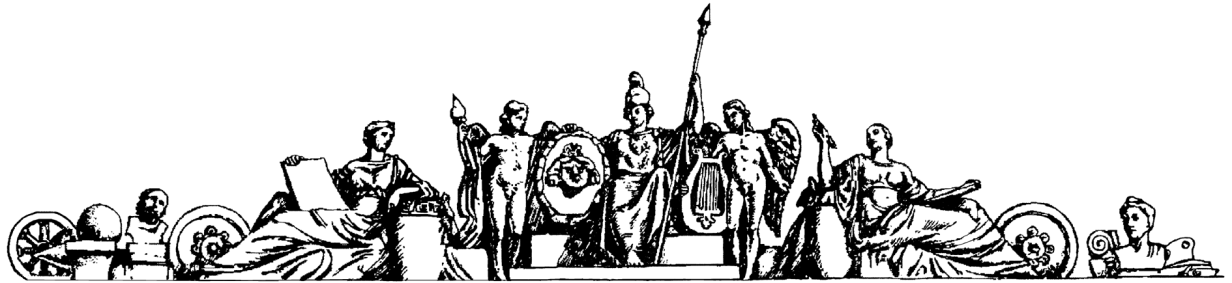
Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени

государственный технический университет им. Н.Э. Баумана



Кафедра «Ракетные двигатели»

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

«Технология производства и свойства твердых топлив»

Вариант № 8

Выполнил студент группы Э1-82 Лигостаев В. В.

Подпись дата

Научный руководитель проекта Арефьев К. Ю.

Подпись дата

Москва – 2019 г.

Оглавление

[Введение 4](#_Toc10679301)

[1. Задание на проектирование 5](#_Toc10679302)

[1.1. Характеристики топлива 7](#_Toc10679303)

[2. Общий вид заряда СТРТ совместно с корпусом РДТТ 8](#_Toc10679304)

[2.1. Заряд СТРТ 8](#_Toc10679305)

[2.2. Корпус РДТТ 9](#_Toc10679306)

[3. Технологический процесс изготовления заряда из СТРТ 11](#_Toc10679307)

[3.1. Приготовление рабочей смеси порошкообразных компонентов (РСПК) 12](#_Toc10679308)

[3.2. Подготовка алюминия, пластификатора и ГСВ 14](#_Toc10679309)

[3.3. Подготовка корпусов двигателей и формующей оснастки 15](#_Toc10679310)

[3.4. Смешение топливной массы 16](#_Toc10679311)

[3.5. Завершающие операции производства 18](#_Toc10679312)

[4. Расчетная часть 22](#_Toc10679313)

[4.1. Расчет толщины стенки корпуса 22](#_Toc10679314)

[4.2. Расчет коэффициента массового совершенства двигателя 24](#_Toc10679315)

[4.3. Оценка критического сечения 24](#_Toc10679316)

[4.4. Термодинамический расчет продуктов сгорания СТРТ 26](#_Toc10679317)

[4.5. Расчет равновесной температуры 29](#_Toc10679318)

[4.6. Расчет напряжений в месте стыка корпус-заряд при различной температуре 33](#_Toc10679319)

[4.7. Оценка степени полимеризации от времени полимеризации 34](#_Toc10679320)

[4.8. Расчет шнекового экструдера 35](#_Toc10679321)

[4.8.1. Расчет подшипников 39](#_Toc10679322)

[5. Результаты проектирования. Выводы 47](#_Toc10679323)

[Приложение А 49](#_Toc10679324)

[Приложение Б 62](#_Toc10679325)

[Список используемой литературы 64](#_Toc10679326)

# Введение

Смесевые твердые топлива являются ярко выраженными гетерогенными, многофазными взрывчатыми системами, представляющими собой смесь, как правило, неорганического окислителя, органического высокомолекулярного горючего-связующего и содержащие специальные добавки (энергетические, эксплуатационные, технологические). По своей структуре СТРТ – высоконаполненные (до 95%) композиционные материалы, в полимерной матрице которых равномерно распределены мелкодисперсные окислитель, металлическое (металлосодержащее) горючее и другие компоненты.

Создание нового типа химического источника энергии и рабочего тела для реактивных двигателей - смесевых твердых топлив (СТРТ) явилось революцией в производстве твердого топлива, что позволило создать стратегические ракеты с дальностью полета до 10 000 км. Революционизирующая роль СТРТ обусловлена тем, что они по сравнению с баллиститными ТРТ, обладают более высокими энергетическими характеристиками и возможностями изготовления крупногабаритных (несколько метров в диаметре и длины) зарядов.

Современные смесевые твердые ракетные топлива в качестве окислителя содержат перхлорат аммония (ПХА) NH4ClO4. Продукты сгорания таких смесевых твердых топлив (СТРТ) включают токсичные хлористые компоненты. В связи с ужесточением экологических требований, проблема снижения количества токсичных продуктов сгорания СТРТ очень важна. Одно из многообещающих направлений в решении этой проблемы является использование в качестве окислителя нитрата аммония (НА) NH4NO3 путем частичной или полной замены перхлората аммония. Смесевые твердые ракетные топлива, основанные на двойном окислителе (ПХА+НА) имеют более низкие баллистические характеристики по сравнению с СТРТ, содержащими только ПХА. Отсутствие компонентов хлора в продуктах сгорания и низкая цена НА позволяют создать дешевые и экологически безопасные СТРТ.

# Задание на проектирование

Цель курсового проекта - разработка принципиальной схемы и определение основных харакетристик технологического процесса изготовления звездообразного заряда из смесевого твердого топлива (СТРТ), прочноскрепленного с корпусом ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ), разработка элементов необходимой технологической оснастки, проведение термодинамических расчетов равновесного состава продуктов сгорания (ПС).

Задачи проектирования:

**Лист 1.** Общий вид заряда СТРТ (совместно с корпусом РДТТ из композиционного материала) с необходимыми разрезами и видами. Представлен состав и проставляются размеры. Приводятся общие технические условия и техническая характеристика.

**Лист 2.** Спецификация используемого оборудования (с указанием основных характеристик) и блок-схема технологических процессов изготовления СТРТ и заряда из СТРТ с необходимыми операциями:

- подготовительные по компонентам, приспособлениям;

- формообразующие заготовку заряда;

- чистовая токарная обработка элементов заряда;

- контрольные.

**Лист 3.** Общий вид применяемого основного и вспомогательного технологического оборудования для формообразующих операций с оформлением спецификации чертежа общего вида.

**Лист 4.** Общий вид шнекового экструдера для подачи топливной массы в корпус РДТТ.

**Лист 5.** Результаты параметрического расчета температуры заполнения и равновесной температуры, представленные в графическом виде. Представляются результаты термодинамического расчета равновесного состава продуктов сгорания СТРТ.

**Расчетная часть проекта включает:**

1. Расчет термодинамических характеристик продуктов сгорания СТРТ при различных уровнях начальной температуры заряда и давления в камере сгорания.

2. Параметрический расчет температуры заполнения (начальной и конечной), а также равновесной температуры системы корпус-заряд от давления полимеризации, давления отсечки и температуры полимеризации в процессе заливки СТРТ в корпус.

3. Расчет времени отверждения заряда.

4. Расчет шнекового экструдера для транспортировки топливной массы.

**Индивидуальное задание**

1. Разные размеры шашек и тип СТРТ (длина, внутренний и наружный диаметры, количество щелей), что влияет на разрабатываемые основные и вспомогательные приспособления, потребные усилия для затяжки, момент инерции заряда (является рассчитываемой технической характеристикой). Схема заряда СТРТ представлена на рисунке 1. Исходные данные и химический состав топлива представлены в таблицах 1.1 и 1.2 соответственно.

2. Под различные размеры заряда, его геометрию и толщину бронировки проектируются корпус и приспособления конкретных размеров.

Таблица 1.1 - Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | , мм | , мм | *L*, мм | *H*, мм | , мм | *N* | Тип СТРТ |
| № варианта |
| 8 | 300 | 95 | 1800 | 210 | 20 | 6 | 2 |

Таблица 1.2 - Химический состав и некоторые тепломеханические свойства СТРТ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип СТТ | Условная химическая формула | , кДж/кг | *α∙*104, 1/К | , кг/м2 | *Cp*, Дж/(кг∙К*)* | *a* | *b* |
| 2 |  | -2123 | 3,3 | 1800 | 1124 | -0,46 | 5,2 |

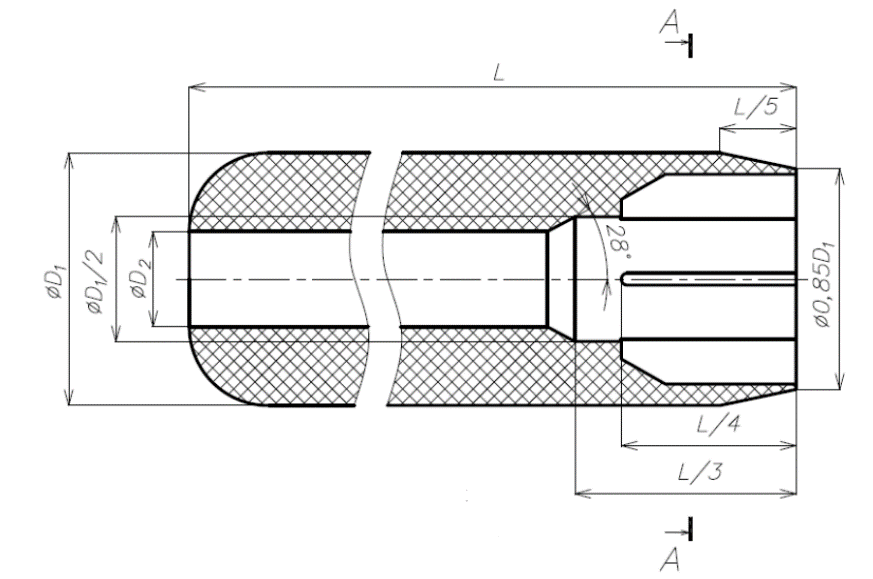
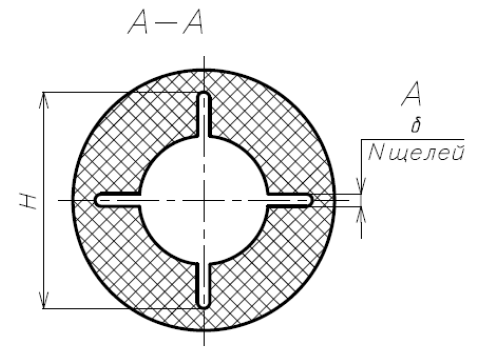


Рисунок 1 - Схема заряда СТРТ

## Характеристики топлива

В данном курсовом проекте используется топливо ARCADENE 253A

1. Состав в процентах от массы топлива:

1. перхлорат аммония − 65%;
2. полибутадиен с концевыми гидроксильными группами (ПБКГГ) − 9,44%;
3. оксамид − 5%;
4. Ди-(2-онтил)адипинат − 1%;
5. НХ−752 − 0,35%;
6. данизидизодианит − 1,21%;
7. порошкообразный алюминий − 18%.

2. Условная химическая формула:



3. Закон горения:

, ,

где p, Па − давление;

Tн, К − начальная температура заряда.

4. Плотность топлива: ρ = 1800 .

5. Теплопроводность: С = .

6. Коэффициент теплопроводности: λ = 0,41 .

7. Коэффициент линейного расширения: α = .

8. Минимальное давление устойчивого горения: р ≤ 7 кПа.

9. Эксплуатационный интервал температур**: **  .

10. Максимальная температура хранения: *Т*max = 340 К.

# Общий вид заряда СТРТ совместно с корпусом РДТТ

## Заряд СТРТ

В заряде твердого топлива можно выделить канальную и щелевую часть. Горение происходит по каналу и щелям. При горении канальной части величина поверхности горения увеличивается, так как диаметр поверхности горения увеличивается значительно быстрее, чем уменьшается длина. Канальная часть заряда горит прогрессивно. Горение щелевой части происходит с уменьшением площади горения. Щелевая часть заряда горит дегрессивно. При правильно подобранных размеров заряда обе части компенсируют друг друга, и суммарная площадь горения изменяется незначительно. Таким образом весь заряд в целом относится к нейтрально горящим зарядам. Основное достоинство таких зарядов – отсутствие дегрессивно горящих остатков топлива в конечный период горения заряда, что обеспечивает лучшие условия для догорания топлива.

К недостаткам таких зарядов можно отнести наличие концентраторов напряжения в основаниях щелей и высокие напряжения на поверхности цилиндрического канала, необходимость нанесения ТЗП на стенку камеры в районе щелей (так как они выгорают быстрее).

Канально – щелевой заряд изготавливается несколькими методами: склеиванием отдельных частей – канальной и щелевой; методом непосредственной заливки в корпус или изложницу с использованием игл, формирующих щелевую часть и канальную часть заряда.

## Корпус РДТТ

Требуется спроектировать корпус из композитных материалов (типа кокон). Корпуса такого типа изготавливаются методом намотки стекло- или органопластиков, пропитанных связующим, на оправку. После полимеризации смолы оправка удаляется. Полученная таким образом оболочка обладает высокой прочностью благодаря ориентированному расположению волокон в направлении действующих сил.

Недостаток таких корпусов заключается в их газовой проницаемости, что при работе двигателя недопустимо. Для устранения этого недостатка на внутреннюю поверхность камеры сгорания наклеивается антидиффузионный слой или наносится резиноподобный материал – защитно-крепящий слой (ЗКС), который одновременно выполняет функцию скрепления заряда со стенкой корпуса.

Внутреннее теплозащитное покрытие (ТЗП) днищ корпуса служит для защиты силовой оболочки корпуса от воздействия высокоэррозионных продуктов сгорания СТРТ. Он имеет переменный профиль толщин, определяемый условиями теплового воздействия. Обычно ТЗП максимально у полюсных отверстий корпуса и уменьшается к периферии днищ с уменьшением времени воздействия и скорости обтекания газовым потоком.

Заряд СТРТ обладает достаточной эластичностью, поэтому при изменении температуры компенсация линейных размеров относительно корпуса происходит за счет эластичности ЗКС и самого заряда. Кроме того, для раскрепления торцов заряда от днищ корпуса на участках, где напряжение в системе корпус – заряд превышают предельно допустимые в ТЗП, в днища вклеены раскрепляющие манжеты. Они изготавливаются из эластичных теплозащитных материалов, повторяющие профиль днищ и соединяющиеся с ТЗП с помощью замка манжеты. В данном случае со стороны заднего днища раскрепляющая манжета отсутствует, т.к. заряд СТРТ не соприкасается с корпусом РДТТ.

Стыковочные шпангоуты полностью выполнены из композитных материалов заодно с оболочкой. Соединение – штифто-болтовое (ШБС), так как диаметр стыкуемых объектов составляет порядка 300 мм, следовательно использование резьбовых соединений не рекомендуется, так как возникают большие условия затяжки.

В оболочке предусмотрены металлические фланцы, вмонтированные при изготовлении кокона. Фланцы необходимы для крепления сопла и установки воспламенительного устройства, которые на чертежах не указаны.

Общий вид заряда, скрепленного с корпусом РДТТ, представлен на графическом листе № 1 курсового проекта.

# Технологический процесс изготовления заряда из СТРТ

В данной работе представлена непрерывная технология изготовления заряда из смесевого твердого топлива. Блок-схема технологических процессов изготовления СТРТ и заряда из СТРТ с необходимыми операциями представлена на листе 2 графической части.

Рассматриваемый состав, как и другие высокоэнергетические СТРТ крупногабаритных зарядов представляют собой высоконаполненную гетерогенную композицию, содержащую до 90% твердого наполнителя различной химической природы, в том числе высокочувствительное взрывчатое вещество. В этой связи смешение топливной массы с целью обеспечения безопасности, необходимой воспроизводительности состава и свойств по всему объему заряда проводят в несколько приемов, предварительно получая частные смеси из нескольких компонентов.

Условно принципиальная схема изготовления зарядов представлена на рисунке 2.

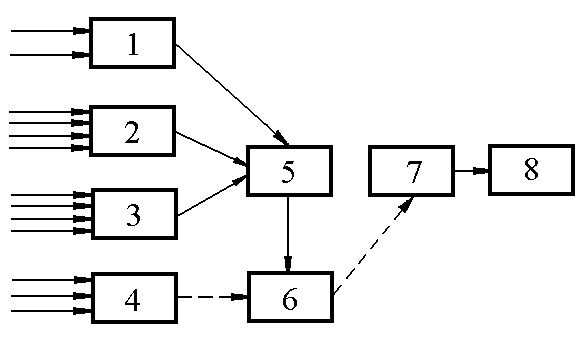


Рисунок Условная схема изготовления зарядов СТРТ

1 – приготовление РСПК; 2 – приготовление ССД; 3 – приготовление смеси отверждающих и других добавок; 4 – подготовка корпусов двигателей (пресс-форм) и формующей оснастки; 5 – смешение топливной массы; 6 – заполнение корпусов двигателей (пресс-форм); 7 – отверждение и распрессовка зарядов; 8 – окончательная обработка зарядов, контроль качества и укупорка.

## Приготовление рабочей смеси порошкообразных компонентов (РСПК)

Применительно к рассматриваемому составу в РСПК входят различные фракции перхлората аммония (ПХА), отличающиеся средним диаметром частиц и удельной поверхностью, а также антислеживающая добавка.

В общем случае применение полифракционного наполнителя по сравнению с монофракционным позволяет улучшить реологические характеристики топливной массы при постоянной объемной доле наполнителя или увеличить объемную долю наполнителя при сохранении уровня реологических характеристик.

Из дробильно-протирочного аппарата ПХА с влажностью 5-10 % мас. системой транспортеров подается в сушильный агрегат. Наиболее часто используют сушилку с псевдоожиженным («кипящим») слоем.

Она имеет корытообразный поддон, разделенный вертикальными перегородками на несколько секций. В нижней части расположена воздухораспределительная решетка, на которой находится слой ПХА, под решетку (в каждую секцию индивидуально) подается горячий (100-130 ℃) воздух.

Скорость подачи воздуха такова, что он не уносит частицы ПХА, а переводит продукт во взвешенное состояние. Сушка в стационарном «кипящем» слое является одним из эффективных средств интенсификации этого процесса, так как каждая частица имеет тесный контакт с теплоносителем. Вертикальные перегородки имеют зазоры у противоположных стенок рабочей камера, поэтому ПХА перемещается к загрузочной зоне зигзагообразно.

Рабочая фракция с кондиционными размерами частиц направляется реверсивным шнеком и системой транспортеров в накопительную емкость. Частицы более крупных и менее крупных размеров поступают в струйно-вентиляционную установку («мельницу») для измельчения.

В струйной мельнице измельчение достигается за счет взаимного соударения частиц, разгоняемых до 100-200 м/с. К достоинствам этих устройств следует отнести возможность тонкого и сверхтонкого сухого помола, отсутствие вращающихся деталей, незначительное загрязнение продуктов измельчения. Вместе с тем струйные мельницы отличаются большими удельными энергозатратами, а также требуют установки после себя громоздкой системы пылеулавливания.

Степень дисперсности регулируется углом поворота лопаток и определенной высотой отбойного конуса. Настройка установки на нужную производительность осуществляется изменением числа оборотов шнека.

Воздух с мелкими частицами выходит из сепаратора через верхний патрубок и направляется в четыре циклона. В них ПХА отделяется от воздуха и поступает в приемный бункер, где выгружается с помощью шлюзового затвора и системой транспортеров в накопитель мелкой рабочей фракции. Влажность на выходе из сушилки составляет не более 0,5% мас.

Для фракционирования ПХА применяются две струйно-вентиляционные установки.

Воздух из циклона проходит фильтрацию и воздуходувкой возвращается в разгонные устройства. Таким образом, струйная мельница имеет замкнутый цикл по воздуху.

Набранные в заданных соотношениях навески фракций загружаются в передвижной контейнер-смеситель, в него же дозируются негорючие порошкообразные компоненты, далее производится смешение всех указанных компонентов (приготовление рабочей смеси порошков - РСП) и их транспортировка в здание получения топливной массы.

Смешение осуществляется при вращении контейнера, который представляет собой аппарат периодического действия типа «пьяной» бочки. При периодическом ведении процесса смешения, во-первых, можно получить точное соотношение между компонентами смеси (при их загрузке в смеситель по массе), а, во-вторых, при относительно большом числе компонентов их дозирование в смеситель затруднено. В смесителях барабанного типа отсутствуют перемешивающие устройства, и компоненты смешиваются за счет вращения корпуса.

## Подготовка алюминия, пластификатора и ГСВ

Назначение этой технологической фазы производства СТРТ заключается в смешении каучука с пластификатором, порошкообразным алюминием, отверждающими добавками и другими компонентами (за исключением мощных ВВ: октогена и гексогена); при этом осуществляется вакуумирование смеси для удаления воздуха и летучих веществ.

Поскольку порошкообразный алюминий активен по отношению к воде, предварительно проводится процесс его пассивации и гидрофобизации в смесительных реакторах. Процесс пассивации порошкообразного алюминия заключается в создании на поверхности частиц защитного слоя из молекул пассивирующего вещества с целью компенсации химической активности поверхности. Процесс гидрофобизации порошкообразного алюминия заключается в образовании на поверхности частиц пленки гидрофобизирующего вещества, которая не смачивается водой.

Каучук вначале смешивают с пластификатором, а затем в смеситель вводят порошкообразный алюминий и другие компоненты в требуемом весовом соотношении.

Смешение осуществляют при допустимой повышенной температуре для достижения вязкости смеси и необходимом вакууме рабочего объема смесителя для исключения попадания в смесь газообразных включений. При этом необходимо соблюдать определённую длительность процесса, чтобы исключить преждевременное отверждение ГСВ.

## Подготовка корпусов двигателей и формующей оснастки

Цель операции на стадии подготовки корпусов двигателей – нанесение на его внутреннюю поверхность крепящего (клеящего) состава, обеспечивающего скрепление с зарядом топлива в процессе производства. На внутренней стороне силовой оболочки корпуса имеется защитно-крепящий резиновый слой на основе синтетических каучуков (СКН, СКЭПТ и др.), обладающий достаточной эластичностью по сравнению с материалом силовой оболочки (например, полимерный композиционный материал). Его назначение - скомпенсировать внутренние напряжения, возникающие в заряде

в результате полимеризационной и температурной усадки при отверждении.

Данная стадия технологического процесса производства заключается в нанесении защитно-крепящего слоя (ЗКС) на внутреннюю поверхность корпуса РДТТ для обеспечения адгезии с зарядом СТРТ, теплозащиты и эрозионной стойкости материала ТЗП. Крепящий состав через насос подается

в штангу распыления ЗКС. При нанесении корпус приводят во вращение вокруг своей оси. Отверждение ЗКС происходит при повышенных температурах путем термостатирования в специальных кабинах при температуре 50-60 °С.

Регламентируется срок и условия хранения подготовленного корпуса до

заполнения топливной массой (~ 10-15 суток).

В технологическую (формующую) оснастку входят следующие основные элементы: игла с формующими секциями, узел силового крепления иглы, узел ввода, система поддавливания и отсечки топливной массы после заполнения и другие. Сущность подготовки заключается в том, что элементы, соприкасающиеся с топливной массой после заполнения корпуса, покрывают

антиадгезионным слоем с тем, чтобы после отверждения заряда эти формующие элементы можно было безопасно извлечь (распрессовать заряд). Как правило, для покрытия используют кремнийорганические (силиконовые)

каучуки в виде раствора.

При изготовлении зарядов СТРТ антиадгезионные покрытия наносят и на пресс-форму, которую заполняют топливом.

## Смешение топливной массы

Смешение - один из важнейших технологических процессов в производстве зарядов СТРТ. В результате его осуществления формируются реологические свойства топливной массы и выходные характеристики зарядов.

Цель смешения - равномерное распределение компонентов по объему, получение однородной по химическому составу массы, достижение стабильности ее характеристик. Смешение - вероятностный процесс и с этих позиций его цель - превращение исходной системы, характеризующейся упорядоченным распределением ингредиентов, в систему с неупорядоченным, случайным распределением. С позиции структуры цель смешения - увеличение контакта между компонентами. Идеально перемешанная система, в которой поверхность контакта между дисперсионной средой и дисперсионной фазой равна поверхности всех частиц дисперсной среды. Способ смешения в производстве зарядов для МБР - периодический, т.к. в объемных (гравитационных) смесителях загрузка не более 5-7 т. массы.

Для получения и переработки топливных масс методом литья под давлением используют смеситель непрерывного действия (СНД), схема которого показана на листе 2 курсового проекта. СНД состоит из предварительного смесителя с бункером, имеющий загрузочный люк для подачи компонентов или предварительно подготовленной топливной композиции.

В нижней части корпуса находится продольное окно, соединяющееся с цилиндрическим каналом, в котором располагается шнек предварительного смесителя; в нем топливная масса подвергается интенсивной дополнительной механической обработке. При этом топливная масса передвигается вдоль оси шнека, перемешивается, нагревается и охлаждается, а затем через решетку, установленную в конце канала, подается в вакуумную камеру и вакуумный смеситель. В них создается разрежение, благодаря чему из топливной массы удаляется воздух и другие газообразные вещества.

Корпус предварительного смесителя снабжён рубашкой, в шнеке имеется полость для водяного обогрева (охлаждения) топливной массы.

Напорный экструдер аналогичен предварительному смесителю, но отличается размерами. Он так же имеет рубашку, а в шнеке – полость для подачи технической воды. Патрубок экструдера заканчивается переходником, к которому подсоединяется пресс-форма (корпус двигателя).

В рубашки корпусов смесителей и в полости шнеков подается вода заданной температуры. Датчики, установленные в боковых стенках корпусов, перед решеткой канала предварительного смесителя и в переходнике вакуумного смесителя, подсоединены к линиям вторичных приборов. Устанавливаются пределы колебаний температуры топливной массы (для каждого конкретного состава) во всех контролируемых точках. Таким образом, в аппарате СНД совмещаются операции смешения компонентов, вакуумирование топливной массы и ее нагнетания в пресс - форму или корпус двигателя, которые могут располагаться горизонтально или вертикально.

## Завершающие операции производства

**Полимеризация и остывание**

На стадии производства обеспечиваются механические характеристики, геометрические размеры, плотность, равновесная температура и другие характеристики зарядов. Отверждение определяет эффективность всего технологического процесса, так как составляет около 80% общего времени изготовления зарядов СТРТ.

Отверждение - физико-химический процесс перехода топливной массы из вязкого или упруговязкого состояния в упругое (вязкоупругое) вследствие структурирования, обусловленного прежде всего химическими реакциями между макромолекулами полимерной основы ГСВ и образованием физической структуры.

На стадии отверждения (полимеризации) топливной массы завершается формирование структуры и физико-механических свойств зарядов в результате протекания химических реакций и различных физико-химических процессов.

При полимеризации происходят различные химические превращения и физико-химические процессы при повышенной температуре, в результате которых осуществляется «сшивка» молекулярных цепей связующего и образуется единый пространственный каркас сплошной полимерной матрицы, содержащей высококонцентрированную дисперсную фазу наполнителей.

Процессы полимеризации сопровождаются выделением теплоты и протекают самопроизвольно с уменьшением энергии Гиббса в системе.

При полимеризации в массе (полимеризации в блоке) характерна высокая вязкость реакционной среды при больших степенях превращения, вследствие чего затрудняется тепло- и массообмен. Поэтому скорость процесса регулируют таким образом, чтобы избежать чрезмерного разогрева в центре реакционной массы.

Продолжительность технологической фазы отверждения составляет 70-80% от всего времени изготовления зарядов и может достигать от нескольких до 25 суток и более. Это самая длительная операция производственного цикла от изготовления топлива до создания ракетного заряда.

Отверждение заряда происходит в специальных кабинах или шахтах в горизонтальном или вертикальном положении. Шахта представляет собой бетонированный колодец круглого сечения, в котором регулируют и контролируют температуру воздуха при термостатировании заполненных топливом пресс-форм для вкладных зарядов и корпусов двигателей для скрепленных зарядов. Иглы имеют полости для термостатированиия водой с нужной температурой. При отверждении так же контролируют давление топливной массы в пресс-форме или корпусе двигателя.

После окончания процесса отверждения изделие охлаждают в тех же шахтах или кабинах подачей воздуха определенной температуры. В крупногабаритных изделиях охлаждают иглу за счет подачи воды. Режимы охлаждения должны быть как можно более короткими и исключать возникновение опасных напряжений и деформаций в системе при ускорении этого процесса, которые могут приводить к появлению дефектов в заряде. Обычно процесс охлаждения крупных изделий продолжается в течении нескольких суток.

**Распрессовка**

На фазе распрессовки удаляется формирующая технологическая оснастка из заряда. При распрессовке выполняются следующие операции: разборка соединительных элементов, снятие отсекателя, снятие крышки, извлечение технологической иглы.

Основные параметры, контролируемые при распрессовке: усилие, необходимое для отрыва детали от оснастки по давлению масла в системе гидроцилиндров; скорость отрыва или удаления деталей останки; усилие и скорость выталкивания заряда из пресс-формы.

Для распрессовки зарядов применяют следующее оборудование и приспособления: гидравлические стационарные и придвижные пресс-станции; гидроцилиндры различных типов; маслостанции; платформа с регулируемым ложементом; подъемно-перегрузочные устройства.

С целью обеспечения безопасности ограничивают предельные усилия распрессовки, например, срыв бандажа - , извлечение иглы -.

**Механическая обработка**

Механическая обработка заготовок проводится для придания им размеров, соответствующих требованиям чертежа на заданный заряд. Некоторые заряды имеют сложную форму, которая не может быть обеспечена полностью в процессе изготовления изделия. Некоторые заряды, скрепленные со стенками корпуса двигателя так же подвергаются механической обработке (непосредственно в корпусе), например, производится расточка канала, доработка щелевой части, вырубка «прибыли» и другие работы.

СТРТ имеет сравнительно низкую температуру воспламенения и высокую чувствительность к тепловым импульсам, что обязывает вести механическую обработку при температуре в зоне резания не больше 100 ℃, а также высокую чувствительность к удару, особенно удару с трением, что требует большой устойчивости режущего инструмента.

Операция механической обработки проводится, как правило, при дистанционном управлении и телевизионном контроле, с охлаждением зоны резания и удалением стружки сжатым воздухом. В резец вмонтирован датчик температуры. Непрерывная запись температуры стружки производится на диаграммной ленте электронного потенциометра, который связан с электродвигателем станка. Схема настраивается на определенный температурный режим: в случае превышения допустимой температуры происходит автоматическое отключение станка. Предусмотрена так же блокировка входных дверей кабины с приводом станка.

После механической обработки поверхность заряда очищается от пыли сухим протирочным материалом, затем поверхность обезжиривается с помощью марли, смоченной ацетоном, и подвергается грунтовке. Она заключается в нанесении на поверхность, подлежащую бронированию, тонкого слоя специального состава для увеличения адгезии бронепокрытия.

**Контроль качества**

Контроль качества зарядов включает проверку химического состава топлива, его механические характеристики и скорости горения, прочности скрепления топлива со стенками корпуса двигателя и сплошности этого скрепления, монолитности заряда, его геометрических и весовых характеристик и др.

Интроскопический неразрушающий контроль для обнаружения дефектов в виде посторонних включений, трещин, разноплотности и других дефектов в изделиях ТРТ, 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 показана на листе 2 курсового проекта. Генератор 22 подает электрические колебания на пьезоэлемент излучающего преобразователя 23, который генерирует ультразвуковые колебания. Последние проходят через изделие 24 и попадают на пьезоэлемент приемного преобразователя 25, откуда электрические колебания поступают в приемник 26. Здесь поступающие электрические сигналы усиливаются и преобразуются в ток регистрирующего устройства 27. В случае, если луч УЗК частично или полностью перекрывается дефектом, интенсивность колебаний в той или иной степени ослабевает, и регистрирующее устройство на дефектрограмме дает отметку о наличии дефекта в объеме изделия.

Принятая методика предусматривает диаметральный и радиальный способы контроля.

Применение диаметральной или радиальной схемы просвечивания определяется габаритами изделия и наличием или отсутствием канала. Контролирующее устройства может оставаться неподвижным в случае, когда изделие вращается и поступательно перемещается. Если изделие только вращается, то контролирующее устройство перемещается вдоль образующей изделия.

После операции контроля качества производится укупорка корпуса, установка воспламенительного устройства и сопловой заглушки.

# Расчетная часть

## 4.1. Расчет толщины стенки корпуса

При расчете обечайки на прочность примем, что корпус состоит из днищ с полюсными отверстиями для крепления соплового блока и воспламенителя, полученных спиральной намоткой по геодезической линии, и цилиндрической обечайки, внутренний слой которой образован спиральной намоткой (с линейно меняющимся по длине углом намотки) как одно целое с днищами, а наружный слой – кольцевой намоткой. Схема такой намотки представлена на рисунке 3.

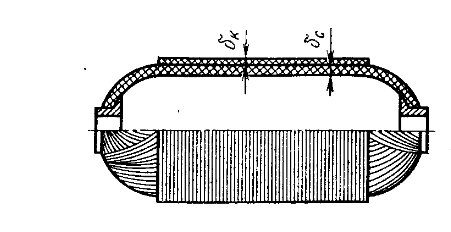


Рисунок Схема намотки корпуса РДТТ

Толщина слоя стенки цилиндрического корпуса, образованная спиральной намоткой, определяется по формуле:



где

 - максимально возможное давление в камере двигателя,

 - внутренний диаметр цилиндрической части обечайки,

 - диаметр наибольшего полюсного отверстия,

 - предел прочности на растяжение.

Для расчета принимаем следующие значения параметров:



С учетом выбранных параметров произведем расчет толщины цилиндрической части корпуса:



Для удобства расчетов принимаем толщину стенки равной 5 мм.

## 4.2. Расчет коэффициента массового совершенства двигателя

Разработанный чертёж общего вида СТРТ совместно с корпусом РДТТ из композиционного материала представлен на листе 1 графической части курсового проекта. Чертёж выполнен c помощью ПК «КОМПАС 3D» и содержит необходимое количество проекций, разрезов и сечений.

Расчет масс заряда СТРТ, ТЗП, корпуса РДТТ, переднего и заднего фланцев был произведен c помощью «КОМПАС 3D».

Для элементов конструкции были приняты следующие материалы:

* Корпус РДТТ: ВМН-4 (композиционный материал на основе углеродных волокон), 
* Заряд СТРТ: 
* Передний и задний фланцы: титан ВТ-14, 
* ТЗП: П-5-7 (стеклопластик), 

Получены следующие значения масс:









Расчет коэффициента массового совершенства конструкции РДТТ:



## 4.3. Оценка критического сечения

Примем, что максимальное давление к камере сгорания равно Постоянная скорости горения и показатель в законе горения для заданного топлива соответственно равны:  Единичная скорость горения определяется как:



Из программного комплекса «Терра» для температуры топлива  и давления в КС равным найдены следующие термодинамические параметры:



Запишем формулу Бори:



из которой выразим площадь критического сечения:

 где

- плотность топлива,

 - площадь горения,

 - единичная скорость горения,

- температура в КС,

 - газовая постоянная,

- давление в КС,

 - комплекс,

- показатель в законе горения.

Площадь горения заряда была определена с помощью модели заряда, построенной в ПК «Компас 3D» и равна: 

Комплекс равен:



Таким образом площадь критического сечения равна:



Следовательно диаметр критического сечения равен:



## 4.4. Термодинамический расчет продуктов сгорания СТРТ

Для известного состава СТРТ были произведены термодинамические расчеты, которые были направлены на определение характеристик продуктов сгорания СТРТ в камере для широкого диапазона условий эксплуатации РДТТ. Расчеты выполнялись с помощью программы «Астра». Файлы исходных данных формировались в следующем виде:

┌──────────── Исходные данные ────────────────────────────────────────────┐

Исходный состав:(C9.490H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672- 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =0

2-й параметр: p =4,5.5,7,8.5,10

└─────────────────────────────────────────────────────────────────────────┘

Энтальпия СТРТ зависит от начальной температуры топлива и определяется исходя из уравнения, характерного для слабого изменения теплоемкости вещества в исследуемом диапазоне температуры:



Расчеты проводятся для начальных температур СТРТ *Т* = 250…320 К с шагом 10 К. Для каждого расчета, соответствующего определенной начальной температуре топлива, производится варьирование давления в камере сгорания в диапазоне 4…10 МПа с шагом 1,5 МПа.

Влияние начальной температуры топлива на значение энтальпии приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Зависимость от *T*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 250 | 260 | 270 | 280 |
|  | -2177.1206 | -2165.8806 | -2154.6406 | -2143.4006 |
|  | 290 | 300 | 310 | 320 |
|  | -2132.1606 | -2120.9206 | -2109.6806 | -2098.4406 |

Зависимости температуры , газовой постоянной в КС и массовой доли конденсированных частиц Z от  и  представлены в таблицах 4.2, 4.3, 4.4 соответственно.

Таблица 4.2 – Зависимость  от  и 

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , МПа  , К | 4,0 | 5,5 | 7,0 | 8,5 | 10,0 |
| 250 | 3309,62 | 3332,21 | 3348,50 | 3361,08 | 3371,24 |
| 260 | 3312,85 | 3335,58 | 3351,98 | 3364,64 | 3374,87 |
| 270 | 3316,07 | 3338,94 | 3355,44 | 3368,19 | 3378,49 |
| 280 | 3319,27 | 3342,29 | 3358,89 | 3371,73 | 3382,10 |
| 290 | 3322,47 | 3345,62 | 3362,33 | 3375,26 | 3385,70 |
| 300 | 3325,66 | 3348,94 | 3365,76 | 3378,77 | 3389,29 |
| 310 | 3328,83 | 3352,26 | 3369,18 | 3382,28 | 3392,87 |
| 320 | 3331,99 | 3355,56 | 3372,59 | 3385,77 | 3396,43 |

Таблица 4.3 – Зависимость  от  и 

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , МПа  , К | 4,0 | 5,5 | 7,0 | 8,5 | 10,0 |
| 250 | 427,201 | 426,171 | 425,428 | 424,849 | 424,378 |
| 260 | 427,176 | 426,140 | 425,392 | 424,810 | 424,336 |
| 270 | 427,151 | 426,109 | 425,356 | 424,770 | 424,293 |
| 280 | 427,125 | 426,077 | 425,319 | 424,730 | 424,250 |
| 290 | 427,100 | 426,045 | 425,283 | 424,690 | 424,207 |
| 300 | 427,074 | 426,012 | 425,246 | 424,649 | 424,163 |
| 310 | 427,048 | 425,980 | 425,209 | 424,609 | 424,120 |
| 320 | 427,021 | 425,947 | 425,171 | 424,568 | 424,076 |

Таблица 4.4 – Зависимость Z от  и 

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , МПа  , К | 4,0 | 5,5 | 7,0 | 8,5 | 10,0 |
| 250 | 0,3193 | 0,3195 | 0,3196 | 0,3197 | 0,3198 |
| 260 | 0,3191 | 0,3192 | 0,3194 | 0,3195 | 0,3196 |
| 270 | 0,3188 | 0,3190 | 0,3192 | 0,3193 | 0,3194 |
| 280 | 0,3186 | 0,3188 | 0,3190 | 0,3191 | 0,3192 |
| 290 | 0,3184 | 0,3186 | 0,3187 | 0,3188 | 0,3189 |
| 300 | 0,3182 | 0,3184 | 0,3185 | 0,3186 | 0,3187 |
| 310 | 0,3180 | 0,3182 | 0,3183 | 0,3184 | 0,3185 |
| 320 | 0,3177 | 0,3179 | 0,3181 | 0,3182 | 0,3183 |

Зависимости температуры, газовой постоянной в КС и массовой доли конденсированных частиц от начальной температуры представлены на графическом листе № 5 курсового проекта. Полный отчет расчетов представлен в Приложении А.

Химический состав продуктов сгорания для температуры 298 К и давления 6 МПа представлен в Приложении Б.

## 4.5. Расчет равновесной температуры

В данной курсовой работе необходимо рассчитать температуры заполнения (начальной и конечной), а также равновесные температуры системы корпус – заряд в зависимости от давления полимеризации, давления отсечки и температуры полимеризации в процессе заливки СТРТ в корпус.

**Исходные данные:**

Геометрические параметры заряда и корпуса:

внутренний радиус заряда ,

внешний радиус заряда ,

внешний радиус корпуса .

**Механические свойства материала корпуса:**

* Модуль Юнга:

- в окружном направлении:  ,

- в осевом направлении: ,

* Коэффициент Пуассона:,
* Напряжение разрушения:,
* Коэффициент запаса прочности:,
* Температурный коэффициент линейного расширения:

- в окружном направлении: ,

- в осевом направлении: ,

* Остаточная деформация корпуса:

- в окружном направлении:,

- в осевом направлении: ,

**Механические свойства топлива:**

* Модуль Юнга: ,
* Коэффициент Пуассона топлива: ,
* Напряжение разрушения топлива: ,
* Коэффициент запаса прочности:,
* Коэффициент термического расширения: ,
* Термическая усадка топлива: ,
* Сжимаемость топливной массы: ,
* Температура полимеризации:,
* Давление отсечки:.

**Механические свойства иглы:**

* Коэффициент термического расширения: .

**Расчет безразмерных и размерных коэффициентов**











**Расчет предельного давления полимеризации**



**Расчет равновесной температуры** (для:



**Расчет необходимой температуры заполнения**



**Определение параметров заполнения с учетом тепловых потерь**

Средняя температура воздуха:



где температуры воздуха  определяются по таблице 4.5:

Таблица 4.5 - Температура воздуха при заполнении корпуса

|  |  |
| --- | --- |
| **Интервал времени, ч** | **Температура воздуха, К** |
| 0...2 |  |
| 2…3 |  |
| >3 |  |

Потери температуры в процессе полимеризации определяются в зависимости от времени полимеризации и среднего температурного перепада по рисунку 4.

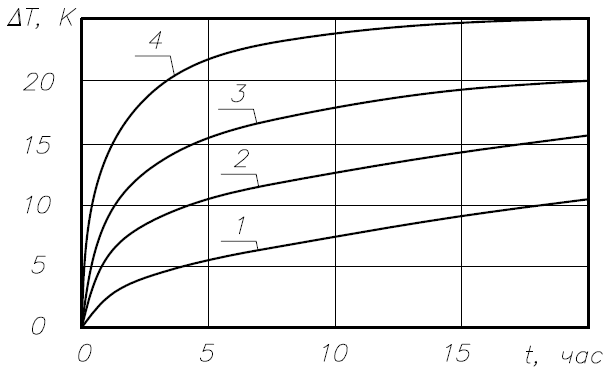


Рисунок 4 - Зависимость потери температуры от времени полимеризации для различных температурных перепадов:  

Примем, что 

Начальная температура заполнения:



Аналогичные расчеты проводятся для температур .

Графики зависимости характерных температур от температуры полимеризации заряда СТРТ представлены на графическом листе № 5 курсового проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Зависимость параметров от 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 350 | 306,385 | 312,499 | 18 | 330,499 |
| 375 | 331,385 | 337,499 | 23,75 | 361,249 |
| 400 | 356,385 | 362,499 | 29 | 391,499 |

## 4.6. Расчет напряжений в месте стыка корпус-заряд при различной температуре

Далее проводится расчет зависимости напряжения в месте стыка заряда с корпусом при различной температуре полимеризации. Требуется определить допустимые уровни температуры, при которых модуль напряжения в месте стыка корпус – заряд не превышает допустимых (15…25 МПа) значений.

Напряжение в месте стыка заряд-корпус определяется по формуле:



Согласно полученным данным графическим методом определяется диапазон рабочих температур, при которых модуль напряжения в месте стыка заряд-корпус не превышает допустимых значений.



Аналогичные расчеты проводятся для температур  *=* 350, 375, 400 К при разных температурах заполнения.

Графики зависимости напряжения в месте стыка корпус-заряд при различной температуре заполнения представлены на графическом листе № 5 курсового проекта. Результаты расчетов представлены в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Зависимость  , Па от *Т*, К

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 350 | 375 | 400 |
| 275 |  |  |  |
| 300 |  |  |  |
| 325 |  |  |  |
| 350 |  |  |  |
| 375 |  |  |  |

## 4.7. Оценка степени полимеризации от времени полимеризации

Степень полимеризации заряда имеет зависимость от времени и температуры полимеризации:



где - энергия активации,  - газовая постоянная - константа скорости полимеризации.

Примем, что время полимеризации определяется условием  и определим зависимость степени полимеризации от времени для температуры

.

Тогда время полимеризации определяется как:

.

Графики зависимости степени полимеризации от времени при различной температуре полимеризации представлены на графическом листе № 5 курсового проекта.

## 4.8. Расчет шнекового экструдера

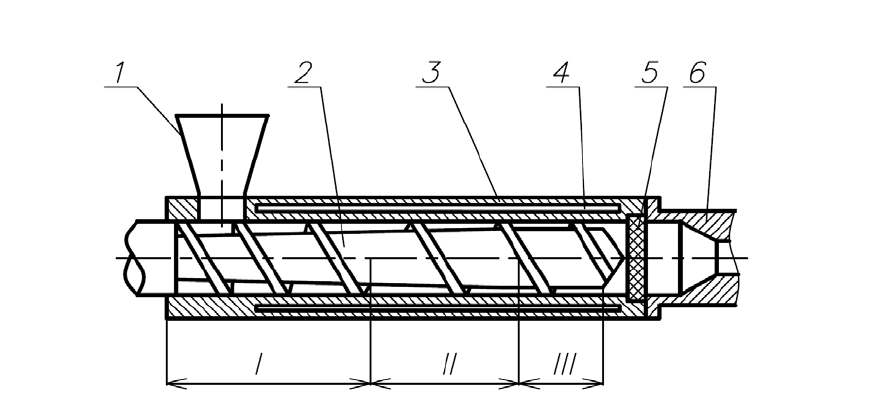
На этапе проектирования шнекового необходимо произвести расчет и разработать чертеж общего вида экструдера. Схема одношнекового экструдера представлена на рисунке 5. Экструдер работает следующим образом: рабочее тело (топливная масса или бронирующий состав) из бункера 1 поступает в корпус 3, где захватывается 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 транспортировки в корпусе могут быть предусмотрены каналы теплоносителя 4.

Рисунок 5. Шнековый экструдер: 1-бункер, 3-шнек, 3-корпус, 4-каналы теплоносителя, 5-формирующая решетка, 6-головка. I-зона питания, II-зона сжатия, III-зона дозирования.

На рисунке 6 показана схема с переменной глубиной нарезки и указаны основные геометрические параметры.

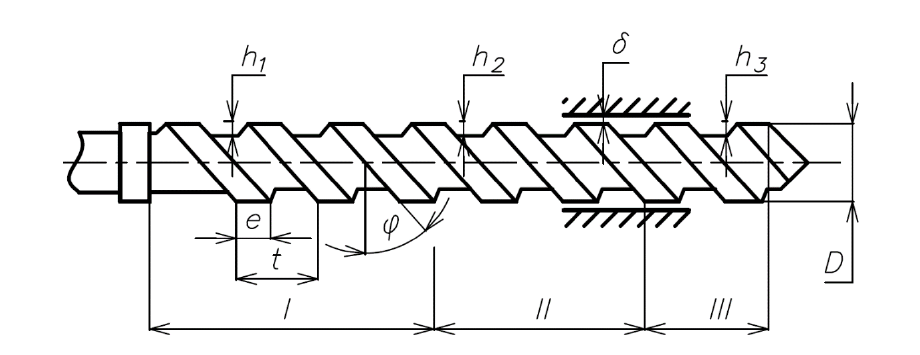


Рисунок 6. Схема шнека: I - зона питания, II - зона сжатия, III – зона дозирования

Основные геометрические параметрами шнека являются:

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 корпуса ;
7. угол подъема винтовой линии нарезки шнека ;

Обычно применяются цилиндрические шнеки с постоянным шагом и переменной глубиной винтового канала. Они сравнительно просты в изготовлении и обеспечивают высокую производительность. Диаметр шнеков отечественных экструдеров регламентирован ГОСТ 14773 и составляет размерный ряд: 20; 32; 45; 63; 90; 125; 160; 200; 320; 450; 630 мм.

В качестве основного исходного параметра для расчета экструдера принимается его производительность. Для известной производительность экструдера можно определить диаметр шнека из следующего соотношения:

,

где *Q –* объемная производительность, ; *D –* диаметр шнека, мм;  – коэффициент, учитывающий утечки и осевые перетечки рабочего тела.

Объемный расход через экструдер должен обеспечивать наполнение 5 корпусов РДТТ за время не более 20 минут. Объем единичного заряда был найден в ПК «КОМПАС – 3D» и составляет , тогда потребная объемная производительность будет равна:

.

Тогда диаметр шнека с учетом потребной производительности будет равен:



Полученное значение диаметра шнека округлим до ближайшего значения из стандартного ряда диаметров шнека. Принимаем диаметр шнека равным

На практике шаг винтовой нарезки шнека рекомендуется принимать постоянным по длине шнека. Принимаем

Угол наклона винтовой поверхности определяется из соотношения, рад:

.

Средние глубины винтового канала шнеков в каждой из зон принимаются равными:

- в зоне питания:

- в зоне дозирования:



- в зоне сжатия: 

Ширина ребра и величина зазора выбирается в соответствии со следующими рекомендациями:





Критическая частота шнека равна:



Рабочая частота вращения шнека выбирается в диапазоне:



На практике частота вращения находится в пределах от 

В расчетах принимаем 

Для течения в экструдере средняя угловая скорость сдвига определяется из следующего уравнения:



Коэффициент динамической вязкости для неньютоновских жидкостей, к которым относятся бронирующие составы и топливные массы, зависит от угловой скорости сдвига и может быть аппроксимирован зависимостью:



где *a=*-0,46*, b=*5,2 – эмпирические коэффициенты рабочего тела экструдера

Далее определим длину шнека, исходя из значения максимального давления в экструдере, которое в 2,25 раза больше давления отсечки и равно:





Длина каждой зоны выбирается из рекомендованных соотношений:

- зона питания 

- зона сжатия 

- зона дозирования 

### 4.8.1. Расчет подшипников

После расчета основных геометрических параметров экструдера требуется выбрать конфигурацию и провести расчеты подшипников согласно методикам, изученных в курсе «Детали машин». Обычно, ввиду значительных нагрузок, шнек экструдера установлен в корпусе с помощью нескольких радиальных (обычно двух) и одного упорного подшипников. При этом конструкция экструдера должна обеспечивать отсутствие осевой нагрузки на радиальных подшипниках.

В расчетах принимается, что максимальное осевое усилие  на шнек определяется по следующей формуле:



В случае использования одного упорного подшипника принимают, что осевое усилие на нем равно .

Усилие поперечного нагружения обычно находится в диапазоне:



В курсовом проекте допускается предположить, что поперечное усилие сосредоточено в области бункера, где осуществляется загрузка топливной массы или бронирующего покрытия. Из соотношения моментов сил определяются поперечные нагрузки на каждый из радиальных подшипников .

Выбор подшипников осуществляется из предположения, что максимальная осевая (для упорного подшипника) и поперечная (для радиального подшипника) нагрузки  соответственно не должны превышать 50…70 % статической грузоподъемности подшипников . При этом статическая грузоподъемность и основные геометрические параметры подшипников должны выбираться в соответствии с ГОСТ 7872-89 и ГОСТ 838-57.

Следует отметить, что если осевые и поперечные нагрузки слишком велики, то следует предусмотреть узлы разгрузки, которые проектируются из конструктивных и технологических возможностей производства. Чаще всего используются гидравлические разгружающие устройства и сдвоенные шнеки, что, главным образом, снижает максимальное осевое усилие  на шнек.

После выбора подшипников следует определить ресурс их работы (вычисляемый в миллионах оборотов) до наступления момента, когда вероятность отказа становится более 10 %.

В качестве упорного подшипника был выбран упорный роликовый подшипник 9156 ГОСТ 23526-79. Характеристики подшипника указаны в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Характеристики подшипника 9156

|  |  |
| --- | --- |
| Диаметр отверстия внутреннего кольца, мм | 280 |
| Наружный диаметр подшипника, мм | 350 |
| Масса подшипника, кг | 10,5 |
| Высота подшипника, мм | 53 |
| Радиус монтажной фаски подшипника, мм | 2,5 |
| Наружный диаметр тугого кольца, мм | 347 |
| Диаметр отверстия свободного кольца, мм | 283 |
| Плотность стали подшипника, г/см3 | 7,85 |
| Статическая грузоподъемность, Н | 3450000 |
| Динамическая грузоподъемность, Н | 670000 |
| Тело качения | цилиндрические ролики |
| Стандарт | ГОСТ 23526-79 |

Воспринимаема подшипником осевая нагрузка меньше 70% статической грузоподъемности:



Ресурс работы подшипника до наступления момента, когда вероятность отказа становится более 10%, млн. об.:



в часах:



Для нахождения поперечных усилий, действующих на радиальные подшипники, была построена расчетная схема, представленная на рисунке 7.



Рисунок 7. Расчетная схема для нахождения поперечных усилий, действующих на радиальные подшипники.

Чтобы учесть массу шнека, в схему была введена распределенная нагрузка , численно равная линейной плотности стальной толстостенной трубы диаметром 203 мм и толщиной стенки 45 мм (ГОСТ 23270-78), приведенная к усилию на единицу длины.

Сумма моментов относительно шарнирно-подвижной опоры в точке А: 

Сумма моментов относительно шарнирно-неподвижной опоры в точке B:





Так как усилия достаточно сильно отличаются, подшипники были выбраны разные. На левую опору был выбран радиально-упорный шариковый подшипник 1036940 ГОСТ 831-75. Характеристики подшипника указаны в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Характеристики подшипника 1036940

|  |  |
| --- | --- |
| Внутренний диаметр, мм | 200 |
| Наружный диаметр подшипника, мм | 280 |
| Масса подшипника, кг | 6,25 |
| Ширина подшипника, мм | 38 |

Продолжение таблицы 4.9

|  |  |
| --- | --- |
| Радиус монтажной фаски подшипника, мм | 3,5 |
| Плотность стали подшипника, г/см3 | 7,85 |
| Статическая грузоподъемность, Н | 204000 |
| Динамическая грузоподъемность, Н | 166000 |
| Тело качения | шариковый |

Воспринимаема подшипником радиальная нагрузка меньше 70% статической грузоподъемности:



Ресурс работы подшипника до наступления момента, когда вероятность отказа становится более 10%, млн. об.:



в часах:



На правую опору был выбран радиальный шариковый подшипник 134 ГОСТ 8338-75. Характеристики подшипника указаны в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Характеристики подшипника 134

|  |  |
| --- | --- |
| Внутренний диаметр, мм | 170 |
| Наружный диаметр подшипника, мм | 260 |
| Масса подшипника, кг | 6,91 |
| Ширина подшипника, мм | 42 |
| Радиус монтажной фаски подшипника, мм | 3,5 |
| Плотность стали подшипника, г/см3 | 7,85 |

Продолжение таблицы 4.10

|  |  |
| --- | --- |
| Статическая грузоподъемность, Н | 134000 |
| Динамическая грузоподъемность, Н | 168000 |
| Тело качения | шариковый |

Воспринимаема подшипником радиальная нагрузка меньше 70% статической грузоподъемности:



Ресурс работы подшипника до наступления момента, когда вероятность отказа становится более 10%, млн. об.:



в часах:



Здесь *C* ‑ динамическая грузоподъемность подшипника; *X* ‑ коэффициент осевой динамической нагрузки; *Y* ‑ коэффициент радиальной динамической нагрузки; *KV* ‑ коэффициент вращения; *K*Б ‑ 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;

- для упорных подшипников *Y* = 0; *X* = 1, *KV* = 1;

Коэффициенты *K*Б и *K*T обычно выбирают из условий работы. Учитывая кратковременные перегрузки при работе экструдера до 300 % рекомендовано принимать *K*Б = 2,5…3. Температурный коэффициент выбирается с учетом допустимого нагрева корпуса подшипника при его работе согласно таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Значения температурного коэффициента

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Рабочая температура, °C | *K*T | Рабочая температура, °C | *K*T |
| <100 | 1 | 175…200 | 1,25 |
| 100…125 | 1,05 | 200…225 | 1,35 |
| 125…150 | 1,10 | 225…250 | 1,40 |
| 150…175 | 1,15 |  |  |

Далее следует выбрать электродвигатель 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. В этом случае примем:





где *k*доп = 2 коэффициент дополнительных потерь на трение в зазоре между корпусом и шнеком экструдера.



Мощность двигателя  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.



Выбираем электродвигатель постоянного тока 75 кВт, 3000 об/мин, модель 4 АМУ250S2.

# Результаты проектирования. Выводы

При выполнении курсового проекта были проведены следудующие проектные работы и получены результаты:

1) Разработан чертеж общего вида заряда СТРТ с необходимыми разрезами и видами согласно исходным данным. Масса заряда .

2) Разработанная блок-схема технологических процессов изготовления ТРТ и заряда разделена на несколько этапов: подготовка порошкообразных компонентов, подготовка алюминия, подготовка ГСВ, подготовка жидких компонентов, приготовление топливной смеси и звершающие операции. Каждому этапу соответсвует средняя рабочая температура и массовое содержание участвующих в процессе компонентов. В качестве способа получения заряда СТРТ выбран метод литья под давлением, поскольку данный метод обеспечивает необходиое качество структуры заряда в результате полимеризации.

3) В качестве технологической оснастки для изготовления заряда СТРТ была спроектирована формообразующая игла. В процессе проектирования были предусмотрены следующие элементы конструкции иглы: средства фиксации оснастки в сборе в виде рым-болта, возможность подключения гидравлических и пневматических магистралей для подачи топлива и обеспечения внутреннего рабочего давления, герметичное соединение оснастки с полюсными отверстиями корпуса двигателя.

4) Спроектированный экструдер создает давление подачи 10 МПа и обеспечивает объемную производительность *Q*=0,4207 дм3/c. Для поддержания безопасного процесса литья под давлением требуется термостатирование топливной массы при температуре *T* =333-373 K.

Выполненные расчеты подтверждают принципиальную возможность создания заряда из СТРТ согласно разработанной блок-схеме и рассчитанным режимам изготовления и эксплуатации, удовлетворяющего условиям задания на проектирование, при формообразовании которого может быть использована спроектированная технологическая оснастка.

# Приложение А



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2177.12

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.218e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3309.62 v=0.240615 S=9.48549 I=-2177.12

U=-3052.88 M=38.1078 Cp=1.90132 k=1.18057 Cp'=3.47403

k'=1.1491 Ap=0.0003816 Bv=0.0003761 Gt=0.257210e-6 MMg=19.4624

Rg=427.201 Cpg=2.04375 kg=1.26427 Cp'g=3.68162 k'g=1.2039

Mu=0.0000924 Lt=0.400101 Lt'=1.0506 Pr=0.471841 Pr'=0.323697

A=1044.15 z=0.319273 Bm=0.0556599

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2165.88

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.217e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3312.85 v=0.240912 S=9.48889 I=-2165.88

U=-3042.81 M=38.1147 Cp=1.90139 k=1.18062 Cp'=3.48619

k'=1.1491 Ap=0.0003818 Bv=0.0003764 Gt=0.257256e-6 MMg=19.4635

Rg=427.176 Cpg=2.04371 kg=1.26426 Cp'g=3.69228 k'g=1.2038

Mu=0.0000924 Lt=0.40038 Lt'=1.05533 Pr=0.471775 Pr'=0.323365

A=1044.73 z=0.319058 Bm=0.0557145

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2154.64

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.215e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3316.07 v=0.241209 S=9.49228 I=-2154.64

U=-3032.73 M=38.1216 Cp=1.90146 k=1.18066 Cp'=3.49838

k'=1.14911 Ap=0.0003821 Bv=0.0003766 Gt=0.257303e-6 MMg=19.4647

Rg=427.151 Cpg=2.04366 kg=1.26424 Cp'g=3.70295 k'g=1.20371

Mu=0.0000925 Lt=0.400657 Lt'=1.06007 Pr=0.471709 Pr'=0.323037

A=1045.31 z=0.318842 Bm=0.0557693

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2143.4

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.214e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3319.27 v=0.241504 S=9.49567 I=-2143.4

U=-3022.65 M=38.1286 Cp=1.90153 k=1.18071 Cp'=3.5106

k'=1.14912 Ap=0.0003824 Bv=0.0003768 Gt=0.257349e-6 MMg=19.4659

Rg=427.125 Cpg=2.04362 kg=1.26423 Cp'g=3.71362 k'g=1.20361

Mu=0.0000925 Lt=0.400933 Lt'=1.0648 Pr=0.471643 Pr'=0.322711

A=1045.89 z=0.318624 Bm=0.0558243

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2132.16

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.213e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3322.47 v=0.2418 S=9.49905 I=-2132.16

U=-3012.57 M=38.1356 Cp=1.90159 k=1.18076 Cp'=3.52286

k'=1.14912 Ap=0.0003827 Bv=0.0003771 Gt=0.257395e-6 MMg=19.467

Rg=427.1 Cpg=2.04357 kg=1.26422 Cp'g=3.72431 k'g=1.20352

Mu=0.0000926 Lt=0.401207 Lt'=1.06954 Pr=0.471576 Pr'=0.322389

A=1046.46 z=0.318406 Bm=0.0558795

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2120.92

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3325.66 v=0.242095 S=9.50243 I=-2120.92

U=-3002.49 M=38.1426 Cp=1.90165 k=1.18081 Cp'=3.53515

k'=1.14913 Ap=0.000383 Bv=0.0003773 Gt=0.257441e-6 MMg=19.4682

Rg=427.074 Cpg=2.04352 kg=1.26421 Cp'g=3.735 k'g=1.20343

Mu=0.0000926 Lt=0.401479 Lt'=1.07428 Pr=0.47151 Pr'=0.32207

A=1047.04 z=0.318187 Bm=0.0559349

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2109.68

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.211e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3328.83 v=0.24239 S=9.50581 I=-2109.68

U=-2992.4 M=38.1496 Cp=1.90171 k=1.18086 Cp'=3.54748

k'=1.14915 Ap=0.0003833 Bv=0.0003776 Gt=0.257487e-6 MMg=19.4694

Rg=427.048 Cpg=2.04346 kg=1.2642 Cp'g=3.7457 k'g=1.20334

Mu=0.0000927 Lt=0.401749 Lt'=1.07902 Pr=0.471444 Pr'=0.321753

A=1047.61 z=0.317966 Bm=0.0559905

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2098.44

2-й параметр: p =4

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=4 МПа, I=-0.210e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=4 T=3331.99 v=0.242684 S=9.50919 I=-2098.44

U=-2982.32 M=38.1566 Cp=1.90177 k=1.18091 Cp'=3.55984

k'=1.14916 Ap=0.0003836 Bv=0.0003778 Gt=0.257533e-6 MMg=19.4706

Rg=427.021 Cpg=2.04341 kg=1.26418 Cp'g=3.75641 k'g=1.20326

Mu=0.0000927 Lt=0.402018 Lt'=1.08376 Pr=0.471378 Pr'=0.32144

A=1048.19 z=0.317745 Bm=0.0560463



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2177.12

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.218e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3332.21 v=0.175714 S=9.39301 I=-2177.12

U=-3057.08 M=38.0157 Cp=1.90241 k=1.17987 Cp'=3.33022

k'=1.14941 Ap=0.0003715 Bv=0.0003667 Gt=0.186661e-6 MMg=19.5094

Rg=426.171 Cpg=2.04546 kg=1.26319 Cp'g=3.51432 k'g=1.20678

Mu=0.0000928 Lt=0.402015 Lt'=0.985063 Pr=0.472254 Pr'=0.331133

A=1047.08 z=0.319462 Bm=0.0555721

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2165.88

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.217e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3335.58 v=0.175934 S=9.39638 I=-2165.88

U=-3047.03 M=38.022 Cp=1.90248 k=1.17992 Cp'=3.3415

k'=1.1494 Ap=0.0003717 Bv=0.0003668 Gt=0.186693e-6 MMg=19.5109

Rg=426.14 Cpg=2.04543 kg=1.26317 Cp'g=3.52412 k'g=1.20667

Mu=0.0000929 Lt=0.402304 Lt'=0.989471 Pr=0.472189 Pr'=0.330775

A=1047.67 z=0.319248 Bm=0.0556262

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2154.64

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.215e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3338.94 v=0.176154 S=9.39975 I=-2154.64

U=-3036.98 M=38.0284 Cp=1.90256 k=1.17996 Cp'=3.35282

k'=1.14939 Ap=0.000372 Bv=0.000367 Gt=0.186726e-6 MMg=19.5123

Rg=426.109 Cpg=2.0454 kg=1.26315 Cp'g=3.53392 k'g=1.20656

Mu=0.0000929 Lt=0.402592 Lt'=0.993881 Pr=0.472125 Pr'=0.33042

A=1048.26 z=0.319032 Bm=0.0556805

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2143.4

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.214e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3342.29 v=0.176374 S=9.40311 I=-2143.4

U=-3026.92 M=38.0347 Cp=1.90263 k=1.18001 Cp'=3.36416

k'=1.14939 Ap=0.0003722 Bv=0.0003672 Gt=0.186758e-6 MMg=19.5138

Rg=426.077 Cpg=2.04536 kg=1.26313 Cp'g=3.54374 k'g=1.20646

Mu=0.000093 Lt=0.402877 Lt'=0.998294 Pr=0.472061 Pr'=0.330069

A=1048.85 z=0.318816 Bm=0.0557351

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2132.16

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.213e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3345.62 v=0.176593 S=9.40648 I=-2132.16

U=-3016.87 M=38.0411 Cp=1.9027 k=1.18005 Cp'=3.37554

k'=1.14939 Ap=0.0003724 Bv=0.0003674 Gt=0.186790e-6 MMg=19.5152

Rg=426.045 Cpg=2.04532 kg=1.26311 Cp'g=3.55356 k'g=1.20635

Mu=0.000093 Lt=0.403162 Lt'=1.00271 Pr=0.471997 Pr'=0.329721

A=1049.43 z=0.318598 Bm=0.0557898

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2120.92

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3348.94 v=0.176812 S=9.40983 I=-2120.92

U=-3006.81 M=38.0475 Cp=1.90276 k=1.18009 Cp'=3.38695

k'=1.14939 Ap=0.0003727 Bv=0.0003676 Gt=0.186823e-6 MMg=19.5167

Rg=426.012 Cpg=2.04527 kg=1.26309 Cp'g=3.56339 k'g=1.20625

Mu=0.0000931 Lt=0.403444 Lt'=1.00713 Pr=0.471933 Pr'=0.329376

A=1050.02 z=0.318379 Bm=0.0558448

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2109.68

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.211e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3352.26 v=0.17703 S=9.41319 I=-2109.68

U=-2996.75 M=38.054 Cp=1.90283 k=1.18014 Cp'=3.3984

k'=1.14939 Ap=0.0003729 Bv=0.0003678 Gt=0.186855e-6 MMg=19.5182

Rg=425.98 Cpg=2.04522 kg=1.26307 Cp'g=3.57324 k'g=1.20615

Mu=0.0000931 Lt=0.403725 Lt'=1.01155 Pr=0.471869 Pr'=0.329034

A=1050.61 z=0.318159 Bm=0.0559

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2098.44

2-й параметр: p =5.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=5.5 МПа, I=-0.210e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=5.5 T=3355.56 v=0.177248 S=9.41654 I=-2098.44

U=-2986.69 M=38.0605 Cp=1.90289 k=1.18018 Cp'=3.40988

k'=1.14939 Ap=0.0003732 Bv=0.000368 Gt=0.186888e-6 MMg=19.5197

Rg=425.947 Cpg=2.04517 kg=1.26306 Cp'g=3.58309 k'g=1.20605

Mu=0.0000932 Lt=0.404004 Lt'=1.01597 Pr=0.471805 Pr'=0.328695

A=1051.19 z=0.317938 Bm=0.0559553



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2177.12

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.218e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3348.5 v=0.138465 S=9.32314 I=-2177.12

U=-3060.08 M=37.9489 Cp=1.9032 k=1.17937 Cp'=3.22847

k'=1.14966 Ap=0.0003643 Bv=0.0003599 Gt=0.146430e-6 MMg=19.5435

Rg=425.428 Cpg=2.04672 kg=1.2624 Cp'g=3.39731 k'g=1.20898

Mu=0.0000931 Lt=0.403406 Lt'=0.938663 Pr=0.472527 Pr'=0.337083

A=1049.18 z=0.319604 Bm=0.0555034

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2165.88

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.217e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3351.98 v=0.13864 S=9.32649 I=-2165.88

U=-3050.04 M=37.9548 Cp=1.90328 k=1.17941 Cp'=3.23911

k'=1.14965 Ap=0.0003645 Bv=0.0003601 Gt=0.146455e-6 MMg=19.5452

Rg=425.392 Cpg=2.04669 kg=1.26238 Cp'g=3.40648 k'g=1.20886

Mu=0.0000932 Lt=0.403703 Lt'=0.94283 Pr=0.472464 Pr'=0.336706

A=1049.78 z=0.319391 Bm=0.0555571

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2154.64

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.215e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3355.44 v=0.138816 S=9.32984 I=-2154.64

U=-3040.01 M=37.9607 Cp=1.90335 k=1.17945 Cp'=3.24978

k'=1.14964 Ap=0.0003647 Bv=0.0003602 Gt=0.146480e-6 MMg=19.5468

Rg=425.356 Cpg=2.04666 kg=1.26236 Cp'g=3.41566 k'g=1.20875

Mu=0.0000932 Lt=0.403999 Lt'=0.955904 Pr=0.472401 Pr'=0.333201

A=1050.38 z=0.319176 Bm=0.055611

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2143.4

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.214e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3358.89 v=0.138991 S=9.33319 I=-2143.4

U=-3029.98 M=37.9667 Cp=1.90343 k=1.17949 Cp'=3.26048

k'=1.14962 Ap=0.0003649 Bv=0.0003604 Gt=0.146504e-6 MMg=19.5485

Rg=425.319 Cpg=2.04663 kg=1.26233 Cp'g=3.42485 k'g=1.20863

Mu=0.0000933 Lt=0.404293 Lt'=0.949041 Pr=0.472339 Pr'=0.336719

A=1050.98 z=0.31896 Bm=0.055665

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2132.16

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.213e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3362.33 v=0.139165 S=9.33654 I=-2132.16

U=-3019.94 M=37.9726 Cp=1.9035 k=1.17953 Cp'=3.27122

k'=1.14961 Ap=0.0003651 Bv=0.0003605 Gt=0.146529e-6 MMg=19.5502

Rg=425.283 Cpg=2.04659 kg=1.26231 Cp'g=3.43405 k'g=1.20852

Mu=0.0000934 Lt=0.404585 Lt'=0.953197 Pr=0.472276 Pr'=0.336355

A=1051.57 z=0.318743 Bm=0.0557193

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2120.92

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3365.76 v=0.13934 S=9.33988 I=-2120.92

U=-3009.9 M=37.9786 Cp=1.90357 k=1.17958 Cp'=3.28199

k'=1.1496 Ap=0.0003653 Bv=0.0003607 Gt=0.146554e-6 MMg=19.5519

Rg=425.246 Cpg=2.04655 kg=1.26229 Cp'g=3.44326 k'g=1.20841

Mu=0.0000934 Lt=0.404875 Lt'=0.957356 Pr=0.472213 Pr'=0.335995

A=1052.17 z=0.318525 Bm=0.0557738

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2109.68

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.211e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3369.18 v=0.139514 S=9.34321 I=-2109.68

U=-2999.86 M=37.9846 Cp=1.90364 k=1.17962 Cp'=3.29279

k'=1.1496 Ap=0.0003655 Bv=0.0003609 Gt=0.146579e-6 MMg=19.5536

Rg=425.209 Cpg=2.04651 kg=1.26226 Cp'g=3.45248 k'g=1.2083

Mu=0.0000935 Lt=0.405164 Lt'=0.961518 Pr=0.472151 Pr'=0.335638

A=1052.76 z=0.318306 Bm=0.0558285

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2098.44

2-й параметр: p =7

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=7 МПа, I=-0.210e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=7 T=3372.59 v=0.139688 S=9.34655 I=-2098.44

U=-2989.82 M=37.9907 Cp=1.90371 k=1.17966 Cp'=3.30362

k'=1.14959 Ap=0.0003658 Bv=0.000361 Gt=0.146603e-6 MMg=19.5553

Rg=425.171 Cpg=2.04647 kg=1.26224 Cp'g=3.46171 k'g=1.2082

Mu=0.0000935 Lt=0.405451 Lt'=0.965682 Pr=0.472088 Pr'=0.335284

A=1053.36 z=0.318086 Bm=0.0558834



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2177.12

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.218e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3361.08 v=0.114284 S=9.26698 I=-2177.12

U=-3062.37 M=37.8971 Cp=1.90381 k=1.17898 Cp'=3.15095

k'=1.14989 Ap=0.0003589 Bv=0.0003547 Gt=0.120440e-6 MMg=19.5701

Rg=424.849 Cpg=2.04769 kg=1.2618 Cp'g=3.30895 k'g=1.21075

Mu=0.0000934 Lt=0.404486 Lt'=0.901449 Pr=0.472722 Pr'=0.342763

A=1050.81 z=0.319714 Bm=0.055448

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2165.88

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.217e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3364.64 v=0.114431 S=9.27032 I=-2165.88

U=-3052.35 M=37.9026 Cp=1.90389 k=1.17902 Cp'=3.16109

k'=1.14986 Ap=0.000359 Bv=0.0003549 Gt=0.120460e-6 MMg=19.572

Rg=424.81 Cpg=2.04767 kg=1.26177 Cp'g=3.31763 k'g=1.21063

Mu=0.0000934 Lt=0.40479 Lt'=0.905408 Pr=0.47266 Pr'=0.342377

A=1051.41 z=0.319501 Bm=0.0555011

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2154.64

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.215e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3368.19 v=0.114577 S=9.27366 I=-2154.64

U=-3042.34 M=37.9082 Cp=1.90397 k=1.17906 Cp'=3.17126

k'=1.14984 Ap=0.0003592 Bv=0.000355 Gt=0.120479e-6 MMg=19.5738

Rg=424.77 Cpg=2.04764 kg=1.26174 Cp'g=3.32633 k'g=1.21051

Mu=0.0000935 Lt=0.405093 Lt'=0.90937 Pr=0.472598 Pr'=0.341993

A=1052.02 z=0.319287 Bm=0.0555545

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2143.4

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.214e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3371.73 v=0.114722 S=9.27699 I=-2143.4

U=-3032.32 M=37.9138 Cp=1.90405 k=1.1791 Cp'=3.18146

k'=1.14983 Ap=0.0003594 Bv=0.0003551 Gt=0.120499e-6 MMg=19.5756

Rg=424.73 Cpg=2.04762 kg=1.26171 Cp'g=3.33504 k'g=1.21039

Mu=0.0000936 Lt=0.405393 Lt'=0.913336 Pr=0.472537 Pr'=0.341613

A=1052.62 z=0.319073 Bm=0.0556082

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2132.16

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.213e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3375.26 v=0.114868 S=9.28033 I=-2132.16

U=-3022.29 M=37.9194 Cp=1.90413 k=1.17913 Cp'=3.19169

k'=1.14981 Ap=0.0003595 Bv=0.0003553 Gt=0.120519e-6 MMg=19.5775

Rg=424.69 Cpg=2.04759 kg=1.26169 Cp'g=3.34375 k'g=1.21027

Mu=0.0000936 Lt=0.405692 Lt'=0.917305 Pr=0.472475 Pr'=0.341235

A=1053.23 z=0.318857 Bm=0.055662

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2120.92

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3378.77 v=0.115013 S=9.28366 I=-2120.92

U=-3012.27 M=37.925 Cp=1.9042 k=1.17917 Cp'=3.20195

k'=1.14979 Ap=0.0003597 Bv=0.0003554 Gt=0.120539e-6 MMg=19.5794

Rg=424.649 Cpg=2.04755 kg=1.26166 Cp'g=3.35248 k'g=1.21015

Mu=0.0000937 Lt=0.405989 Lt'=0.931485 Pr=0.472414 Pr'=0.337126

A=1053.83 z=0.31864 Bm=0.055716

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2109.68

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.211e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3382.28 v=0.115158 S=9.28698 I=-2109.68

U=-3002.24 M=37.9307 Cp=1.90427 k=1.17921 Cp'=3.21225

k'=1.14978 Ap=0.0003599 Bv=0.0003555 Gt=0.120559e-6 MMg=19.5812

Rg=424.609 Cpg=2.04752 kg=1.26164 Cp'g=3.36121 k'g=1.21004

Mu=0.0000937 Lt=0.406285 Lt'=0.93553 Pr=0.472352 Pr'=0.336749

A=1054.43 z=0.318422 Bm=0.0557703

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2098.44

2-й параметр: p =8.5

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=8.5 МПа, I=-0.210e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=8.5 T=3385.77 v=0.115303 S=9.2903 I=-2098.44

U=-2992.22 M=37.9364 Cp=1.90435 k=1.17925 Cp'=3.22257

k'=1.14977 Ap=0.0003601 Bv=0.0003557 Gt=0.120579e-6 MMg=19.5831

Rg=424.568 Cpg=2.04748 kg=1.26161 Cp'g=3.36996 k'g=1.20993

Mu=0.0000938 Lt=0.406578 Lt'=0.928934 Pr=0.472291 Pr'=0.340231

A=1055.03 z=0.318202 Bm=0.0558248



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2177.12

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.218e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3371.24 v=0.0973148 S=9.22004 I=-2177.12

U=-3064.21 M=37.855 Cp=1.9043 k=1.17867 Cp'=3.08903

k'=1.15008 Ap=0.0003545 Bv=0.0003506 Gt=0.102270e-6 MMg=19.5919

Rg=424.378 Cpg=2.04847 kg=1.2613 Cp'g=3.23886 k'g=1.21224

Mu=0.0000936 Lt=0.405362 Lt'=0.87062 Pr=0.472868 Pr'=0.348111

A=1052.12 z=0.3198 Bm=0.0554019

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2165.88

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.217e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3374.87 v=0.0974403 S=9.22337 I=-2165.88

U=-3054.2 M=37.8602 Cp=1.90439 k=1.1787 Cp'=3.09876

k'=1.15005 Ap=0.0003546 Bv=0.0003507 Gt=0.102286e-6 MMg=19.5938

Rg=424.336 Cpg=2.04846 kg=1.26127 Cp'g=3.24716 k'g=1.21211

Mu=0.0000936 Lt=0.405672 Lt'=0.877189

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2154.64

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.215e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3378.49 v=0.0975655 S=9.2267 I=-2154.64

U=-3044.2 M=37.8655 Cp=1.90447 k=1.17874 Cp'=3.10852

k'=1.15003 Ap=0.0003548 Bv=0.0003508 Gt=0.102303e-6 MMg=19.5958

Rg=424.293 Cpg=2.04844 kg=1.26124 Cp'g=3.25546 k'g=1.21198

Mu=0.0000937 Lt=0.40598 Lt'=0.880997 Pr=0.472746 Pr'=0.346217

A=1053.34 z=0.319376 Bm=0.0555077

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2143.4

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.214e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3382.1 v=0.0976906 S=9.23002 I=-2143.4

U=-3034.19 M=37.8708 Cp=1.90455 k=1.17877 Cp'=3.11831

k'=1.15 Ap=0.0003549 Bv=0.0003509 Gt=0.102319e-6 MMg=19.5978

Rg=424.25 Cpg=2.04841 kg=1.26121 Cp'g=3.26377 k'g=1.21186

Mu=0.0000938 Lt=0.406286 Lt'=0.884809 Pr=0.472686 Pr'=0.345825

A=1053.95 z=0.319162 Bm=0.0555608

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2132.16

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.213e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3385.7 v=0.0978155 S=9.23334 I=-2132.16

U=-3024.18 M=37.8761 Cp=1.90463 k=1.17881 Cp'=3.12813

k'=1.14998 Ap=0.0003551 Bv=0.000351 Gt=0.102336e-6 MMg=19.5998

Rg=424.207 Cpg=2.04839 kg=1.26118 Cp'g=3.27209 k'g=1.21173

Mu=0.0000938 Lt=0.406591 Lt'=0.888625 Pr=0.472625 Pr'=0.345437

A=1054.56 z=0.318947 Bm=0.0556143

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2120.92

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3389.29 v=0.0979402 S=9.23666 I=-2120.92

U=-3014.17 M=37.8815 Cp=1.90471 k=1.17885 Cp'=3.13798

k'=1.14996 Ap=0.0003552 Bv=0.0003511 Gt=0.102352e-6 MMg=19.6018

Rg=424.163 Cpg=2.04836 kg=1.26115 Cp'g=3.28043 k'g=1.21161

Mu=0.0000939 Lt=0.406894 Lt'=0.892445 Pr=0.472564 Pr'=0.345052

A=1055.16 z=0.318731 Bm=0.0556679

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2109.68

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.211e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3392.87 v=0.0980647 S=9.23998 I=-2109.68

U=-3004.16 M=37.8868 Cp=1.90479 k=1.17888 Cp'=3.14786

k'=1.14994 Ap=0.0003554 Bv=0.0003513 Gt=0.102369e-6 MMg=19.6038

Rg=424.12 Cpg=2.04833 kg=1.26113 Cp'g=3.28877 k'g=1.21149

Mu=0.0000939 Lt=0.407195 Lt'=0.896269 Pr=0.472503 Pr'=0.344669

A=1055.77 z=0.318513 Bm=0.0557217

-----------------------------------------------------------------------------

Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2098.44

2-й параметр: p =10

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=10 МПа, I=-0.210e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=10 T=3396.43 v=0.098189 S=9.24329 I=-2098.44

U=-2994.14 M=37.8922 Cp=1.90486 k=1.17892 Cp'=3.15777

k'=1.14992 Ap=0.0003555 Bv=0.0003514 Gt=0.102385e-6 MMg=19.6058

Rg=424.076 Cpg=2.04829 kg=1.2611 Cp'g=3.29712 k'g=1.21137

Mu=0.000094 Lt=0.407494 Lt'=0.900095 Pr=0.472443 Pr'=0.34429

A=1056.37 z=0.318295 Bm=0.0557757

# Приложение Б



Исходный состав: (C9.49H36.746O23.667N6.754Cl5.532Al6.672 - 1)

Состав, моль/кг: C 9.4860 H 36.7303 O 23.6569 N 6.7511 Cl5.5296 Al6.6692

1-й параметр: I =-2123.17

2-й параметр: p =6

Плотность смеси исходных веществ: кг/куб.м

Коэффициент избытка окислительных элементов:

Равновесные параметры при p=6 МПа, I=-0.212e4 кДж/кг (единицы СИ):

p=6 T=3354.42 v=0.162215 S=9.38391 I=-2123.17

U=-3009.96 M=38.0211 Cp=1.90304 k=1.1799 Cp'=3.34613

k'=1.14946 Ap=0.0003699 Bv=0.000365 Gt=0.171148e-6 MMg=19.5292

Rg=425.739 Cpg=2.04575 kg=1.2628 Cp'g=3.51717 k'g=1.20705

Mu=0.0000932 Lt=0.403909 Lt'=0.98642 Pr=0.472051 Pr'=0.332317

A=1050.69 z=0.318476 Bm=0.0558084

Равновесные концентрации (моль/кг)

O = 0.00914 O2 = 0.00127 H = 1.0715 H2 = 11.235

OH = 0.1627 HO2 = 0.1312e-4 H2O = 4.0672 H2O2 = 0.5410e-5

Cl = 0.30118 Cl2 = 0.5757e-3 ClO = 0.1138e-3 ClO2 = 0.7775e-9

Cl2O = 0.1949e-8 HCl = 4.7614 HOCl = 0.1479e-3 N = 0.1506e-3

N2 = 3.3689 N3 = 0.7869e-9 NO = 0.01129 NO2 = 0.5421e-6

N2O = 0.1783e-5 NH = 0.3646e-3 NH2 = 0.2808e-3 NH3 = 0.6570e-3

N2H2 = 0.4126e-7 N2H4 = 0.3428e-10 HN3 = 0.9318e-9 HNO = 0.2464e-4

HNO2 = 0.2589e-6 HNO3 = 0.2362e-11 NH3O = 0.6627e-8 ClNO = 0.1252e-5

ClNO2 = 0.4934e-11 C = 0.1361e-6 C2 = 0.2869e-10 CO = 9.0781

CO2 = 0.40612 C2O = 0.8377e-7 C3O2 = 0.1936e-9 CH = 0.1594e-6

CH2 = 0.6644e-6 CH3 = 0.3865e-5 CH4 = 0.2943e-5 C2H = 0.4290e-8

C2H2 = 0.9434e-7 C2H3 = 0.3770e-9 C2H4 = 0.1379e-9 C3H = 0.1058e-10

CHO = 0.9208e-3 CHO2 = 0.5955e-4 CH2O = 0.7364e-4 CH2O2 = 0.2173e-4

CH3O = 0.4464e-8 CH4O = 0.9616e-11 CCl = 0.2086e-6 CCl2 = 0.2729e-8

CCl3 = 0.3040e-11 C2Cl = 0.2750e-10 C2Cl2 = 0.4214e-11 ClCO = 0.6041e-4

Cl2CO = 0.6069e-7 CHCl = 0.6241e-7 CH2Cl = 0.1930e-6 CH3Cl = 0.4532e-7

CHCl2 = 0.3827e-8 CH2Cl2 = 0.4138e-9 CHCl3 = 0.4137e-11 C2HCl = 0.1213e-8

C2H3Cl = 0.6739e-11HClCO = 0.4909e-5 CN = 0.6396e-5 CN2 = 0.4571e-7

C2N = 0.1737e-9 C2N2 = 0.6112e-9 NCO = 0.8980e-6 HCN = 0.5374e-3

HNC = 0.2473e-5 C2HN = 0.1137e-9 C3HN = 0.1206e-10 N2C = 0.1454e-5

ClCN = 0.1757e-5 Al = 0.00351 Al2 = 0.1176e-6 AlO2 = 0.2286e-4

Al2O = 0.00229 Al2O2 = 0.1004e-3 Al2O3(c) = 3.1235 Al2O3 = 0.5789e-6

AlH = 0.00109 AlH2 = 0.2428e-4 AlH3 = 0.6667e-7 AlOH = 0.04587

HAlO = 0.1059e-4 HAlO2 = 0.3711e-3 AlO2H2 = 0.00647 AlO3H3 = 0.7939e-4

AlCl = 0.18793 AlCl2 = 0.08347 AlCl3 = 0.00751 Al2Cl6 = 0.1284e-8

AlOCl = 0.01233 AlOCl2 = 0.4441e-3 AlHCl = 0.0028 AlH2Cl = 0.7848e-5

AlHCl2 = 0.5513e-3 AlOHCl = 0.04741 AlO2H2Cl = 0.0017 AlOHCl2 = 0.01094

AlN = 0.4087e-5 AlC = 0.1588e-8 AlC2 = 0.3646e-11 O3 = 0.1619e-11

e- = 0.1584e-5 O- = 0.6075e-8 O2- = 0.8054e-10 H- = 0.4569e-7

H3+ = 0.5266e-10 OH+ = 0.1058e-11 OH- = 0.1392e-6 HO2- = 0.1991e-10

H2O+ = 0.1756e-9 H3O+ = 0.8337e-7 Cl- = 0.9460e-4 NO+ = 0.4101e-8

NO2- = 0.7718e-11 NH4+ = 0.4583e-9 CO+ = 0.2469e-11 CO2+ = 0.1158e-11

CHO+ = 0.1089e-7 CN- = 0.1000e-7 Al+ = 0.9782e-4 AlO- = 0.1513e-5

AlO2- = 0.1805e-7 AlO = 0.00473

# Список используемой литературы

1. 1) Ягодников Д.А., Арефьев К.Ю., Козичев В.В., Федотова К.В., Мелешко В.Ю. (Методические указания по выполнению курсового проекта «Технология производства и свойства твердых топлив») – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 72 с.: ил.

2) Липанов А.М., Алиев А.В. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

3) Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 397 с.: ил.

4) Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: учебник для машиностроит. Вузов. М.: Машиностроение, 1987. 400 с.

5) Конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе / Л.Н. Лавров, А.А. Болотов, В.И. Гапаненко [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Лаврова. М.: Машиностроение, 1993. 215 с.

Технология производства и свойства твердых топлив / Д.А. Ягодников, К.Ю. Арефьев, В.В. Козичев, К.В. Федотова / Под ред. Д.А. Ягодникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 60 с.

2. Конспект лекций по курсу «Технология производства и свойства твердых топлив» - лектор К. Ю. Арефьев.

3. Технология производства ракетных двигателей твердого топлива: учеб. пособие / В. А. Калинчев, Д. А. Ягодников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 687с.: ил.

4. Дунаев П.Ф./ Конструирование узлов и деталей машин/ П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов, М.: Издательский центр 'Академия', 2003 г., 496 c. 1) *Ягодников Д.А., Арефьев К.Ю., Козичев В.В., Федотова К.В., Мелешко В.Ю.* (Методические указания по выполнению курсового проекта «Технология производства и свойства твердых топлив») – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 72 с.: ил.

5. Липанов А. М., Алиев А. В. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.*Липанов А.М., Алиев А.В.* Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

6. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 397 с.: ил.) *Генералов М.Б.* Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 397 с.: ил.

7. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: учебник для машиностроит. Вузов. М.: Машиностроение, 1987. 400с.

8. Конструкции ракетных двигателей на твердом топливе / Л. Н. Лавров, А. А. Болотов, В. И. Гапаненко [и др]; под общ. ред. Л. Н. Лаврова. М.: Машиностроение, 1993. 215 с.

Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 40 Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

2) *Липанов А.М., Алиев А.В.* Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

3) *Генералов М.Б.* Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 397 с.: ил.

4) *Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В*. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: учебник для машиностроит. Вузов. М.: Машиностроение, 1987. 400 с.

5) Конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе / Л.Н. Лавров, А.А. Болотов, В.И. Гапаненко [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Лаврова. М.: Машиностроение, 1993. 215 с.

1) *Ягодников Д.А., Арефьев К.Ю., Козичев В.В., Федотова К.В., Мелешко В.Ю.* (Методические указания по выполнению курсового проекта «Технология производства и свойства твердых топлив») – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 72 с.: ил.

2) *Липанов А.М., Алиев А.В.* Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

3) *Генералов М.Б.* Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 397 с.: ил.

4) *Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В*. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: учебник для машиностроит. Вузов. М.: Машиностроение, 1987. 400 с.

5) Конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе / Л.Н. Лавров, А.А. Болотов, В.И. Гапаненко [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Лаврова. М.: Машиностроение, 1993. 215 с.

1) *Ягодников Д.А., Арефьев К.Ю., Козичев В.В., Федотова К.В., Мелешко В.Ю.* (Методические указания по выполнению курсового проекта «Технология производства и свойства твердых топлив») – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 72 с.: ил.

2) *Липанов А.М., Алиев А.В.* Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.

3) *Генералов М.Б.* Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 397 с.: ил.

4) *Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В*. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: учебник для машиностроит. Вузов. М.: Машиностроение, 1987. 400 с.

5) Конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе / Л.Н. Лавров, А.А. Болотов, В.И. Гапаненко [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Лаврова. М.: Машиностроение, 1993. 215 с.