

3. Технологическая часть

Введение

В данном разделе рассматривается технологический процесс изготовления твердотопливного заряда стартового порохового аккумулятора давления.

Заряд состоит из семи цилиндрических одноканальных шашек баллистического твердого ракетного топлива. Каждая шашка забронирована по боковым поверхностям и торцам, что обеспечивает прогрессивную расходную характеристику (рис. 13).

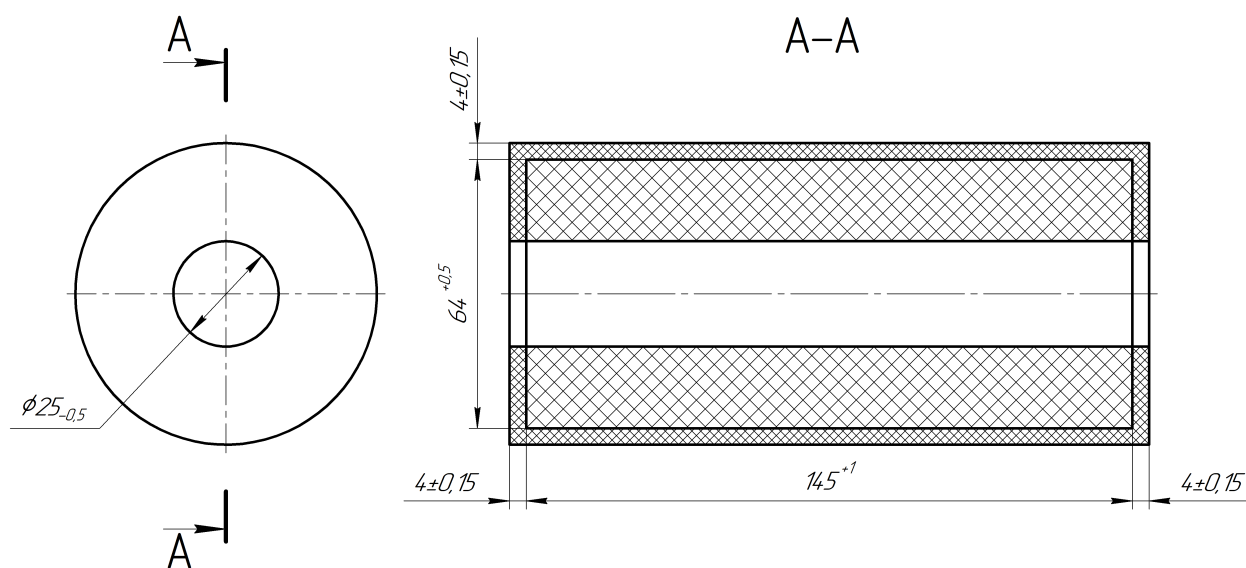


Рис. 13. Геометрия заряда стартового ПАД

Основное содержание этого раздела заключается в разработке принципиальной схемы технологического процесса изготовления заряда твердого ракетного топлива конкретной формы для заданного типа топлива, а также в определении характеристик технологического процесса изготовления ТРТ и заряда.

Исходными данными являются компоненты баллистического ракетного твердого топлива, его физико-механические свойства, габаритные размеры заряда. По этим данным производятся построение схемы технологического процесса (графический лист №9), чертеж применяемого шнек-пресса (графический лист №10) и операционные эскизы (графический лист №11). В пояснительной записке приведены расчёты технологических режимов производства топливной смеси и концевых операций.

Таблица 13. Состав топлива заряда ПАД

Компонент	мас. содержание, %
Нитроглицерин	43.0
Дифениламин	1.5
Индустриальное масло	0.5
Стеарат цинка	0.05
Углерод технический	2.5
Окись железа	3.0
Окись меди	0.5
Полиакриламид	0.03
Нитроцеллюлоза	48.92

3.1. Технологический процесс изготовления заряда БТРТ

В конструкторской части дипломного проекта для заряда ПАД было выбрано баллиститное топливо с известными характеристиками, состав которого представлен в таблице 13.

Блок-схема технологических процессов изготовления БТРТ и заряда из него с необходимыми операциями представлена на листе №9 дипломной работы.

Этот состав топлива, как и другие высокоэнергетические БТРТ представляет собой термопластичную полимерную двухосновную энергетическую конденсированную систему, включающую нитраты целлюлозы и энергоемкий пластификатор. В отличие от порохов БТРТ содержат ряд добавок специального назначения.

Топливные баллиститные массы по существующей технологии изготавливают непрерывным способом путем смешения компонентов в водной среде, как правило, в виде суспензий и эмульсий, имеющих концентрацию порядка 7 – 10 мас. %.

При изготовлении баллиститного топлива последовательно проводят следующие технологические фазы производства:

- подготовка и дозирование компонентов;
- смешение компонентов в водной среде (приготовление топливной массы);
- усреднение топливной массы и формирование общих партий.

Более подробно операции каждой фазы представлены в таблице 14.

Таблица 14. Основные технологические операции изготовления заряда из БТРТ

№	Содержание операции	Оборудование, оснастка
Операция 05. Контрольная		
01	Входной контроль материалов	
Операция 10. Подготовительная		
01	Подготовка суспензии коллоксилиново-водной взвеси (КВВ)	Расходный agitator, agitator точной концентрации
02	Дозирование суспензии в формсмеситель	Насос-дозатор винтовой
03	Подготовка и дозирование жидких компонентов	Дозатор НД
04	Приготовление смеси пластификаторов (НГЦ, ДФА)	Объемно-импульсный дозатор, аппарат приготовления растворов
05	Подготовка порошкообразных компонентов	
06	Дозирование порошкообразных компонентов (окись магния, катализаторы)	Дозатор НД, гидродинамический аппарат типа АПТС
07	Подготовка металлического горючего	
08	Дозирование метал. горючего	Гидрофобизатор, пассиватор
Операция 15. Смесеобразовательная		
01	Смешение всех компонентов	Формкамерный смеситель

№	Содержание операции	Оборудование, оснастка
02	Формирование пороховых смесей	Смеситель общих партий
03	Отжим водной суспензии	Пластифицирующий пресс ПО-300
04	Измельчение топливной массы	Протирочный барабан
Операция 20. Формообразующая		
01	Гомогенизация, сушка ТМ и окончательная пластификация	Вальцы 1500 660/660
02	Обрезка полученных из вальцов шнуров ТМ	Дисковые ножи
03	Сушка таблеток ТМ	Сушилка СШТС-М
04	Уплотнение и укрупнение полуфабрикатного материала	Таблетирующий пресс ПКТ-125
05	Транспортировка таблеток в шнек-пресс	Устройство автоматич. загрузки пресса
06	Превращение таблеток в монолитный заряд для РДТТ	Шнек-пресс ПВВ-300
07	Резка пашек на заготовки требуемой длины	Ножи гильотинного типа
08	Охлаждение пашек водой	Несколько ванн с различной температурой воды
Операция 25. Дефектоскопия		
01	Интроскопический контроль на предмет обнаружения дефектов (посторонних включений, трещин)	Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-150
Операция 30. Бронирование		

№	Содержание операции	Оборудование, оснастка
01	Нанесение подслоя на шашку на основе клея "Лейконат"	Кисть
02	Сушка подслоя	
03	Размещение шашек в пресс-форме ТПА, центрирование	Термопластавтомат
04	Впрыск бронемассы и выдержка под давлением в пресс-форме	Термопластавтомат
05	Распрессовка	Термопластавтомат
06	Приклейка бронематериала на торцы заряда	
Операция 035. Контрольная		
01	Выходной контроль	

3.1.1 Операция 10. Подготовительная

Основными узлами принципиальной схемы современного технологического процесса изготовления пороховой массы баллистического типа являются процессы подготовки, дозирования и смешения компонентов [13]:

- подготовка суспензии коллоксилиново-водной взвеси (КВВ) определенной концентрации в весовом концентратомере и дозирования ее в формесмеситель;
- подготовка и дозирование жидких компонентов в аппарате приготовления растворителей (АПР), приготовление смеси пластификаторов (НГЦ);
- подготовка и дозирование порошкообразных компонентов (окись магния, катализаторы);
- подготовка и дозирование металлического горючего;

Краткое описание технологической схемы: КВВ с концентрацией 10% подается с фазы изготовления НЦ в расходные ажитаторы 1, далее через ажитатор точной концентрации 3 винтовым насосом-дозатором 9 на фазу смешения. Все переключения режимов работы ажитаторов производятся

дистанционно с помощью кранов, снабженных пневмоприводами, для полной механизации и автоматизации процесса.

Жидкие компоненты (ДФА) кроме НГЦ из расходных баков здания хранения шестеренчатыми насосами перекачиваются в расходные емкости на фазу приготовления пластификаторов (АПР) 13. Дозирование осуществляется плунжерными насосами-дозаторами типа НД 15. Настройка дозаторов на заданную производительность осуществляется с помощью объемных мерников в режиме рециркуляции через переключатели потоков. Инертные пластификаторы через аппарат приготовления и транспортировки суспензий (АПТС) 8 передаются на фазу смешения (в форкамерный смеситель 4). Активные пластификаторы (НГЦ) подаются с помощью объемно-импульсного дозатора 14 в АПР 13, где смешиваются со стабилизаторами химической стойкости (ДФА, централит и пр.) и инжектором через эмульгирующее гидродинамическое устройство также транспортируются в форкамерный смеситель.

Порошкообразные компоненты, требующие предварительной химической защиты от взаимодействия с водой ($\text{Cu}+\text{Fe}$) пассивируют 11 и гидрофобизируют 10, затем, с помощью насоса-дозатора 9, виде дозируемых суспензий подают в форкамерный смеситель 4.

Катализаторы и стабилизаторы горения (PbCO_3 , TiO_2 , CaCO_3 , салицилаты и фталаты РЬ и Си и пр.) загружаются с помощью спиральных транспортеров в передвижные бункеры, установленные на весах, далее компоненты высыпаются в устройство смешения, из которого бункером доставляются к стационарному бункеру-накопителю, а затем дозатором типа ДН 7 дозируются в АПТС 8, который приготовленную суспензию подает в форкамерный смеситель 4.

3.1.2 Операция 15. Смесеобразовательная

Смешение всех компонентов производится в форкамерном смесителе 4, из которого суспензия массы поступает в роторно-пульсационный смеситель-насос типа РПС 2, которым транспортируется промежуточный смеситель 5 и далее в смеситель общих партий 6.

Данный этап включает в себя процессы: отжим, вальцевание, сушка. Для работы в автоматическом режиме блок переработки оснащен: бункером-синхронизатором 23, устройством автоматической загрузки пресса 24, установкой возврата и ввода ВТО.

После приготовления топливной массы (ТМ) водную суспензию отправляют на отжим, который осуществляется в отжимном пластифицирующем прессе ПО-300 16, где влажность падает до 7%. Далее ТМ, пройдя устройство контроля производительности 22, поступает в бункер синхронизатор, который предназначен для синхронизации работы вальцев 1500 660/660 18 и пресса ПО-300 16, путем поддержания заданного уровня в бункере. После

ТМ поступает в протирачный барабан 17, где измельчается и затем отправляется на фазу вальцевания 18, которая предназначена для гомогенизации, сушки и окончательной пластификации. Эти процессы происходят за счет термомеханического воздействия на переработанный материал во время его многократного прохождения через зазор между валками.

3.1.3 Операция 20. Формообразующая

Полученные из вальцов 18 шнуры обрезаются дисковыми ножами. В итоге получившиеся таблетки с влажностью 3% через устройство контроля производительности 22 поступают в сушилку СШТС-М, где сушатся до конечной влажности 0.5%. Для увеличения взрывобезопасности высушенные таблетки отправляются в таблетирующий пресс ПКТ-125 20, где происходит уплотнение и укрупнение полуфабриката. Затем укрупненные таблетки транспортируются в устройство автоматической загрузки пресса 24, которое включает в себя исполнительный механизм металлоотсекателя, бункер с дозирующим шнеком, оснащенный уровнемером и температурным датчиком, и пневмотранспорт. В бункере с помощью уровнемера и шнека-дозера поддерживается определенный уровень, необходимый для измерения температуры. Весь отбираемый полуфабрикат возвращается в сборник текущих ВТО. При достижении заданной температуры течка металлоотсекателя переключается в положение «Загрузка пресса». Полуфабрикат из бункера-измерителя полностью вырабатывается и транспортируется в сборник текущих ВТО. Установка ВТО предназначена для возврата с фаз и ввода в процесс текущих возвратно-технологических отходов. Она включает в себя: пневмотранспорт с фаз вальцевания и формования, бункер-накопитель емкостью около 1 тонны полуфабриката со шнеком-разгрузителем, весовое дозирующее устройство с пневмо- или шнековым транспортом (на вальцы). В целях безопасности полуфабрикат в бункере-накопителе находится под водой. Полуфабрикат, отбираемый в начале работы или при внеплановых остановках, собирается в бункере-накопителе и вводится автоматически на вальцы по специальной программе.

Полуфабрикат загружается в формующий шнек-пресс ПВВ-300 21, где происходит превращения таблеток из ТМ в монолитный заряд для РДТТ. Этот процесс связан с явлениями адгезионного и когезионного взаимодействия между частями формуемого материала. Адгезионное взаимодействие определяется соединением таблеток путем сжатия при повышенных температурах. Когезионное взаимодействие определяется сдвигом слоев БТРТ при повышенных температурах. За счет адгезионного взаимодействия таблетки превращаются в плотную гетерогенную структуру, однако внутри есть границы раздела, которые исчезают за счет когезионного взаимодействия. В результате проходного прессования получается заряд БТРТ, соответствующий по форме профилирующему инструменту на выходе из шнек-пресса

21.

Резка выходящих из шнек-пресса шашек на заготовки ракетных зарядов требуемой длины осуществляется с помощью ножей гильотинного типа, которые приводятся в движение пневматическим прессом. Резательные агрегаты работают пока температура топлива выше температуры его стеклования и при этом сохраняются его пластические свойства.

Охлаждение шашек после их выхода из пресс-инструмента и резки на заготовки для ракетных зарядов требует длительного времени, особенно для изделий большого диаметра. Охлаждение наиболее часто проводят водой. Основным фактором, влияющим на процесс охлаждения, является коэффициент теплоотдачи. Он колеблется в широких пределах: 500–700 Дж/(м² · с · К) при охлаждении шашек водой.

Шашки последовательно перемещают из ванн с высокой температурой воды в ванну с более низкой температурой. Температура в первой ванне 50–55 °С, во второй – 35 °С и в третьей – 20–25 °С. После охлаждения шашки подсушивают потоком сухого воздуха и направляют на фазу окончательных операций изготовления ракетных зарядов.

3.1.4 Операция 25. Дефектоскопия

Основными технологическими операциями при дефектоскопии шашек заготовок из БТРТ являются: визуальный осмотр внешнего вида изделия; теневая ультразвуковая дефектоскопия.

Интроскопический неразрушающий контроль для обнаружения дефектов в виде посторонних включений, трещин, разноплотности и других в изделиях БТРТ, как правило, осуществляют методом теневой ультразвуковой дефектоскопии. Метод основан на особенностях распространения ультразвуковых упругих колебаний (УЗК) с частотами 18–22 кГц в твердых средах и на границе раздела сред.

Принципиальная схема ультразвукового теневого метода контроля представлена на листе №10. Генератор 1 подает электрические колебания на пьезоэлемент излучающего преобразователя 2, который генерирует ультразвуковые колебания. Последние проходят через изделие 6 и попадают на пьезоэлемент приемного преобразователя 3, откуда электрические колебания поступают в приемник 4. Здесь поступающие электрические сигналы усиливаются и преобразуются в ток регистрирующего устройства 5. В случае, если луч УЗК частично или полностью перекрывается дефектом, интенсивность колебаний в той или иной степени ослабевает, и регистрирующее устройство на дефектограмме дает отметку о наличии дефекта в объеме изделия.

Цилиндрические изделия должны контролироваться по спирали с шагом контроля (величина перемещения траверсы преобразователей за один оборот изделия) для канальных зарядов не более 20 мм/об при диамет-

ральном способе контроля.

3.1.5 Операция 30. Бронирование

Поскольку данный заряд БТРТ является вкладным, его необходимо покрыть инертным, теплостойким материалом для обеспечения требуемого закона газообразования при работе ПАД.

В соответствии с назначением бронепокрывтия должно удовлетворять нескольким важным требованиям:

- термостойкости, обеспечивающей защиту поверхности изделия от воспламенения вследствие прогара в течение всего времени работы заряда;
- высокой адгезии к поверхности топлива, исключающей возможность отслоения в течение всего времени эксплуатации заряда, а также в момент его боевого применения;
- иметь высокие физико-механические характеристики в течение всего времени эксплуатации заряда, исключающие возможность растрескивания или потери деформационно-прочностных свойств вследствие старения материала покрытия;
- температурные зависимости (в диапазоне температур эксплуатации) прочностных и деформационных характеристик с целью исключения недопустимых напряжений в покрытии и приграничных слоях должны быть близкими к топливу.

Для зарядов небольшого размера получил распространение способ бронирования литьем под давлением.

Технической задачей патентуемого изобретения является расширение технических (технологических) возможностей бронирования зарядов твердого топлива большого удлинения практически без ограничений по длине и толщине наносимого на боковую поверхность заряда бронепокрывтия.

Для бронирования зарядов твердого топлива используют термоэластопласт (ТЭП), модифицированный инденкумароновой смолой, при этом нанесение ТЭП на боковую поверхность шашки-заготовки твердого ракетного топлива осуществляют с помощью формующей матрицы, оснащенной мундштуком-наконечником и калибрующей втулкой для проходного бронирования, а непосредственное экструдирование разогретого бронематериала - ТЭП - на боковую поверхность шашки-заготовки осуществляют с помощью шнек-пресса при температуре обогрева последнего 70...80 °С, температуре мундштука-наконечника и калибрующей втулки 125...150 °С, расхода бронематериала 0,10...0,12 кг/мин. До установки шашек-заготовок

в формулирующую матрицу на боковую поверхность шашки-заготовки наносят адгезионный подслои на основе клея Лейконат; сушат его не менее 0,5 часа при $T = 15...35^{\circ}\text{C}$, но не более 24 часов до начала бронирования, а непосредственно перед нанесением на боковую поверхность шашки-заготовки в состав адгезионного подслоя вводят стабилизатор, равномерно перемешивают его в течение не менее 3-х минут, после чего используют приготовленный подслои для бронирования в течение не более 6 часов при температуре $15...35^{\circ}\text{C}$. После охлаждения бронесостава в форме извлекается заряд вместе с нанесённым покрытием.

К сожалению, данным способом сложно обеспечить качественную бронировку торцев зарядов, поэтому после бронировки боковых поверхностей зарядов на его торцы приклеивается подготовленный заранее бронематериал.

В качестве бронирующего покрытия выбираем материал марки АЦ-2 как для литья под давлением, так и для приклейки на торцы.

3.1.6 Операция 35. Выходной контроль

Завершающий этап изготовления зарядов БТРТ. Устанавливается соответствие качества готового изделия требованиям принятых стандартов или технических условий. Выявляются возможные дефекты и брак. Если все условия выполнены, то заряд разрешается применять по назначению.

3.2. Расчет шнекового экструдера

Проведенный качественный анализ закономерностей деформирования топливной массы в винтовом канале процесса проходного шнекования показал, что шнековый пресс для переработки баллистического топлива можно рассчитывать как винтовой насос для выдавливания высоковязкой жидкости, к которому присоединены машина для транспортировки твердых пластичных частиц и машины для аутогезионного и когезионного воздействия на них [19].

Чертеж шнек-пресса ПВВ-300 приведен на графическом листе и чертеж детали «Винт шнек-пресса» приведены на графическом листе №11. Схема одношнекового экструдера представлена на рисунке 14 [16].

Топливно-масса из бункера 1 поступает в корпус 3, где захватывается вращающимся шнеком 2 и транспортируется к головке 6. При этом рабочее тело экструдера в зоне I (зона питания) уплотняется, в зоне II (зона сжатия) происходит его сжатие, а в зоне III (зона дозирования) рабочее тело гомогенизируется, после чего выдавливается в головку 6 через формирующую решетку 5. Для обеспечения требуемого теплового режима и условий транспортирования в корпусе могут быть предусмотрены каналы теплоносителя 4.

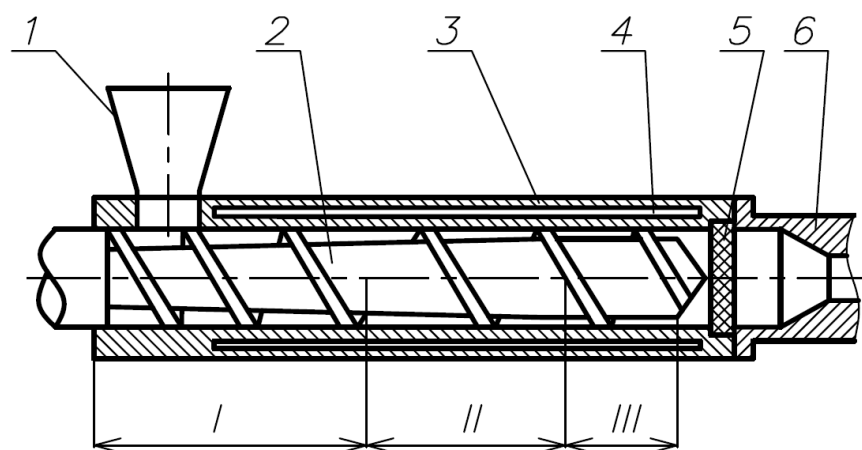


Рис. 14. Шнековый экструдер: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – корпус; 4 – каналы теплоносителя; 5 – формирующая решетка; 6 – головка; I – зона питания; II – зона сжатия; III – зона дозирования

На рисунке 15 показана схема шнека с переменной глубиной нарезки и основные геометрические параметры.

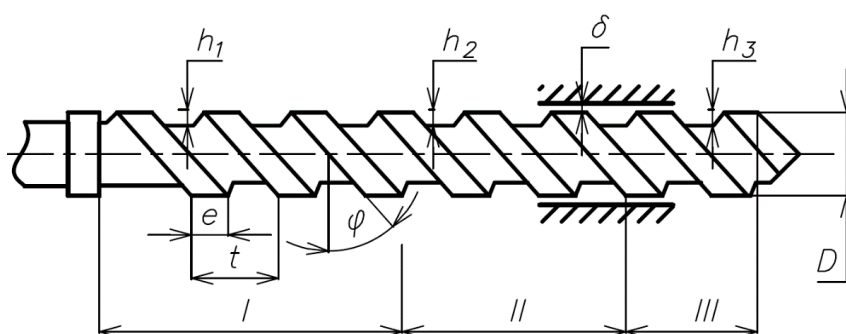


Рис. 15. – Схема шнека: I – зона питания; II – зона сжатия; III – зона дозирования

Основные геометрические параметры шнека:

1. диаметр D ;
2. длина L ;
3. шаг винтовой нарезки t ;
4. глубина канала по зонам (глубина нарезки) h ;
5. ширина ребра e ;
6. величина зазора между ребром шнека и корпусом δ ;
7. угол подъема винтовой линии нарезки шнека φ ;

8. число заходов нарезки шнека обычно принимается $\lambda = 1$.

Исходные параметры для расчета экструдера – производительность $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ и максимальное давление, создаваемое экструдером для подчачи бронирующего состава $p_m = 5 \text{ МПа}$. Производительность шнекового экструдера определена как средняя для агрегатов такого типа. Для известной производительности можно определить диаметр шнека:

$$Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч} = 2.778 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D = 4.65 \cdot (1 + k_{\pi})^{0.4} \cdot Q^{0.4} = 4.65 \cdot (1 + 0.15)^{0.4} \cdot (2.778 \cdot 10^{-3})^{0.4} = 0.467 \text{ м, где}$$

- Q – объемная производительность,
- D – диаметр шнека,
- $k_{\pi} = 0.15$ – коэффициент, учитывающий утечки и осевые перетечки рабочего тела.

Округляем до ближайшего значения диаметра в большую сторону, тогда в соответствии с ГОСТ-14773 получаем $D = 480 \text{ мм}$.

Шаг винтовой нарезки шнека:

$$t = D = 0.48 \text{ м}$$

Угол наклона винтовой поверхности:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{t}{\pi \cdot D}\right) = \arctg\left(\frac{0.48}{\pi \cdot 0.48}\right) = 0.308 \text{ рад}$$

Средние глубины винтового канала шнека в каждой из зон:

- в зоне питания

$$h_1 = 0.12 \cdot D = 0.067 \text{ м}$$

- в зоне дозирования

$$\begin{aligned} h_3 &= 0.5 \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{3} \cdot (D - h_1)} \right) = \\ &= 0.5 \cdot \left(0.48 - \sqrt{0.48^2 - \frac{4 \cdot 0.067}{3} \cdot (0.48 - 0.067)} \right) = 0.02 \text{ м} \end{aligned}$$

- в зоне сжатия:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{2} = 0.067 - \frac{0.067 - 0.02}{2} = 0.044 \text{ м}$$

Ширина ребра и величина зазора:

$$e = 0.08 \cdot D = 0.08 \cdot 0.48 = 0.038 \text{ м}$$

$$\delta = 3 \cdot \frac{D}{1000} = 3 \cdot \frac{0.48}{1000} = 1.44 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Критическая частота вращения шнека:

$$n_{\text{кр}} = \frac{0.75}{\sqrt{D}} = \frac{0.75}{\sqrt{0.48}} = 1.083 \text{ с}^{-1}$$

Рабочая частота вращения шнека:

$$n_{\text{р}} = 0.2 \cdot n_{\text{кр}} = 0.2 \cdot 1.083 = 0.217 \text{ с}^{-1}$$

Для течения в экструдере средняя угловая скорость сдвига:

$$\gamma = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{р}}}{0.4 \cdot h_1 + 0.4 \cdot h_2 + 0.2 \cdot h_3} = \frac{\pi \cdot 0.48 \cdot 0.758}{0.4 \cdot 0.067 + 0.4 \cdot 0.044 + 0.2 \cdot 0.02} = 7.853 \text{ рад}$$

Коэффициент динамической вязкости для неньютоновской жидкости:

$$lg(\mu) = a \cdot lg(\gamma) + b$$

$$\mu = 10^{a \cdot lg(\gamma) + b} = 10^{-0.56 \cdot lg(23.63) + 4.1} = 2142 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

Длина шнека:

$$\begin{aligned} L &= \frac{p_{\text{м}} \cdot (0.4 \cdot h_1 + 0.4 \cdot h_2 + 0.2 \cdot h_3)^2 \cdot tg(\varphi)}{0.6 \cdot \pi \cdot D \cdot n_{\text{р}} \cdot \mu} = \\ &= \frac{5 \cdot 10^6 \cdot (0.4 \cdot 0.067 + 0.4 \cdot 0.044 + 0.2 \cdot 0.02)^2 \cdot tg(\varphi)}{0.6 \cdot \pi \cdot 0.48 \cdot 0.758 \cdot 2142} = 2.53 \text{ м} \end{aligned}$$

Длина каждой зоны:

- зона питания: $L_1 = 0.4 \cdot L = 0.4 \cdot 2.534 = 1.014 \text{ м}$
- зона сжатия: $L_2 = 0.4 \cdot L = 0.4 \cdot 2.534 = 1.014 \text{ м}$
- зона дозирования: $L_3 = 0.2 \cdot L = 0.2 \cdot 2.534 = 0.507 \text{ м}$

Шнек экструдера установлен в корпусе с помощью двух подшипников шариковых радиальных однорядных (ГОСТ 8338-75) и одного подшипника упорного шарикового (ГОСТ 7872-89).

Максимальное осевое усилие P_o на шнек определяется по следующей формуле:

$$P_o = \frac{\pi \cdot p_m \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0.48^2}{4} = 904.8 \text{ кН}$$

Принимаем, что осевое усилие на упорном подшипнике F_o равно P_o .
Усилие поперечного нагружения:

$$P_r = 0.08 \cdot P_o = 0.08 \cdot 904.8 = 72.38 \text{ кН}$$

Поперечное усилие сосредоточено в области бункера, где осуществляется загрузка топливной массы. Из соотношения моментов сил и суммы сил на ось x определяются поперечные нагрузки на каждый из радиальных подшипников F_y

$$P_r \cdot l - F_{y2} \cdot 3l = 0$$

$$F_{y2} = \frac{P_r \cdot l}{3l} = \frac{72.38}{3} = 24.13 \text{ кН}$$

$$F_{y1} = F_{y2} + P_r = 24.13 + 72.38 = 96.51 \text{ кН}$$

Выбор подшипников осуществляется из предположения, что максимальная осевая (для упорного подшипника) и поперечная (для радиального подшипника) нагрузки F_o и F_y соответственно не должны превышать 50...70 % статической грузоподъемности подшипников C_0 [17]. Тогда, выбираем следующие подшипники в соответствии с ГОСТ 8338-75 и ГОСТ 7872-89:

- $d_1 = 360$ мм, $F_{y1} = 96.51$ кН, $C_{r1} = 570$ кН обозначение подшипника 172;
- $d_2 = 320$ мм, $F_{y2} = 24.13$ кН, $C_{r2} = 415$ кН обозначение подшипника 164;
- $d_3 = 500$ мм, $F_o = 904.8$ кН, $C_{r3} = 5400$ кН обозначение подшипника 82/500;

Ресурс работы подшипников (вычисляемый в миллионах оборотов) до наступления момента, когда вероятность отказа становится более 10%:

$$L_{10_1} = \left(\frac{C_{r1}}{(X \cdot K_V \cdot F_o + Y \cdot F_{y1}) \cdot K_B \cdot K_T} \right)^3 =$$

$$= \left(\frac{462}{(0 \cdot 1 \cdot 0 + 1 \cdot 96.51) \cdot 3 \cdot 1} \right)^3 = 4.07 \text{ млн. об.}$$

$$L_{10_2} = \left(\frac{C_{r2}}{(X \cdot K_V \cdot F_o + Y \cdot F_{y2}) \cdot K_B \cdot K_T} \right)^3 =$$

$$= \left(\frac{371}{(0 \cdot 1 \cdot 0 + 1 \cdot 24.13) \cdot 3 \cdot 1} \right)^3 = 5.12 \text{ млн. об.}$$

$$L_{10_3} = \left(\frac{C_{r3}}{(X \cdot K_V \cdot F_o + Y \cdot F_y) \cdot K_B \cdot K_T} \right)^3 =$$

$$= \left(\frac{1020}{(1 \cdot 1 \cdot 904.8 + 0 \cdot 0) \cdot 3 \cdot 1} \right)^3 = 0.12 \text{ млн. об}$$

Здесь C_r – динамическая грузоподъемность подшипника, X – коэффициент осевой динамической нагрузки, Y – коэффициент радиальной динамической нагрузки, K_V – коэффициент вращения, K_B коэффициент динамичности нагрузки, K_T температурный коэффициент.

При проектировании экструдера с разгруженными от осевых усилий радиальными подшипниками примем:

- для радиальных подшипников $Y = 1$; $X = 0$; $K_v = 1$;
- для упорных подшипников $Y = 0$; $X = 1$.

Коэффициенты K_B и K_T выбирают из условий работы. Учитывая кратковременные перегрузки при работе экструдера до 300% рекомендовано принимать $K_B = 2,5 \dots 3$. Температурный коэффициент выбирается с учетом допустимого нагрева корпуса подшипника при его работе согласно таблице 15.

Выбор электродвигателя для привода шнека. Выбор основывается из расчета потребляемой экструдером мощности N . Мощность N , расходуется на передвижение массы материала вдоль спирального канала шнека к головке N_1 , а также на срез материала в зазоре между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра экструдера N_2 .

Таблица 15. Значения температурного коэффициента

Рабочая температура, °C	КТ	Рабочая температура, °C	КТ
<100	1	175...200	1,25
100...125	1,05	200...225	1,35
125...150	1,10	225...250	1,40

$$N_1 = \frac{\pi^2}{2} \cdot D_{\text{ш}}^2 \cdot n_p \cdot (0.4 \cdot h_1 + 0.4 \cdot h_2 + 0.2 \cdot h_3) \cdot p_m \cdot \operatorname{tg} \varphi =$$

$$= \frac{\pi^2}{2} \cdot 0.48^2 \cdot 0.217 \cdot (0.4 \cdot 0.067 + 0.4 \cdot 0.044 + 0.2 \cdot 0.02) \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot \operatorname{tg}(0.308) = 16.2 \text{ кВт}$$

$$N_2 = k_{\text{доп}} \cdot \frac{\pi^3 \cdot D_{\text{ш}}^3 \cdot L \cdot \mu}{(0.4 \cdot h_1 + 0.4 \cdot h_2 + 0.2 \cdot h_3) \cdot \cos \varphi} \cdot n_p^2 =$$

$$= 2 \cdot \frac{\pi^3 \cdot 0.48^3 \cdot 2.53 \cdot 2142}{(0.4 \cdot 0.067 + 0.4 \cdot 0.044 + 0.2 \cdot 0.02) \cdot \cos(0.308)} \cdot 0.217^2 = 61.5 \text{ кВт}$$

где $k_{\text{доп}} = 2$ – коэффициент дополнительных потерь на трение в зазоре между корпусом и шнеком экструдера.

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 16.2 + 61.5 = 77.7 \text{ кВт}$$

Мощность двигателя $N_{\text{дв}}$ привода экструдера должна быть выше на величину КПД (0,4...0,6), чтобы компенсировать неучтенные потери, в том числе на преодоление сил трения, на механические потери в приводе экструдера и др.

$$N_{\text{дв}} = N_{\Sigma} + 0.5 \cdot N_{\Sigma} = 312 + 0.5 \cdot 312 = 116 \text{ кВт}$$

Выбираем электродвигатель постоянного тока 145 кВт, 1180 об/мин, модель 4ПФ315М.

Заключение

В рамках технологической части дипломного проекта была разработана технология изготовления одноканального заряда из БТРТ для стартового ПАД, определены технологические параметры основных операций его изготовления и рассчитаны основные геометрические и технологические характеристики шнекового экструдера.