструдирования кормовых материалов, конструктивно-технологических параметров одношнекового экструдера.

На сегодняшний день экструдеры являются наиболее востребованными, потому что универсальность этого оборудования позволяет использовать его во многих областях и отраслях производства и переработки различных продуктов, среди них:

- производство экструдированных комбикормов для крупно- и мелко-рогатого скота;
 - производство кормов для собак;
 - производство сухого корма для пушных зверей;
 - переработка зерновых и бобовых культур с охлаждением в струе воздуха (при помощи специальной установки);
 - переработка ржи и сорговых культур;
 - переработка сои;
 - производство органо-минеральных удобрений;
 - переработка биологических отходов методом экструдирования;
 - переработка токсичных отходов кожевенного производства в высокоэффективную белковую добавку;
 - производство рыбной муки;
 - производство супов быстрого приготовления на основе экструдированного гороха;
 - производство заменителя сухого молока из растительных компонентов;
 - производство яичного порошка из растительных компонентов;
 - производство мясокостной муки;
 - переработка отходов от производства спирта и пива;
 - производство гранулированного, экструдированного рыбного коржа плавающего и тонущего (в зависимости от желания заказчика);
 - производство биологического топлива;
 - производство подсолнечного масла;
- и многое другое.

Список использованных источников

- 1 Жушман А.И., Карпов В.Г., Коптелова Е.К. Новое в технике и технологии производства пищевых продуктов экструзионным методом. - М, 1991-210 с.
- 2 Гаврилов Н.В. Обоснование конструктивно-режимных параметров экструдера при переработке кормосмеси. Автореферат дис. к.т.н. - Оренбург, 2005 - 19 с.
- 3 Полищук В.Ю., Коротков В.Г., Зубкова Т.М. Проектирование экструдеров для отраслей АПК. – Екатеринбург, 2003 - 200 с.
- 4 Жушман А.И., Карпов В.Г., Иващенко П.А. Изменение свойств и структуры кукурузных крахмалов и муки при экструзионной обработке - М.: Сахарная пром., 1985. - № 3 - 39-42 с.
- 5 Кадыров Д.А, Гарзанов А.А. Журнал "Птицеводство" №7, 2008 г
- 6 Баканов В.Н., Менькин В.К. Кормление сельскохозяйственных животных. – М.: Агропромиздат, 1989. – 511с.
- 7 Полищук В.Ю., Коротков В.Г., Зубкова Т.М. Проектирование экструдеров для отраслей АПК. Екатеринбург. 2003 – 200с.
- 8 Резник Е.И., Добрянцов Н. К. Переработка грубых кормов. Сельский механизатор. 1983 №2 – с. 20 – 22.
- 9 Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов. - М.: Агропромиздат, 1990 - 336с.
- 10 Желтов Ю.А. Экструдированные гранулы комбикормов при выращивании рыб. Первая международная научно-практическая конференция по экструзионным технологиям в сельском хозяйстве и пищевой промышленности EXTRUTEC 2004.-Черкассы (Украина), 2004г.
- 11 Бойко Л.А. Прогрессивные технологии для производства комбикормов. Комбикорма № 4. Техника и технология. 2005 г. - 23 с.
- 12 Опыт использования экструзионных технологий. Техника и технология. Комбикорма № 7 – 19 с.
- 13 Экструдеры для зерновых и полножирной сои//Комбикорма - 2004 - №3. 27 с.
- 14 Карташов Л.П., Курманов А.К., Данилкин А.П. Повышение эффективности шнекового пресса-экструдера. Техника в сельском хозяйстве. № 2 - 2007 г. -38 с
- 15 Егоров Б.В., Гончаренко В.В., Хоренжий Н.В. Экструдированные комбикорма на основе люцерной резки. Первая международная научно-практическая конференция по экструзионным технологиям в сельском хозяйстве и пищевой промышленности EXTRUTEC 2004.-Черкассы (Украина), 2004 г.
- 16 Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов - М.: Агропромиздат, 1987 - 303 с.
- 17 Дьяконов И.В., Орлов А.Н., Зоткин В.А. Новые технологии обработки зерна. Комбикормовая промышленность. 1988 -№ 4. 28-29 с.
- 18 Опыт использования экструзионных технологий. Техника и

технология. Комбикорма № 7 – 19 с.

19 Мишанин А.С. Повышение эффективности приготовления экструдированного корма с обоснованием параметров матрицы пресс – экструдера. Автореферат диссертации Пенза -2010г.

20 Груздев И.Э. Мирзоев Р.Г., Янков В.И. «Теория шнековых устройств» Издательство Ленинградского университета ,1978г.

21 Карташов Л.П., Зубкова Т.М. Методические материалы по моделированию и оптимизации одношнековых экструдеров. -М – 2004г-12 с.

22 Техника и технология. «Опыт использования экструзионных технологий» Комбикорма - 2005,-№7 – 19 с.

23 Росляков Ю.В. «Технология переработки отходов» Комбикорма - 2005 - №6 – 37 с.

24 Гаврилов Н.В., Курманов А.К., Хасенов У.Б., Гаврилова М.Н. Анализ теоретических исследований по экструзионной обработке материалов. Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК. Оренбург. 2006. №7 - 79 с.

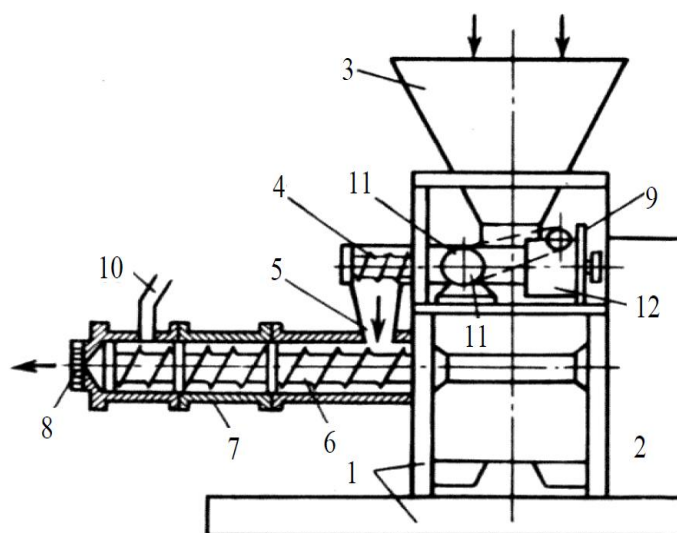
Устройство пресс-экструдеров

Пресс-экструдер ПЭ-КМЗ (рисунок 66) состоит из следующих основных узлов: основания (рамы) 1; основного привода 2; бункера 3; питающего шнека-дозатора 4; приемной камеры 5; нагнетающего шнека 6, помещенного в сборный корпус (цилиндр) 7; матрицы с отрезным ножом 8; привода питающего шнека-дозатора 9; системы управления и контроля.

Рабочим органом пресс-экструдера является прессующий узел, состоящий из нагнетательного шнека, сборного цилиндра и матрицы. Основанием составного нагнетающего шнека является шпилька с левой резьбой, на которой монтируются:

- шнек первой ступени (входной шнек);
- шнек второй ступени (средняя часть);
- шнек третьей ступени (выходная часть);
- греющие шайбы.

Передача вращения от основного вала привода сборному шнеку происходит с помощью шпонок, сборный шнек закрыт корпусами, состоящими из двух половин каждый, и цельным корпусом. Последний присоединяется болтами к несущему корпусу пресса-экструдера. Прямоугольное окно в корпусе служит для крепления лотка, через который смесь поступает из шнека-дозатора в сборный корпус нагнетающего шнека.



1 -основание (рама); 2 -основной привод; 3 -бункер; 4 -питающий шнек-дозатор; 5 -приемная камера; 6 -нагнетающий шнек; 7 -сборный корпус; 8 -матрица; 9 -привод питающего шнека; 10 -термометр; 11 -электродвигатель постоянного тока; 12 -редуктор.

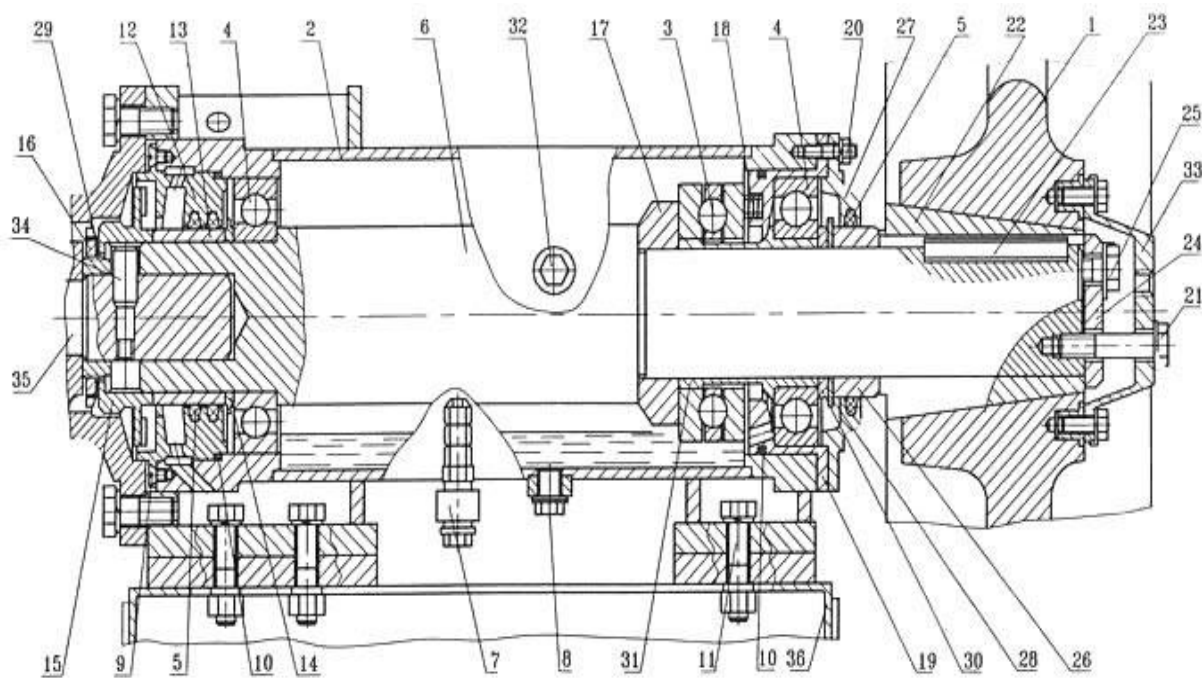
Рисунок 66- Схема устройства пресс-экструдера ПЭ - КМЗ

Разъемные половины корпусов стянуты хомутами и зафиксированы шпонками от проворачивания (на пресс - экструдере КМЗ-2У шпонки не устанавливаются или устанавливаются по просьбе заказчика, в зависимости от типа получаемого продукта).

На внутренних поверхностях корпусов предусмотрены продольные пазы для перемещения смеси вдоль оси шнека. Для уменьшения износа корпусов в местах над греющими шайбами установлены сменные изнашиваемые кольца (три штуки).

На выходном участке шнековой части расположен регулятор - гранулятор (в зависимости от комплектации может быть установлено обычное выходное устройство или маслоотделяющая приставка), состоящий из носового корпуса, регулировочного диска (матрицы) с рукояткой, приводного валика с отрезным ножом, прижимаемым к регулировочному диску пружиной. Вращение приводному валику с ножом передается через поводок и пальцы. Уплотнение по приводному валику торцевое, состоящее из сменных бронзовых деталей: втулки в носовом корпусе и кольца на приводном валике.

Выход экструдата осуществляется по совмещенным отверстиям в носовом корпусе и регулировочном диске. Поворот регулировочного диска изменяет проходное сечение, тем самым регулируя температуру и давление.



1-шків (6284.00.025-3), 2 –ротор (6289.47.100-1), 3,4 –шарикоподшипник, 5 –сальник, 6 –вал (6289.00.013-6.),7 –масломер, 8 –пробка, 9 –винт, 10 –кольцо (180-190-58), 11 –болт, 12 –корпус сальника (6289.47.014-2), 13 –втулка (6289.47.013-3), 14 –шайба (6289.47.015-1), 15 –крыльчатка (6289.47.027-2),16 –гайка (6289.47.032), 17–упорное кольцо (6289.47.004-1), 18 –пружина (6289.47.008), 19 –корпус подшипника (6289.47.001-1) , 20 –гайка, 21 –болт, 22 –втулка (6289.00.111-1), 23 –шпонка, 24 –шайба, 25 –болт, 26 –втулка (6289.47.006),27 –крышка (6289.47.003-1),28 –шайба (6289.47.007), 29 –шайба, 30 –втулка (6289.47.005), 31 –втулка, 32 –пробка, 33 –крышка (6289.00.112),34 –штифт (6289.00.113),35 –шпилька(6289.00.012-12), 36 –рама (6289.00.710-1).

Рисунок 67 - Ротор КМЗ-2У

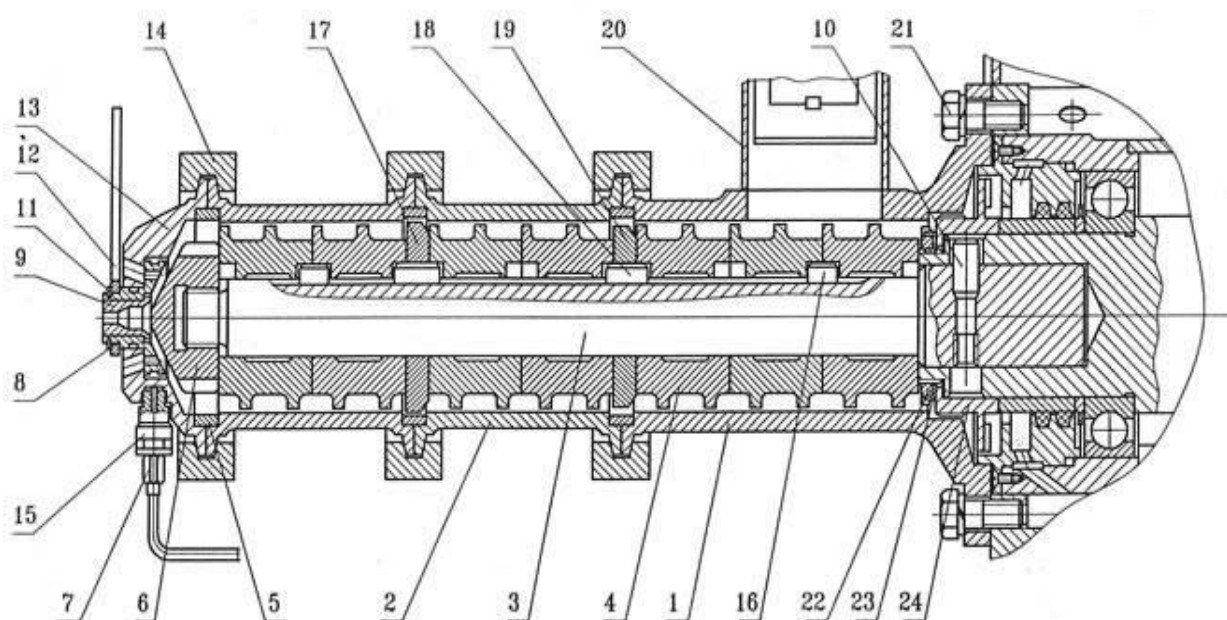
Регулировочный диск фиксируется в заданном положении болтом и прижимается к носовому корпусу диском. Термопара в корпусе служит для замера температуры в зоне прессования.

Ротор обеспечивает надёжное удержание вала, шпильки и установленных на шпильку шнеков и греющих шайб. На рисунке 67 схематично представлено расположение элементов ротора экструдера КМЗ-2У.

Шнековая часть является основным рабочим органом любого пресс - экструдера и исполняет главную функцию в процессе экструзии (рисунок 68).

На рисунке 68 схематично представлено расположение элементов шнековой части экструдера КМЗ-2У со стандартным выходным устройством.

Своевременная замена деталей и узлов, подверженных износу при воздействии силы трения, обеспечивает стабильную работу пресс - экструдера и сохраняет качество получаемого продукта.



- 1 – входной корпус (6289.00.006–3), 2 – сборный корпус (6289.21.000–4),
- 3 – шпилька (6289.00.012–12), 4 – шнек (6289.00.002–6), 5 – кольцо сменное (6289.20.004), 6 – наконечник (6289.00.093–10), 7 – термопара (6289.30.400–3),
- 8 – втулка (6289.00.028–4), 9 – втулка (6289.00.114), 10 – штифт (6289.00.113),
- 11 – кольцо стопорное, 12 – ключ (6289.32.100), 13 – корпус носовой (6289.00.026–3), 14 – хомут (6289.05.000–2), 15 – штуцер (6289.30.201–2),
- 16 – шпонка (6289.00.081–2), 17 – шайба подпорная (6289.00.011–4),
- 18 – шпонка (6289.00.081–2–01), 19 – шайба подпорная (6289.00.010–6),
- 20 – лоток, 21 – болт, 22 – гайка (6289.47.032), 23 – шайба, 24 – крыльчатка (6289.47.027–2)

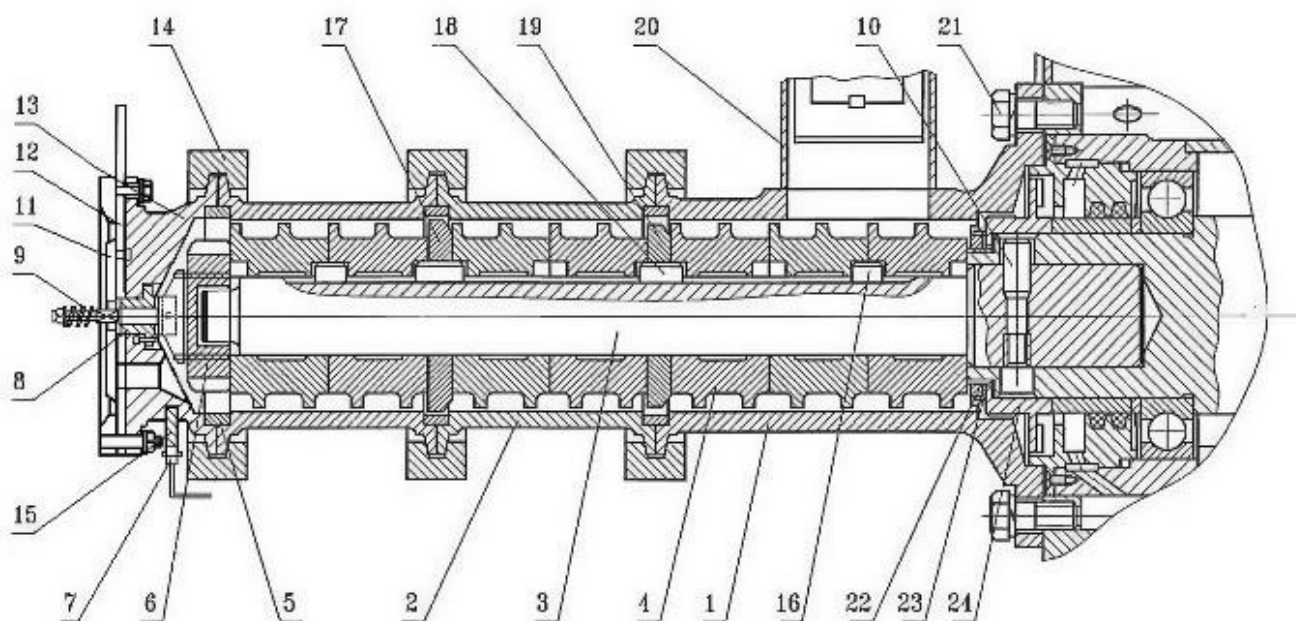
Рисунок 68 - Шнековая часть экструдера КМЗ (стандарт)

Основные детали рабочего органа пресс-экструдера ПЭ-КМЗ производятся отливкой из специализированных сплавов, используемых в оборонной промышленности.

При использовании некачественных деталей и комплектующих, изготовленных сторонними производителями, повышается риск выхода из строя всей установки.

Необходимо своевременно производить замену деталей, наиболее подверженных износу при воздействии силы трения.

На рисунке 69 схематично представлено расположение элементов шнековой части экструдера КМЗ-2У с установленным гранулятором.



1 - входной корпус (6289.00.006-3), 2 - сборный корпус (6289.21.000-4), 3 - шпилька (6289.00.012-12), 4 - шнек (6289.00.002-6), 5 - кольцо сменное (6289.20.004), 6 - наконечник (6289.00.025-2СБ), 7 - термопара (6289.30.400-3), 8 - втулка (6289.25.002-2), 9 - пружина (6289.00.732-1), 10 - штифт (6289.00.113), 11 - нож (6289.00.731-3), 12 - диск, 13 - гранулятор (6289.00.026-2), 14 - хомут (6289.05.000-2), 15 - штуцер (6289.30.201-2), 16 - шпонка (6289.00.081-2), 17 - шайбаподпорная (6289.00.011-4), 18 - шпонка (6289.00.081-2-01), 19 - шайбаподпорная (6289.00.010-6), 20 - лоток, 21 - болт, 22 - гайка (6289.47.032), 23 - шайба, 24 - крыльчатка (6289.47.027-2)

Рисунок 69 - Шнековая часть экструдера КМЗ (гранулятор)

Экструдер ЭПК-3 (рисунок 70) предназначен для приготовления кормов в животноводстве и птицеводстве методом экструзионной переработки фуражного зерна с влажностью не ниже 12% (пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы, а также сои, гороха и их смесей), особенно для откорма молодняка. Может использоваться также для приготовления сбалансированного питательного корма - карбамидного концентрата, способного сохранять свои свойства в

течение длительного времени и получаемого аналогичной переработкой зерна с добавками карбамида и бентонита натрия. Карбамидный концентрат используется в животноводстве для восполнения недостаточного количества протеина в рационе жвачных животных (коров, овец, коз).

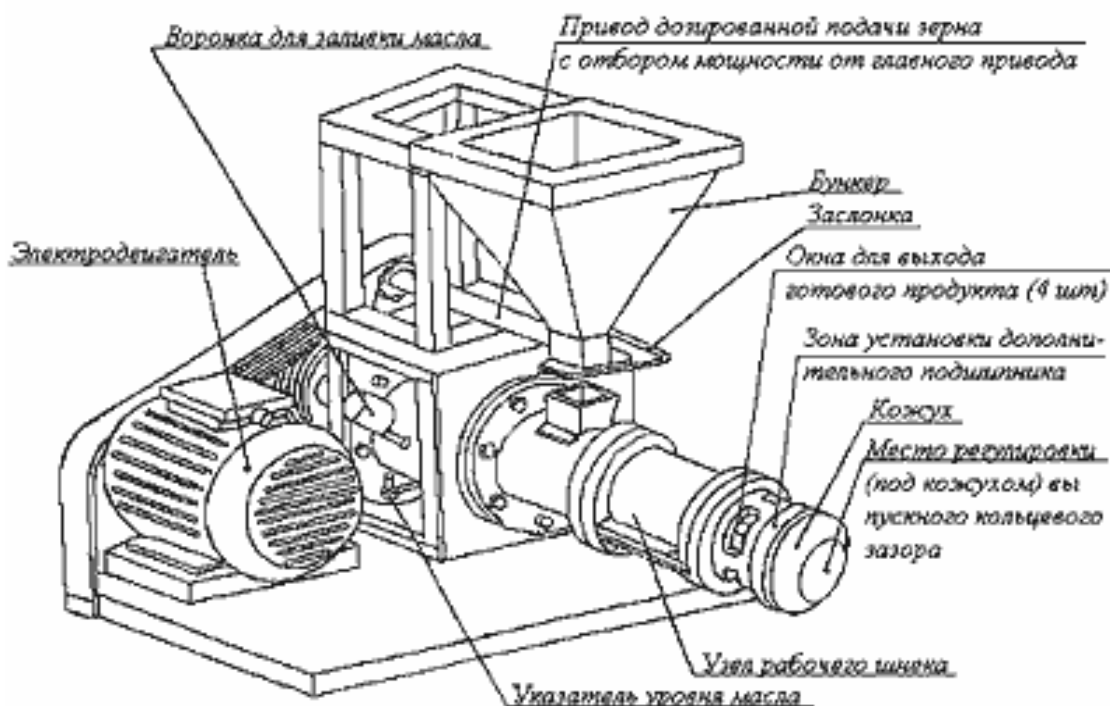


Рисунок 70 - Экструдер ЭПК-3

Экструдер конструктивно проще всех аналогичных изделий, исключен отдельный электропривод дозирования подачи зерна в рабочий шнек, взамен чего осуществлен отбор мощности от основного привода с обеспечением равномерности подачи исходного продукта в зону переработки, а шнековый вал снабжен дополнительным центрирующим подшипником, установленным на нем за зоной выпуска готового продукта, что в несколько раз повышает срок службы изделия. Выпуск готового продукта из зоны сжатия осуществляется через коническую кольцевую щель, что обеспечивает разрушение даже пересушенного (меньше 12 % влажности) перерабатываемого зерна

Конструкция экструдера обеспечивает исключение образования так называемого «козла» в шнековой части при случайной передозировке подачи зерна в шнек. Обеспечивается мягкий ежедневный запуск экструдера без разборки и прочистки шнековой части. Обеспечивается удобная и быстрая замена клиновых ремней и их натяжение.

Двухшнековая экструзионная установка ВЭС-ЭУ-2 (рисунок 71) предназначена для использования в качестве основного производственного звена в пищевых технологических линиях, ориентированных на производство

легких закусочных изделий (снеков) – одного из наиболее рентабельных и быстро развивающихся направлений современной пищевой индустрии.



Рисунок 71 - Двухшнековаяэкструзионная установка ВЭС-ЭУ-2

Конструктивно установка ВЭС-ЭУ-2 позволяет обеспечить изготовление практически всего спектра шнековой продукции: популярные во всем мире «готовые завтраки», легкие кондитерские изделия с хрустящей зерновой оболочкой и сладкой начинкой, диетические бездрожжевые хлебцы, острые и пикантные закуски к пиву, сладкие фигурные изделия для детей, а также многое другое.

Кроме снекового производства установка может успешно использоваться при производстве сухого корма для домашних животных, полнорационных кормов для ценных пород рыб, а также переработки и текстурирования растительного белка (производство заменителей мяса).

Такая универсальность обеспечивается целым комплексом оригинальных конструктивных решений, реализованных в установке ВЭС-ЭУ-2.

В качестве основного сырья могут быть использованы любые виды муки или крупы (пшеничная, кукурузная, ржаная, овсяная, рисовая и т.п.), а также отходы основного зерноперерабатывающего производства (отруби, шроты и т.п.). Отличительной особенностью данной установки является её

независимость от исходных параметров сырья (степени грануляции, влажности, жирности и т.п.).

Все рабочие элементы установки (шнеки, корпуса, фильеры) изготовлены из высокопрочных износостойких материалов, что обеспечивает максимально длительный период их эксплуатации без замены.

Двухшнековая экструзионная установка ВЭС-ЭУ-2-88 (рисунок 72) предназначена для использования в качестве основного производственного звена в пищевых технологических линиях, ориентированных на производство легких закусочных изделий (снеков) – одного из наиболее рентабельных и быстро развивающихся направлений современной пищевой индустрии.

Конструктивно установка ВЭС-ЭУ-2-88 позволяет обеспечить изготовление практически всего спектра снековой продукции: популярные во всем мире «готовые завтраки», легкие кондитерские изделия с хрустящей зерновой оболочкой и сладкой начинкой, диетические бездрожжевые хлебцы, острые и пикантные закуски к пиву, сладкие фигурные изделия для детей, корнфлекс, а также многое другое. Кроме снекового производства установка может успешно использоваться при производстве экструдированного крахмала, сухого корма для домашних животных, полнорационных кормов для ценных пород рыб, а также переработки и текстурирования растительного белка (производство заменителей мяса). Такая универсальность обеспечивается целым комплексом оригинальных конструктивных решений, реализованных в установке ВЭС-ЭУ-2-88.



Рисунок 72 - Экструзионная установка ВЭС-ЭУ-2-88

В качестве основного сырья могут быть использованы любые виды муки или крупы (пшеничная, кукурузная, ржаная, овсяная, рисовая и т.п.), а также отходы основного зерноперерабатывающего производства (отруби, шроты и т.п.). Отличительной особенностью данной установки является её независимость от исходных параметров сырья (степени грануляции, влажности, жирности и т.п.).

Все рабочие элементы установки (шнеки, корпуса, фильеры) изготовлены из высокопрочных износостойких материалов, что обеспечивает максимально длительный период их эксплуатации без замены.