# 

**Оглавление**

[Основные сокращения и условные обозначения 5](#_Toc9496605)

[Сокращения 5](#_Toc9496606)

[Условные обозначения 5](#_Toc9496607)

[Введение 6](#_Toc9496608)

[1. Конструкторская часть 8](#_Toc9496609)

[1.2 Выбор твердого ракетного топлива 9](#_Toc9496610)

[1.2.1 Состав №1 10](#_Toc9496611)

[1.2.2 Состав №*2* 11](#_Toc9496612)

[1.2.3 Опытные данные 13](#_Toc9496613)

[1.3 Выбор конструктивной формы заряда 14](#_Toc9496614)

[1.4 Расчет отклонений и оценка предельных значений внутрибаллистических характеристик 17](#_Toc9496615)

[1.4.1 Предельные отклонения за счет случайных разбросов параметров 17](#_Toc9496616)



[1.4.2 Отклонения за счет неслучайных отклонений параметров 18](#_Toc9496617)



[1.4.3 Суммарные предельные отклонения 21](#_Toc9496618)



[1.5 Расчет внутрибаллистических характеристик РДТТ 21](#_Toc9496619)

[1.12 Расчёт и проектирование соплового блока 30](#_Toc9496620)

[1.12.1 Профилирование сужающейся части сопла 31](#_Toc9496621)

[1.12.2 Профилирование трансзвуковой части сопла 32](#_Toc9496622)

[1.12.3 Профилирование расширяющейся части сопла 32](#_Toc9496623)

[2. Исследовательская часть 34](#_Toc9496624)

[3. Технологическая часть 35](#_Toc9496625)

[Введение 36](#_Toc9496626)

[3.1 Выбор метода изготовления 36](#_Toc9496627)

[3.2 Выбор материала 37](#_Toc9496628)

[3.3 Свойства материала 37](#_Toc9496629)

[3.4 Технологический процесс 38](#_Toc9496630)

[3.5 Расчет режимов резания. Техническое нормирование 46](#_Toc9496631)

[3.6 Приспособление 48](#_Toc9496632)

[Заключение 49](#_Toc9496633)

[Список использованной литературы 49](#_Toc9496634)

[4. Охрана труда и экологическая безопасность 50](#_Toc9496635)

[4.1 Экологическая безопасность разрабатываемого двигателя 51](#_Toc9496636)

[4.1.1 Анализ неблагоприятных факторов при испытаниях 51](#_Toc9496637)

[4.1.2 Общие требования экологической безопасности 51](#_Toc9496638)

[4.1.3 Обеспечение экологической безопасности персонала при работе с изделием на Составе №1 53](#_Toc9496639)

[4.1.4 Предложения по утилизации зарядов после истечения сроков их технической пригодности 57](#_Toc9496640)

[4.1.5 Эколого-гигиеническая характеристика продуктов сгорания изделия ОИ700 57](#_Toc9496641)

[4.1.6 Оценка озоноразрушающего действия продуктов сгорания состава 63](#_Toc9496642)

[4.1.7 Эколого-гигиеническая характеристика компонентов дымного пороха (воспламенителя) 63](#_Toc9496643)

[4.2 Система нейтрализации продуктов сгорания 64](#_Toc9496644)

[4.3 Расчёт системы вентиляции 67](#_Toc9496645)

[4.4 Дополнительное очистительное оборудование 68](#_Toc9496646)

[4.5 Заключение 69](#_Toc9496647)

[Список литературы 71](#_Toc9496648)

[5. Экономико-организационная часть 74](#_Toc9496649)

[Введение 75](#_Toc9496650)

[5.1 Исходные данные для проведения расчета затрат на создание РДТТ 76](#_Toc9496651)

[5.2 Основные этапы НИОКР 77](#_Toc9496652)

[5.3 Сетевая модель 80](#_Toc9496653)

[5.4 Определение числа исполнителей 80](#_Toc9496654)

[5.5 Затраты на проект 81](#_Toc9496655)

[5.5.1 Затраты на проектирование 81](#_Toc9496656)

[5.5.2 Затраты на изготовление 86](#_Toc9496657)

[5.5.3 Затраты на испытания 86](#_Toc9496658)

[Заключение 87](#_Toc9496659)

[Список использованной литературы 89](#_Toc9496660)

[Список использованной литературы(ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ) 89](#_Toc9496661)

[Список литературы(ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ) 89](#_Toc9496662)

Основные сокращения и условные обозначения

Сокращения

Условные обозначения

Введение

Ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ) в настоящее время широко применяются в качестве маршевых двигателей многоступенчатых баллистических ракет и ракет-носителей для вывода космических аппаратов на орбиту, вспомогательных РД для ориентации и стабилизации космических аппаратов, коррекции траектории и выполнения маневров на орбите, разделения ступеней, обеспечения мягкой посадки спускаемых отсеков, систем аварийного спасения экипажа и полезного груза (САС) и т.д.

Актуальность разработки РДТТ обосновывается рядом преимуществ его перед жидкостным ракетным двигателем (ЖРД):

* относительная простота конструкции и эксплуатации – горение топлива в РДТТ происходит в камере сгорания (КС), нет поступления каких-либо дополнительных веществ, т.е. отсутствие систем подачи топлива;
* высокая готовность применения – благодаря возможности длительного хранения в снаряженном состоянии РДТТ может находиться значительное время в готовности на старте без проведения каких-либо специальных подготовленных работ независимо от времени года и атмосферных условий;
* высокая надежность и безотказность – реализуется за счет малого количества отдельных узлов и агрегатов, входящих в состав РДТТ.

Недостатки РДТТ:

* более низкие энергетические характеристики твердых ракетных топлив (ТРТ) по сравнению с жидкими ракетными топливами;
* зависимость скорости горения топлива от начальной температуры (в особенности у балиститных топлив), что увеличивает разброс ВБП и ТТХ РДТТ;
* ограниченное время работы из-за сложности реализации охлаждения конструкционных материалов и из-за ограниченных габаритов заряда РДТТ;
* сложность регулирования тяги по величине и направлению;
* трудность осуществления многократного запуска РДТТ;
* наиболее совершенные ТРТ с экономической точки зрения менее выгодны, чем другие РТ.

1. Конструкторская часть

Консультант: Андреев Е.А.

1.2 Выбор твердого ракетного топлива

УТОЧНИТЬ ПРО ССЫЛКУ НА ПАТЕНТ И МАРКИРОВКУ

Для обеспечения заданных условий работы РДТТ, необходимо подобрать топливо из имеющейся базы данных, которое будет максимально удовлетворять исходным данным.

В настоящее время в ракетной технике применяются два основных вида ТРТ: баллиститное и смесевое. Энергетические характеристики смесевых топлив значительно выше баллиститных (удельный импульс ), что и определяет их выбор, в качестве основных топливных составов в современных РДТТ.

Выбор ТРТ для проектируемого заряда осуществлялся на основе следующих критериев:

* низкая скорость горения топлива;
* высокие энергитические характеристики;
* высокая плотность;
* температурный диапазон эксплуатации;
* прочностные характеристики топлива;
* сохраняемость свойств в течении гарантийного срока хранения в условиях эксплуатационных воздействий.

Выбор баллиститного топлива обусловен экономическими характеристиками и производится из стоимости производства одного одного заряда ТРТ.

Требования, предъявляемые к РДТТ по комплексу массово-энергетических, баллистических и эксплуатационных характеристик, предопределяют использование баллиститного топлива с потребными значениями удельного импульса ) и плотности ), корость горения , работоспособного в широком температурном диапазоне эксплуатации от до .

Для реализации условий ТЗ и отработки для данного РДТТ предлагается оценить ВБП двигателя на следующих составах БТРТ:

1.2.1 Состав №1

Условная химическая формула:

O32.3896H29.7078S0.0044N13.7033C18.9361Ti0.2497Pb0.0805Co0.0621Zn0.0006

Аналитическая зависимость скорость горения выбранного топлива при температуре 20°С и диапазоне давлений от 6 до 18 МПа описывается следующим выражением:

Основные характеристики топлива представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные характеристики выбранного топлива

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование характеристики | Значение |
| Плотность, , кг/м3 | 1680 |
| Коэффициент обеспеченности окислителем | 0,610 |
| Удельная теплота горения, Qж, кДж/кг | 4190 |
| Тротиловый эквивалент | 1,05 |
| Теплоемкость топлива, cт, кДж/(кг⋅К) при 293 К | 1,34 |
| Теплопроводность топлива, λт, Вт/(м⋅К) при 293 К | 0,265 |
| Температуропроводность топлива, aт, м2/с при 293 К |  |
| Температура вспышки топлива, Твсп, К | 173 |
| Коэффициент линейного расширения топлива, αл.р., 1/К при 293 К |  |

# 1.2.2 Состав №*2*

Условная химическая формула:

O32.7140H26.9367N14.2306C18.0882Pb0.1006Ca0.2503

Таблица 1.1 – Скорость горения Состава №2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура | Скорость горения, мм/с, при давлении, МПа | | | | | | | |
| 3,92 | 5,88 | 7,85 | 9,81 | 11,76 | 13,72 | 15,68 | 17,65 |
| 293 (20) | 11 | 14 | 15 | 15,6 | 17,6 | 19 | 19,8 | 20,6 |
| 323 (50) | 12,3 | 15 | 16,8 | 18,2 | 19,3 | 20,7 | 21,1 | 21,9 |
| 233 (-50) | 10,6 | 12,8 | 14,6 | 15,6 | 16,7 | 17,5 | 18,4 | 18,7 |

Аналитическая зависимость скорость горения в виде *U*=*U*1*p*ν выбранного топлива при различных температурах представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Аналитическая зависимость скорости горения ТРТ (Состав №2) от давления при различных температурах, выраженная в виде *U*=*U*1*p*ν.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура испытаний, К(°С) | Диапазон давлений, МПа | Эмпирическая формула скорости горения, *U*=*U*1*p*ν, мм/с |
| 293 (20) | От 5,88 до 9,81 | *U*=5,86*p*0,21 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,92*p*0,307 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,17*p*0,356 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,988*p*0,37 |
| 323 (50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=3,18*p*0,38 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,38*p*0,36 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,26*p*0,37 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=3,51*p*0,355 |
| 223 (-50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=2,6*p*0,39 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=2,74*p*0,37 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=2,9*p*0,36 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,95*p*0,361 |

Основные характеристики топлива представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные характеристики выбранного топлива

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование характеристики | Значение |
| Плотность, , кг/м3 | 1700 |
| Коэффициент обеспеченности окислителем | 0,649 |
| Удельная теплота горения, Qж, кДж/кг | 4602 |
| Тротиловый эквивалент | 1,1 |
| Теплоемкость топлива, cт, кДж/(кг⋅К) при 293 К | 0,421 |
| Коэффициент линейного расширения топлива, αл.р., 1/К при 293 К |  |

# 1.2.3 Опытные данные

Промежуточные результаты расчета ВБП показали невыполнение требований технического задания при использовании данных составов (меньшее время работы). Скорости горения состава принимаются из результатов опыта. Дальнейшие расчеты производятся на основании опытных данных.

Таблица 1.2.3.1 – Скорости горения (опытные)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура | Скорость горения, мм/с, при давлении, МПа (атм) | | | | | | | | |
| 2,02  (20) | 3,92  (40) | 5,88  (60) | 7,85  (80) | 9,81  (100) | 11,76  (120) | 13,72  (140) | 15,68  (160) | 17,65  (180) |
| 293 (20) | 5,66 | 8,54 | 10,94 | 12,71 | 14,09 | 15,09 | 15,94 | - | - |
| 323 (50) | 6,07 | 9,08 | 11,62 | 13,62 | 15,10 | 16,36 | 17,30 | - | - |
| 233 (-40) | 6,11 | 9,30 | 12,14 | 14,18 | 16,13 | 17,29 | 18,37 | 19,63 | 21,02 |

Аналитическая зависимость скорость горения в виде *U*=*U*1*p*ν выбранного топлива при различных температурах представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Аналитическая зависимость скорости горения ТРТ (Состав №2, опытные данные) от давления при различных температурах, выраженная в виде *U*=*U*1*p*ν.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура испытаний, К(°С) | Диапазон давлений, МПа | Эмпирическая формула скорости горения, *U*=*U*1*p*ν, мм/с |
| 293 (20) | От 2,02 до 5,88 | *U*=1,035*p*0,58 |
| От 5,88 до 9,81 | *U*=1,418*p*0,514 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=1,556*p*0,49 |
| От 9,81 до 13,72 | *U*=2,988*p*0,37 |
| 323 (50) | От 5,88 до 9,81 | *U*=3,18*p*0,38 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=3,38*p*0,36 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=3,26*p*0,37 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=3,51*p*0,355 |
| 233 (-40) | От 5,88 до 9,81 | *U*=2,6*p*0,39 |
| От 5,88 до 11,76 | *U*=2,74*p*0,37 |
| От 5,88 до 13,73 | *U*=2,9*p*0,36 |
| От 5,88 до 15,68 | *U*=2,95*p*0,361 |

Термодинамические расчёты проводятся по известной условной химической формуле топлива и при заданной степени расширения в программном комплексе «Астра».

**1.3 Выбор конструктивной формы заряда**

Выбор формы заряда непосредственно влияет на внутренние и внешние баллистические характеристики ЛА, а также на соответствие параметров РДТТ данным тактико-технического задания.

Основные требования к заряду ТТ заключаются в следующем.

* Форма заряда должна обеспечивать заданное изменение тяги или внутрикамерного давления по времени.
* Заряд должен максимально теплоизолировать стенки КС в процессе работы.
* Форма должна обеспечивать оптимальное удлинение корпуса ракеты для данного класса.
* Форма должна обеспечивать оптимальное расположение узлов воспламенения и органов управления РДТТ.
* Форма заряда должна быть технологичной.
* Коэффициент заполнения камеры топливом должен быть максимальным.

Для обеспечения вышеприведенных требований и ВБП РДТТ выбраны форма заряда и геометрические параметры. Заряд вкладной: представляет собой бронированную по наружной и торцевым поверхностям одноканальную шашку. Часть канала выполнена в форме «звезда». Так же для обеспечения ТЗ в цилиндрических участках канала предусмотрены компенсаторы.

Заряды с профильными каналами типа «звезда» или «вагонное колесо» из-за догорания остатков топлива после выхода лучей «звезды» на поверхность корпуса имеют в конце работы пологий спад давления и увеличенное соотношение для полного времени работы. Заряды с профильными каналами формируют неравномерный по сечению поток ПС, приводящий, особенно при высокой температуре ПС, к искажению тракта сопла. Горение такого типа заряда происходит только по внутренней поверхности, это создает хорошие условия для предохранения КС от перегрева.

Фазы горения заряда представлены в графической части дипломного проекта.

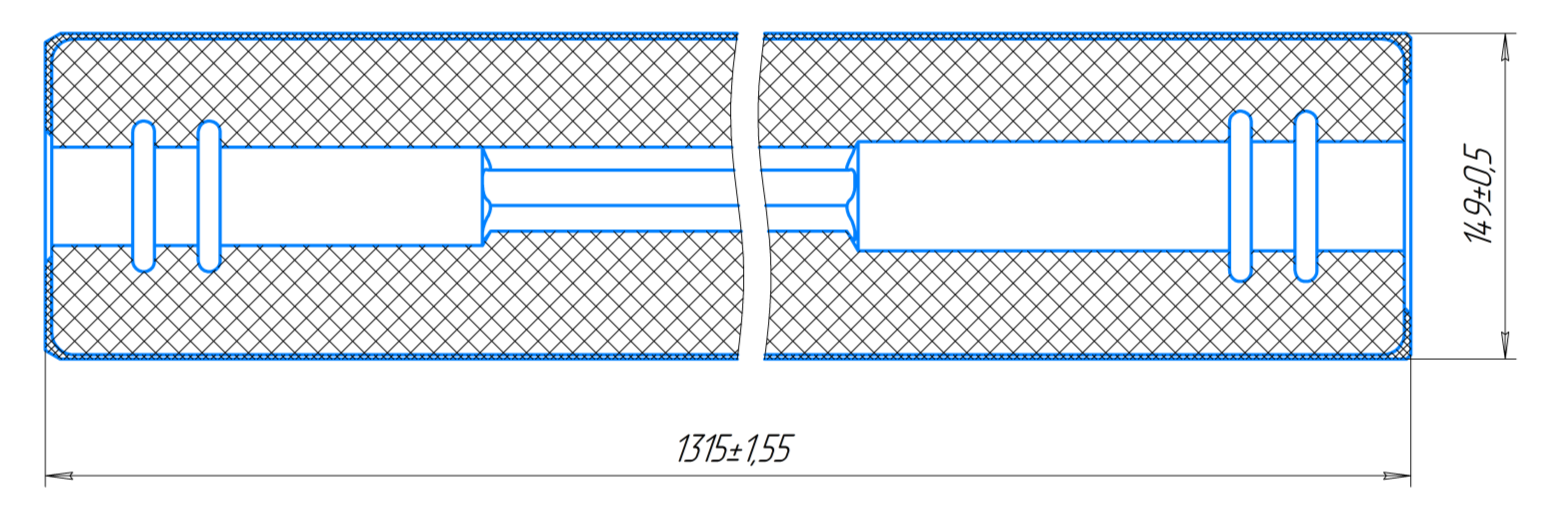


Рис. 1 – Конструктивная форма заряда.

Таблица 1.1 ‑ Зависимость средней площади поверхности горения основного изделия от величины сгоревшего свода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Свод, e, мм | Площадь поверхности, S, мм2 | Свод, e, мм | Площадь поверхности, S, мм2 |
| 0 | 224818 | 30 | 443400,4 |
| 2,5 | 244878,6 | 32,5 | 460796,4 |
| 5 | 258174 | 35 | 454929,2 |
| 7,5 | 284984,8 | 37,5 | 465522,4 |
| 10 | 304382,2 | 40 | 453084,4 |
| 12,5 | 321099,2 | 42,5 | 461146,6 |
| 15 | 340118,6 | 45 | 468789,6 |
| 17,5 | 359473,8 | 47,5 | 411636 |
| 20 | 377460,8 | 50 | 208396,3 |
| 22,5 | 394043,8 | 52,5 | 51486,98 |
| 25 | 409427 | 55 | 0 |
| 27,5 | 426196,8 | - | - |

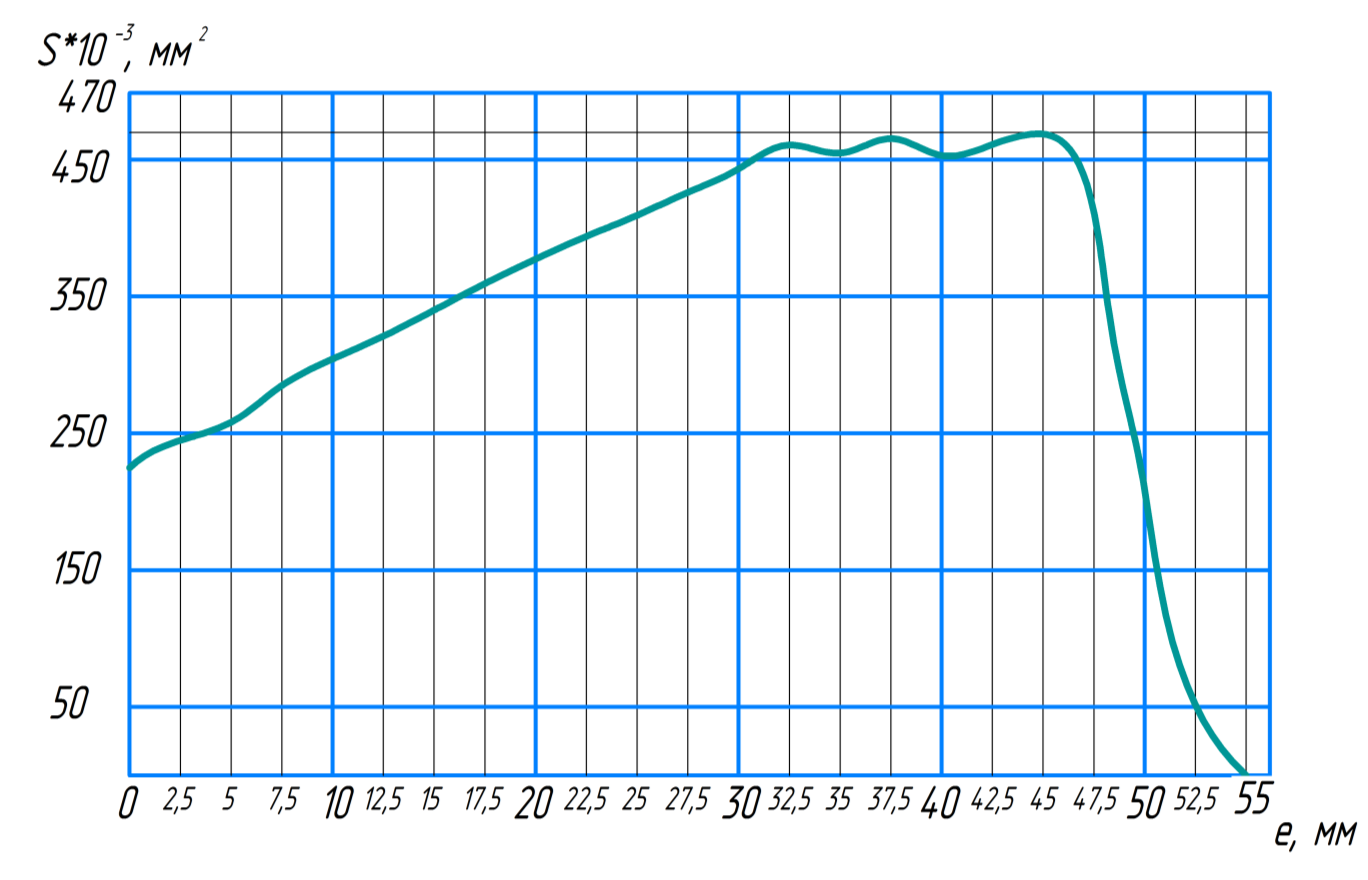


Рис.1 – Зависимость S(e) площади горения от величины свода.

1.4 Расчет отклонений и оценка предельных значений внутрибаллистических характеристик

1.4.1 Предельные отклонения за счет случайных разбросов параметров



Согласно правилам теории вероятностей среднеквадратичное отклонение суммы независимых случайных величин, распределенных по закону, близкому к нормальному, равно корню квадратному из суммы квадратов среднеквадратичных отклонений слагаемых. Для нормально распределенных случайных величин это правило распространяется и на предельные отклонения. Следовательно, можно записать выражения для предельных случайных отклонений основных параметров проектируемого ГГ.

Предельное отклонение давления в камере сгорания определяется по формуле:



Предельное отклонение секундного расхода продуктов сгорания определяется по формуле:



1.4.2 Отклонения за счет неслучайных отклонений параметров



#### Разброс скорости горения твердого топлива между партиями

При использовании зарядов разных партий возникают неслучайные отклонения единичной скорости горения . Если партий несколько, то могут быть выделены наименьшие и наибольшие значения  и  равные  и , соответственно.

Т.к. эти отклонения невелики , то для определения соответствующих отклонений **** можно использовать следующие зависимости:

;

.

На практике неслучайное изменение скорости горения (разброс) между партиями или отдельными крупногабаритными зарядами составляет величину .

#### Отклонение начальной температуры заряда от номинального значения

Температурный диапазон эксплуатации обычно не удовлетворяет условию , поэтому для учета влияния отклонений начальной температуры заряда на **** необходимо выполнить преобразования.

Для топлива ПХА-4М: .

Из уравнения Бори после преобразований получаем формулу:

.

Практически , поэтому можно записать:

;

;

;

;

где ;

;

;

.

Соответствующие относительные отклонения и определяются по формуле: :

;

;

;

.

#### Изменение площади критического сечения за счет разгара критического сечения

Унос массы в критическом сечении за счет эрозионных свойств приводит к появлению отклонений**** от соответствующих номинальных значений, которые могут быть рассчитаны по формулам:



где  – скорость разгара критического сечения сопла.

;

.

1.4.3 Суммарные предельные отклонения



Суммарные предельные относительные отклонения параметров **** с учетом влияния случайных и систематических воздействий могут быть найдены по формулам:

где – отклонение искомого параметра за счет случайных отклонений параметров;

– отклонение искомого параметра за счет отклонения скорости горения топлива от номинального значения;

– отклонение искомого параметра за счет отклонения начальной температуры заряда от номинального значения;

– отклонение искомого параметра за счет разгара критического сечения; индексы “min”, “max” относятся соответствующим минимальным и максимальным отклонениям параметра.

**1.5 Расчет внутрибаллистических характеристик РДТТ**

Для получения основных параметров РДТТ необходимо произвести расчёт внутрибаллистических характеристик.

Из результатов термодинамического расчёта выбранного топлива используются значения равновесной температуры продуктов сгорания 2634 К, показателя адиабаты 1,237.

Так же зададимся следующими значениями:

* коэффициент, учитывающий потери энергии на нагрев стенок КС и на неполноту сгорания твердого топлива –
* коэффициент потерь расхода сопла – . 0,96

По указанным в задании на проект данным определяются начальные газодинамические параметры.

; 338,917

Зная газодинамические параметры, определяется удельный импульс:

Определяется расход, масса топлива и площадь поверхности горения.

*Расчёт габаритов и массы заряда и корпуса:*

Определяется площадь и диаметр критического сечения.

Определяется площадь и диаметр выходного сечения сопла:

;

Определяются размеры заряда:

– максимальный свод.

Внутренний диаметр заряда принимаем равным ;

Так как в процессе выгорания работы РДТТ топливо выгорает неравномерно (имеются дигрессивные остатки), то сводом задаёмся меньше максимального значения. Примем: .

Форма, размеры и количество лучей «звезды», а также форма переднего и заднего днища подбирается исходя из условия постоянства площади горения в течение всего времени работы РДТТ. Так же задаёмся разгаром диаметра критического сечения величиной 0,2 *мм/с*.

В программном комплексе SolidWorks проводится построение заряда с учетом рассчитанных параметров и принятых допущений и определяется площадь горения в зависимости от величины сгоревшего свода.

Полученные данные используются для расчета разгара критического сечения, давления в КС, скорости горения топлива и времени работы РДТТ в зависимости от величины сгоревшего свода.

Расчёт диаметра критического сечения в зависимости от величины сгоревшего свода проводится следующим образом:



где - значение диаметра критического сечения в рассматриваемый момент времени,  - предыдущее значение диаметра критического сечения, 10 мм – шаг разбиения по своду, 0,2 – величина разгара критического сечения за 1 секунду работы двигателя,  - скорость горения топлива на предыдущем участке разбиения.

Далее вычисляется площадь критического сечения в рассматриваемый момент времени:



Полученные ранее значения используются для расчёта давления:



Скорость горения вычисляем по формуле:



Значение времени работы при данной величине сгоревшего свода определяется следующим образом:



Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Внутрибаллистические характеристики в зависимости от величины сгоревшего свода при T= минус 40°С

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| e, мм | Fг, мм2 | Pк, МПа | U, мм/с | t, с |
| 0 | 224818 | 0 | 14,800 | 0,000 |
| 2,5 | 244878,6 | 9,761347 | 15,035 | 0,169 |
| 5 | 258174 | 10,6159 | 15,510 | 0,335 |
| 7,5 | 284984,8 | 12,41843 | 16,436 | 0,496 |
| 10 | 304382,2 | 13,78668 | 17,084 | 0,648 |
| 12,5 | 321099,2 | 15,00779 | 17,629 | 0,795 |
| 15 | 340118,6 | 16,44316 | 18,235 | 0,937 |
| 17,5 | 359473,8 | 17,95308 | 18,838 | 1,074 |
| 20 | 377460,8 | 19,39979 | 19,386 | 1,206 |
| 22,5 | 394043,8 | 20,76999 | 19,881 | 1,335 |
| 25 | 409427 | 22,07172 | 20,334 | 1,461 |
| 27,5 | 426196,8 | 23,52387 | 20,819 | 1,584 |
| 30 | 443400,4 | 25,04886 | 21,308 | 1,704 |
| 32,5 | 460796,4 | 26,62665 | 21,795 | 1,822 |
| 35 | 454929,2 | 26,09052 | 21,632 | 1,936 |
| 37,5 | 465522,4 | 27,06142 | 21,926 | 2,052 |
| 40 | 453084,4 | 25,92278 | 21,580 | 2,166 |
| 42,5 | 461146,6 | 26,65878 | 21,805 | 2,282 |
| 45 | 468789,6 | 27,36352 | 22,017 | 2,396 |
| 47,5 | 411636 | 22,26104 | 20,398 | 2,510 |
| 50 | 208396,3 | 7,556178 | 13,676 | 2,632 |
| 52,5 | 51486,98 | 0,821305 | 6,017 | 2,815 |
| 55 | 0 | 0 | 0,000 | 3,231 |

Таблица 1.1 – Внутрибаллистические характеристики в зависимости от величины сгоревшего свода при T= 20°С

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| e, мм | Fг, мм2 | Pк, МПа | U, мм/с | t, с |
| 0 | 224818 | 0 | 16,000 | 0,000 |
| 2,5 | 244878,6 | 10,96119 | 16,681 | 0,156 |
| 5 | 258174 | 11,83019 | 17,076 | 0,306 |
| 7,5 | 284984,8 | 13,64299 | 17,840 | 0,453 |
| 10 | 304382,2 | 15,00292 | 18,368 | 0,593 |
| 12,5 | 321099,2 | 16,20624 | 18,808 | 0,729 |
| 15 | 340118,6 | 17,6094 | 19,294 | 0,862 |
| 17,5 | 359473,8 | 19,07348 | 19,773 | 0,991 |
| 20 | 377460,8 | 20,46577 | 20,205 | 1,118 |
| 22,5 | 394043,8 | 21,77573 | 20,594 | 1,241 |
| 25 | 409427 | 23,01297 | 20,946 | 1,363 |
| 27,5 | 426196,8 | 24,38538 | 21,322 | 1,482 |
| 30 | 443400,4 | 25,81837 | 21,699 | 1,599 |
| 32,5 | 460796,4 | 27,29265 | 22,072 | 1,715 |
| 35 | 454929,2 | 26,79261 | 21,947 | 1,828 |
| 37,5 | 465522,4 | 27,69749 | 22,172 | 1,942 |
| 40 | 453084,4 | 26,63598 | 21,908 | 2,055 |
| 42,5 | 461146,6 | 27,32259 | 22,080 | 2,169 |
| 45 | 468789,6 | 27,97843 | 22,241 | 2,282 |
| 47,5 | 411636 | 23,19236 | 20,996 | 2,394 |
| 50 | 208396,3 | 8,684804 | 15,530 | 2,513 |
| 52,5 | 51486,98 | 1,154995 | 8,360 | 2,674 |
| 55 | 0 | 0 | 0,000 | 2,973 |

Таблица 1.1 – Внутрибаллистические характеристики в зависимости от величины сгоревшего свода при T= 50°С

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| e, мм | Fг, мм2 | Pк, МПа | U, мм/с | t, с |
| 0 | 224818 | 0 | 19,000 | 0,000 |
| 2,5 | 244878,6 | 11,66834 | 18,889 | 0,132 |
| 5 | 258174 | 13,14039 | 19,714 | 0,264 |
| 7,5 | 284984,8 | 16,40716 | 21,354 | 0,391 |
| 10 | 304382,2 | 19,02381 | 22,523 | 0,508 |
| 12,5 | 321099,2 | 21,45247 | 23,518 | 0,619 |
| 15 | 340118,6 | 24,4139 | 24,639 | 0,725 |
| 17,5 | 359473,8 | 27,64729 | 25,767 | 0,827 |
| 20 | 377460,8 | 30,85343 | 26,806 | 0,924 |
| 22,5 | 394043,8 | 33,98321 | 27,754 | 1,017 |
| 25 | 409427 | 37,03733 | 28,628 | 1,107 |
| 27,5 | 426196,8 | 40,53373 | 29,573 | 1,194 |
| 30 | 443400,4 | 44,30335 | 30,535 | 1,279 |
| 32,5 | 460796,4 | 48,30519 | 31,500 | 1,361 |
| 35 | 454929,2 | 46,93401 | 31,175 | 1,440 |
| 37,5 | 465522,4 | 49,42564 | 31,761 | 1,520 |
| 40 | 453084,4 | 46,50739 | 31,073 | 1,599 |
| 42,5 | 461146,6 | 48,38773 | 31,520 | 1,679 |
| 45 | 468789,6 | 50,20857 | 31,942 | 1,759 |
| 47,5 | 411636 | 37,4879 | 28,753 | 1,837 |
| 50 | 208396,3 | 8,120243 | 16,578 | 1,924 |
| 52,5 | 51486,98 | 0,350826 | 5,349 | 2,075 |
| 55 | 0 | 0 | 0,000 | 2,542 |

Рис. 1.1. - Изменение давления в камере сгорания в зависимости от времени работы двигателя*.*

Рис. 1.1. - Изменение скорости горения ТРТ в зависимости от времени работы двигателя

1.12 Расчёт и проектирование соплового блока

Газодинамический тракт формируют набором композиционных материалов (углепластик, графит, тугоплавкие сплавы, углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ)).

Утопленные сопла имеют следующие основные особенности:

* повышенный эрозионный износ зоны «воротника», входящего в КС;
* выпадение К-фазы в зоне за «воротником»;
* потери удельного импульса составляет порядка , в зависимости от степени утопленности сопла.

Основной особенностью данной двигательной установки на твёрдом топливе является наличие к-фазы в продуктах сгорания, поэтому к сопловым блокам предъявляют следующие требования:

* сопловой блок должен выдерживать все факторы рабочего процесса (давление, температуру, воздействие конденсированной фазы, космического излучения и пр.);
* сопловой блок должен удовлетворять эксплуатационным требованиям, т.е. должен обеспечивать возможность управления вектором тяги в полете, удобство транспортировки и пр.
* сопловой блок должен обеспечивать минимальность осевых габаритов двигателя;
* сопловой блок должен быть технологичным в изготовлении.

С целью достижения высоких качеств сопла (малые потери и масса), большой степени расширения и возможности использовать ПУС для регулирования вектором тяги по направлению, выберем из всех известных типов сопловых блоков односопловую конструкцию с центральным расположением относительно оси корпуса. СБ спроектируем утопленным.

Коэффициент утопленности сопла:

где – полная длина сопла, а – глубина погружения (расстояние от входа в сопло до точки пересечения оси сопла с контуром заднего днища).

Тогда:

Использование ПУС для управления вектором тяги является наиболее энергетически экономичным. Управляющее усилие создается в результате практически равномерного и осесимметричного истечения ПС и одновременного поворота докритической и закритической частей сопла.

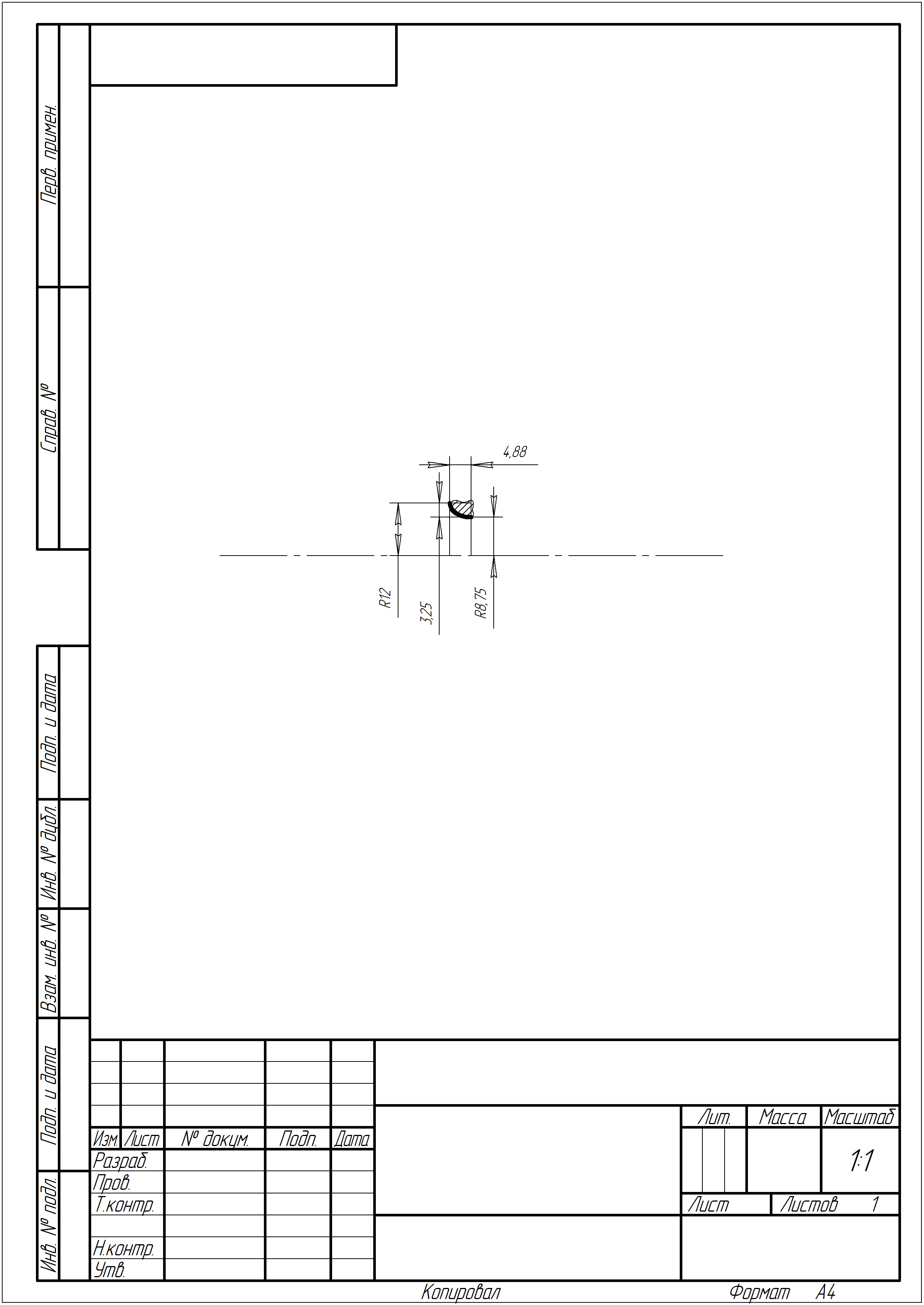
Качество профилирования контура сужающейся, трансзвуковой и расширяющейся частей сопла определяет массово-габаритные и тягово-импульсные характеристики, как двигательной установки, так и ЛА в целом. Поэтому проектирование соплового блока является одной из основных задач создания РДТТ. Основной задачей при профилировании контура сопла является построение профиля расширяющейся части. Наиболее эффективный из методов построения – метод огибающих Рао. Этот метод очень близок по точности к реальному моделированию формы сопла.

1.12.1 Профилирование сужающейся части сопла

Профиль утопленной части сопла выполнен поверхностью, образованной вращением эллипса с полуосями ***a*** и ***b*** относительно оси сопла, где

Для уменьшения эрозии сопла входное сечение выполняется в соответствии с рекомендацией:

Примем , тогда

**

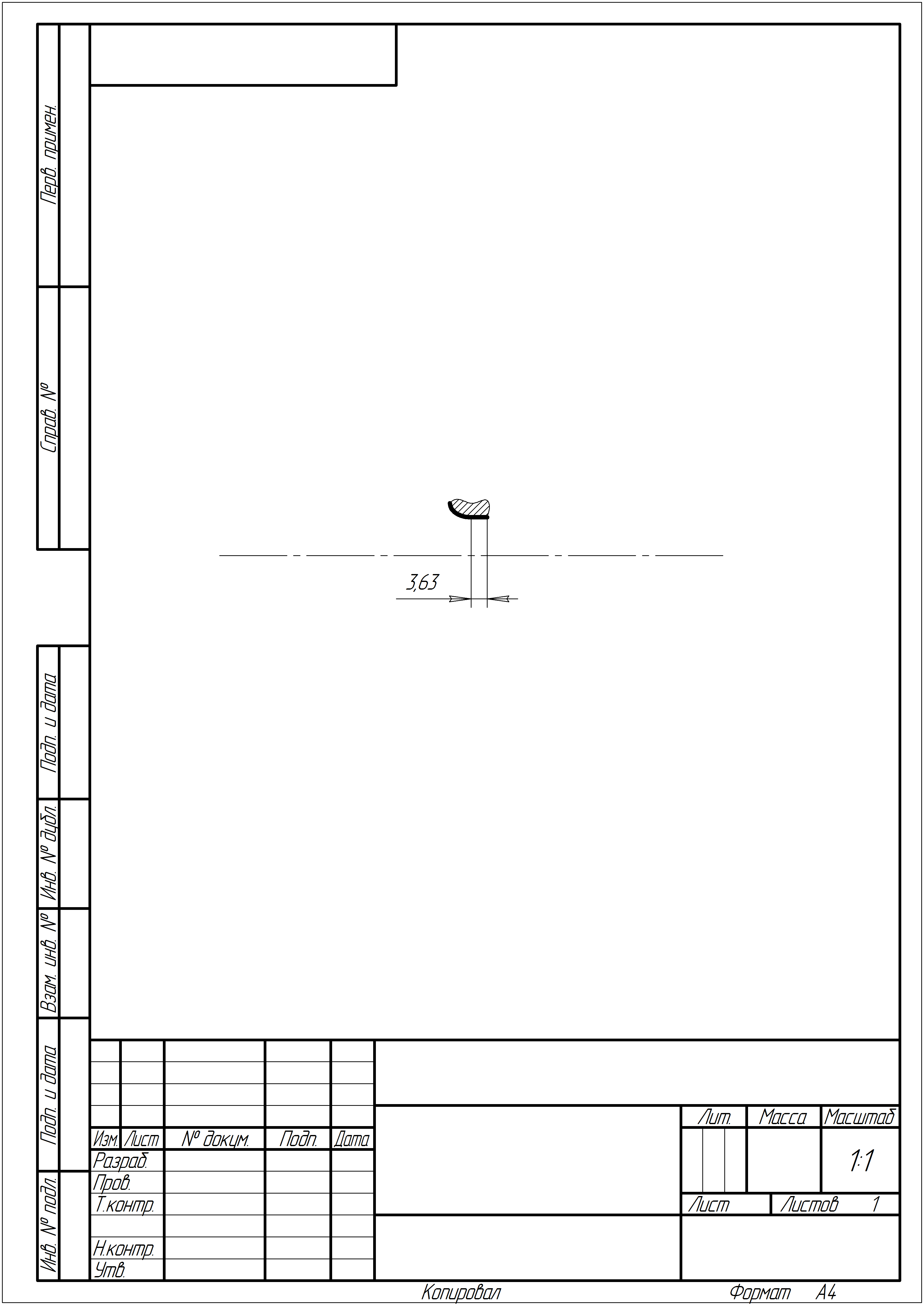
Рис*.*1.1 Контур сужающейся части сопла

1.12.2 Профилирование трансзвуковой части сопла

Неоптимальный профиль в районе критического сечения сопла, как и неверный профиль сужающейся части, могут привести к возникновению системы скачков уплотнения, которые приводят к потерям энергии и уменьшению удельного импульса.

Минимальную длину расширяющейся части сопла обеспечивает сверхзвуковой контур с «угловой точкой», в котором сопряжение дозвукового и сверхзвукового участков сопла выполнено с изломом. Но при наличии «угловой точки» возникает скачок уплотнения и унос материала проточного тракта в начальной части расширяющегося участка сопла.

Из технологических соображений критическое сечение выполнено в виде ленты шириной 3,6 мм.



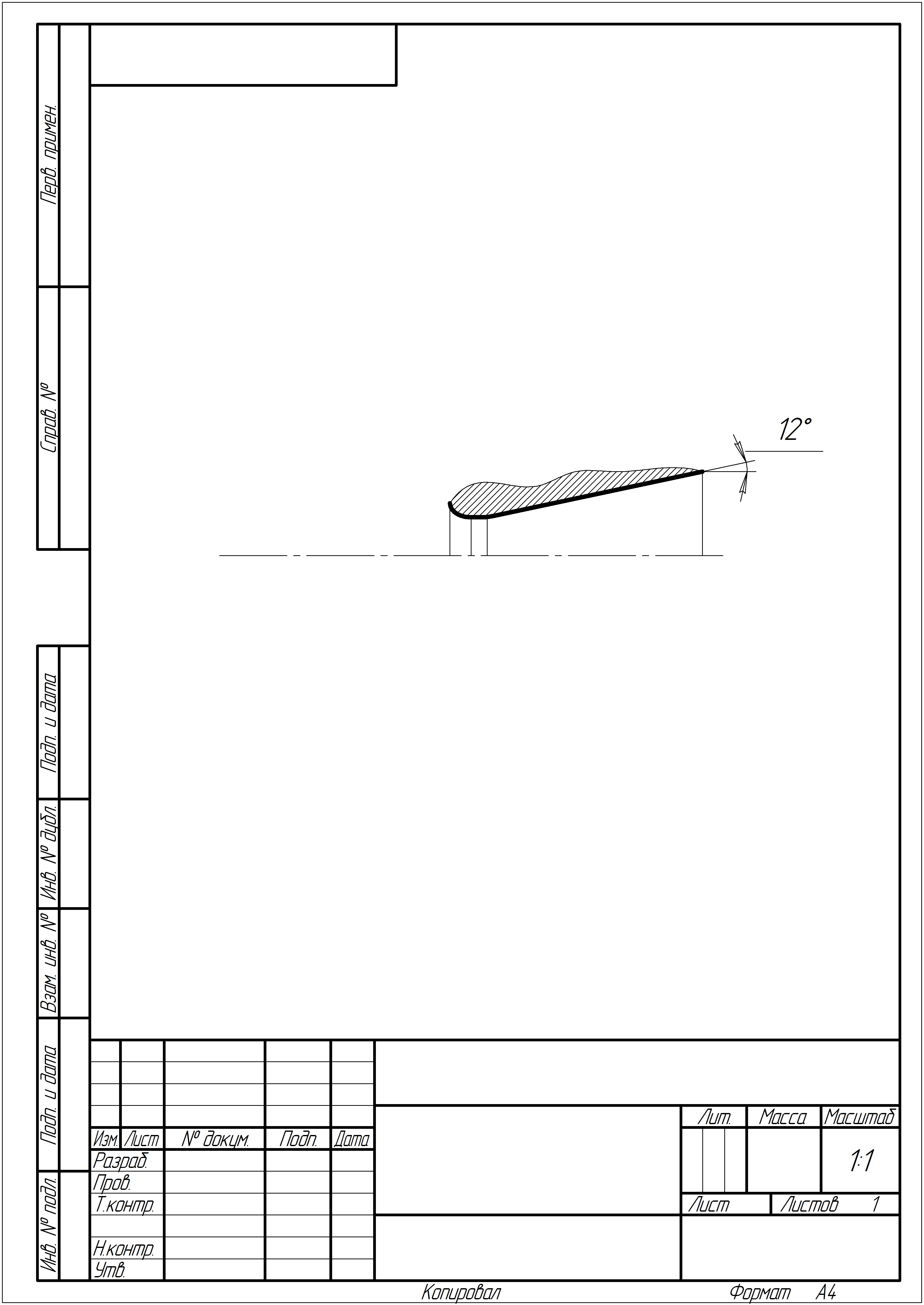
Рис*.*1.1 Контур трансзвуковой части сопла

1.12.3 Профилирование расширяющейся части сопла

Из внутрибаллистического расчёта известны следующие геометрические характеристики и заданы параметры ПС:

На основании технологических решений, принятых в уже отработанном прототипе ДМ-70 конструкция расширяющейся части сопла выполняется в виде конуса с . Данное значение соответствует оптимальному углу выхода.

Тогда,



Рис*.*1.1 Контур расширяющейся части сопла

**1.13 Расчёт потерь удельного импульса**

Реальное значение удельного импульса РДТТ отличается от величины, получаемой термодинамическим расчётом и проводимым, как правило, при упрощающих допущениях. В качестве допущений принимаются следующие:

* истечение из сопла – одномерное и равномерное;
* течение продуктов сгорания в сопле адиабатическое без теплообмена с материалом стенок сопла;
* химические реакции между различными компонентами ПС идут равновесно;
* в двухфазных потоках имеет место тепловое и динамическое равновесие между фазами и т.п.

Учёт отличия значений удельного импульса, вычисленного термодинамическим расчётом при использовании упрощающих допущений, от реальных значений на практике выполняется расчётом коэффициентов потерь .

При оценке потерь полагается, что различные составляющие независимы и аддитивны:

В данной выпускной квалификационной работе в расчётах учитывают следующие составляющие потерь удельного импульса:

* – потери на рассеяние;
* – потери на трение;
* – потери, обусловленные утопленностью сопла;
* – потери из-за химической неравновесности;
* – потери из-за наличия конденсированных продуктов сгорания;
* – потери из-за разгара критической части сопла.

Для профилированных сопл величина потерь на рассеяние может определяться зависимостью:

Потери удельного импульса из-за трения потока рассчитываются по формуле:

Здесь – температурный фактор, – параметр шероховатости внутренней поверхности сопла. В точной постановке определение потерь из-за трения производиться в процессе комплексного расчёта течения ПС в сопле с учётом турбулентного пограничного слоя на стенке сопла, теплообмена и вдува продуктов разложения ТЗП в пограничный слой.

Потери удельного импульса из-за наличия конденсированных ПС со средним размером определяются по выражению:

где (причем значение *,* подставляются соответственно в метрах и мкм), – относительная массовая концентрация к-фазы в продуктах сгорания.

* – коэффициент, учитывающий абсолютное значение давления в КС РДТТ и обусловливающий снижение потерь при увеличении давления торможения вследствие ускорения процессов скоростной релаксации потока:
* – коэффициент учета влияния геометрической степени расширения сопла РДТТ, обусловливающего уменьшение двухфазных потерь за счет снижения градиента скорости потока по длине сопла:
* – коэффициент, учитывающий степень укорочения сопла:

где .

Тогда:

В случае использования утопленного сопла газодинамические потери могут быть оценены приближённо .

Потери на разгар критического сечения определяются по следующей зависимости:

,

где ya0 – отношение диаметра выходного сечения сопла к начальному диаметру критического сечения, ya – отношение диаметра выходного сечения сопла к конечному диаметру критического сечения.

Потери из-за химической неравновесности потока определяем по формуле:

,

значения удельных импульсов получены из программного комплекса «Астра».

Таким образом, суммарные потери будут равны:

Коэффициент потерь сопла:

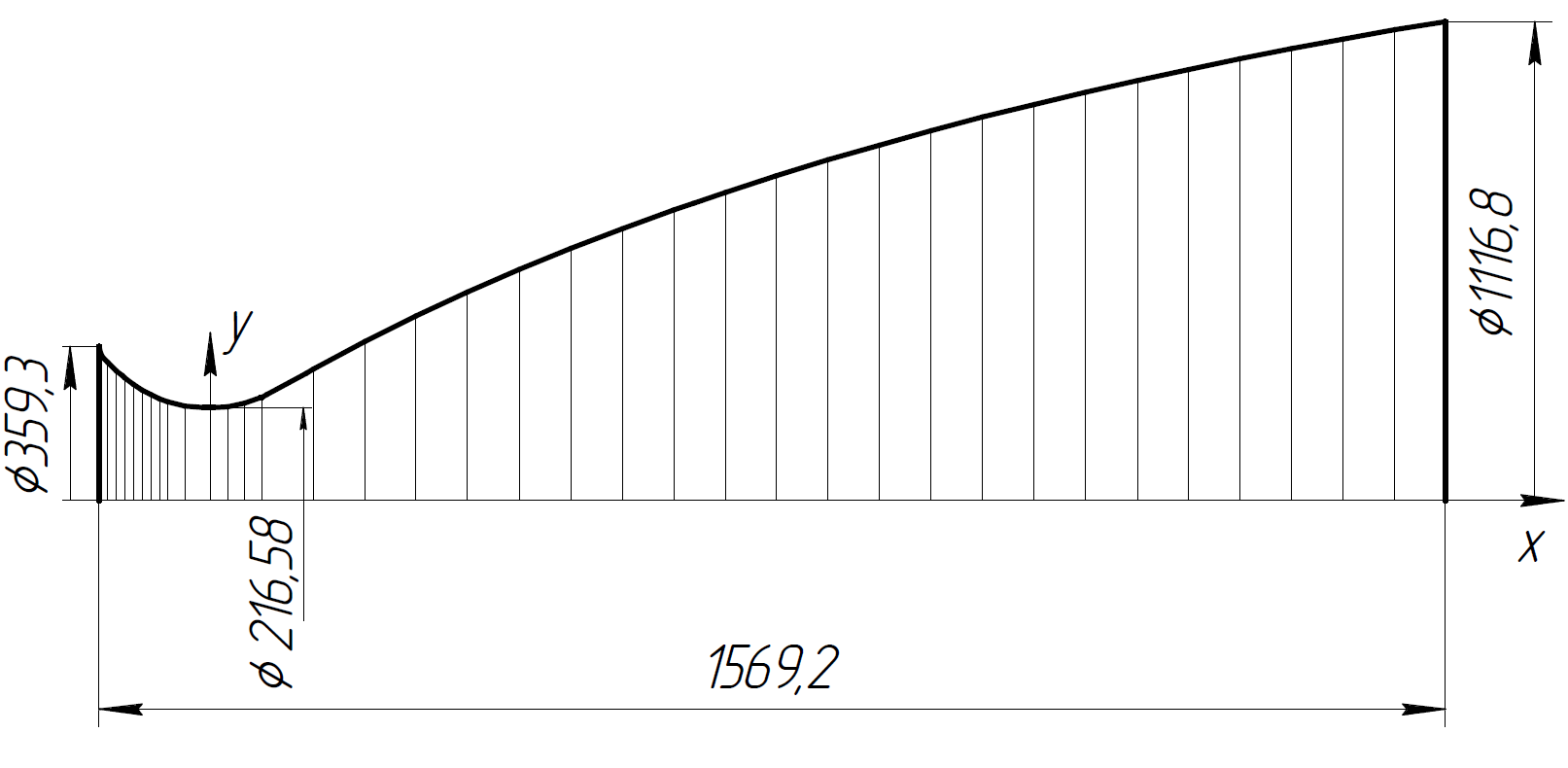
1.14 Расчёт термодинамических параметров газового потока по сопловому тракту РДТТ

Граничными условиями для решения краевой задачи теплопроводности, по результатам которого принимается решение о создании тепловой защиты, являются:

* координаты исходного контура сопла (Таблица 1.8)
* показатели ПС топлива:
* температура торможения – ;
* показатель адиабаты – ;
* газовая постоянная –
* давление торможения –

Радиус минимального сечения

Степень расширения сопла



*Рисунок 1.11. Расчётная схема для определения тепловых потоков по длине сопла.*

Безразмерные координаты осесимметричного контура приведены в Таблице 1.8. Начало координат расположено в минимальном сечении сопла.

*Таблица 1.8 Безразмерные координаты осесимметричного контура*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  |  |  |  |
| 1 | -129,51 | 179,64 | 0,1 | 0,363 |
| 2 | -119,51 | 160,76 | 0,122 | 0,454 |
| 3 | -109,51 | 151,14 | 0,136 | 0,513 |
| 4 | -99,51 | 142,96 | 0,149 | 0,574 |
| 5 | -89,51 | 135,25 | 0,161 | 0,641 |
| 6 | -79,51 | 128,79 | 0,173 | 0,707 |
| 7 | -69,51 | 123,39 | 0,185 | 0,77 |
| 8 | -59,51 | 118,93 | 0,196 | 0,829 |
| 9 | -49,51 | 115,33 | 0,206 | 0,882 |
| 10 | -29,51 | 110,42 | 0,227 | 0,962 |
| 11 | 0 | 108,29 | 0,257 | 1 |
| 12 | 20 | 109,21 | 0,277 | 0,983 |
| 13 | 40 | 113,2 | 0,297 | 0,915 |
| 14 | 60 | 120,65 | 0,318 | 0,806 |
| 15 | 120 | 152,91 | 0,386 | 0,502 |
| 16 | 180 | 185,23 | 0,455 | 0,342 |
| 17 | 240 | 215,18 | 0,522 | 0,253 |
| 18 | 300 | 243,21 | 0,588 | 0,198 |
| 19 | 360 | 269,4 | 0,653 | 0,162 |
| 20 | 420 | 293,92 | 0,718 | 0,136 |
| 21 | 480 | 316,96 | 0,782 | 0,117 |
| 22 | 540 | 338,68 | 0,846 | 0,102 |
| 23 | 600 | 359,23 | 0,91 | 0,091 |
| 24 | 660 | 378,64 | 0,973 | 0,082 |
| 25 | 720 | 397,02 | 1,036 | 0,074 |
| 26 | 780 | 414,47 | 1,098 | 0,068 |
| 27 | 840 | 431,03 | 1,16 | 0,063 |
| 28 | 900 | 446,78 | 1,222 | 0,059 |
| 29 | 960 | 461,77 | 1,284 | 0,055 |
| 30 | 1020 | 476,03 | 1,346 | 0,052 |
| 31 | 1080 | 489,61 | 1,407 | 0,049 |
| 32 | 1140 | 502,58 | 1,469 | 0,046 |

*Таблица 1.8 (продолжение)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  |  |  |  |
| 33 | 1200 | 514,98 | 1,53 | 0,044 |
| 34 | 1260 | 526,83 | 1,591 | 0,042 |
| 35 | 1320 | 538,07 | 1,652 | 0,041 |
| 36 | 1380 | 548,64 | 1,713 | 0,039 |
| 37 | 1439,69 | 558,43 | 1,774 | 0,038 |

Зависимость переносных свойств и теплоемкости приведены в Таблице 1.9.

*Таблица 1.9 Зависимость переносных свойств и теплоёмкости*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1200 | 1600 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | 3200 |
|  | 0,442 | 0,547 | 0,643 | 0,731 | 0,810 | 0,846 | 0,878 |
|  | 0,1997 | 0,25559 | 0,31123 | 0,36438 | 0,41116 | 0,43165 | 0,4506 |
|  | 1,958 | 2,053 | 2,132 | 2,188 | 2,212 | 2,214 | 2,215 |
|  | 0,435 | 0,439 | 0,440 | 0,439 | 0,436 | 0,434 | 0,432 |

Параметры газового потока – одномерное адиабатическое течение идеального газа.

С помощью ГДФ в выбранных расчётных сечениях сопла вычисляются значения давления, температуры, скорости газа, а также числа Маха.

Для расчёта используется программный комплекс MathCAD 15.

Определим значения давления, температуры, скорости газа, а также числа Маха, при помощи газодинамических функций в выбранных расчётных сечениях сопла, для этого:

Определение газодинамические функции производится по зависимости:

По значениям газодинамической функции определим:

* значение , зная что:
* значения газодинамической функции
* значения газодинамической функции
* значения газодинамической функции

По известным значениям газодинамических функций, определим параметры продуктов сгорания:

* давление газа:
* температура газа:
* скорость газа в критическом сечении:
* текущая скорость газа: ;
* cкорость звука: ;
* число Маха:

Результаты представлены в Таблице 1.10.

*Таблица 1.10 Параметры продуктов сгорания*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 0,231 | 0,995 | 0,9714 | 13,6 | 3173,917 | 242,848 | 0,221 |
| 2 | 0,293 | 0,993 | 0,9543 | 13,36 | 3164,907 | 308,324 | 0,281 |
| 3 | 0,335 | 0,99 | 0,9406 | 13,168 | 3157,594 | 352,64 | 0,322 |
| 4 | 0,381 | 0,987 | 0,9239 | 12,934 | 3148,588 | 400,536 | 0,366 |
| 5 | 0,434 | 0,984 | 0,9022 | 12,63 | 3136,653 | 456,327 | 0,418 |
| 6 | 0,49 | 0,979 | 0,8765 | 12,271 | 3122,246 | 515,697 | 0,473 |
| 7 | 0,549 | 0,974 | 0,847 | 11,858 | 3105,23 | 578,015 | 0,532 |
| 8 | 0,612 | 0,968 | 0,8133 | 11,386 | 3085,128 | 643,911 | 0,594 |
| 9 | 0,678 | 0,96 | 0,7753 | 10,854 | 3061,661 | 713,176 | 0,661 |
| 10 | 0,816 | 0,942 | 0,6887 | 9,642 | 3004,302 | 859,285 | 0,804 |
| 11 | 1 | 0,913 | 0,5664 | 7,93 | 2912 | 1052,658 | 1 |
| 12 | 1,127 | 0,89 | 0,4816 | 6,743 | 2837,583 | 1185,819 | 1,141 |
| 13 | 1,291 | 0,855 | 0,3761 | 5,266 | 2727,712 | 1358,771 | 1,334 |
| 14 | 1,455 | 0,816 | 0,2804 | 3,925 | 2602,745 | 1531,933 | 1,539 |
| 15 | 1,81 | 0,716 | 0,1231 | 1,724 | 2282,24 | 1905,416 | 2,045 |
| 16 | 2 | 0,653 | 0,0692 | 0,969 | 2081,859 | 2105,527 | 2,366 |
| 17 | 2,121 | 0,61 | 0,0451 | 0,632 | 1944,253 | 2232,583 | 2,596 |
| 18 | 2,206 | 0,578 | 0,0322 | 0,45 | 1841,901 | 2322,585 | 2,774 |
| 19 | 2,27 | 0,553 | 0,0245 | 0,343 | 1763,393 | 2389,323 | 2,917 |
| 20 | 2,321 | 0,533 | 0,0194 | 0,271 | 1698,626 | 2443,009 | 3,039 |
| 21 | 2,362 | 0,516 | 0,0159 | 0,222 | 1645,253 | 2486,378 | 3,142 |
| 22 | 2,398 | 0,501 | 0,0132 | 0,185 | 1598,379 | 2523,853 | 3,236 |
| 23 | 2,426 | 0,489 | 0,0114 | 0,159 | 1560,616 | 2553,643 | 3,314 |
| 24 | 2,451 | 0,479 | 0,0099 | 0,139 | 1527,024 | 2579,855 | 3,384 |
| 25 | 2,474 | 0,469 | 0,0087 | 0,122 | 1494,869 | 2604,697 | 3,454 |
| 26 | 2,493 | 0,461 | 0,0078 | 0,109 | 1468,895 | 2624,592 | 3,511 |
| 27 | 2,51 | 0,453 | 0,0071 | 0,099 | 1445,919 | 2642,067 | 3,562 |
| 28 | 2,524 | 0,447 | 0,0065 | 0,091 | 1426,424 | 2656,804 | 3,606 |
| 29 | 2,538 | 0,441 | 0,0059 | 0,083 | 1405,977 | 2672,173 | 3,653 |
| 30 | 2,55 | 0,436 | 0,0055 | 0,077 | 1389,929 | 2684,173 | 3,691 |
| 31 | 2,562 | 0,431 | 0,0051 | 0,072 | 1373,102 | 2696,7 | 3,731 |
| 32 | 2,574 | 0,425 | 0,0047 | 0,066 | 1355,483 | 2709,753 | 3,773 |

*Таблица 1.10 (продолжение)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 33 | 2,583 | 0,421 | 0,0045 | 0,062 | 1343,214 | 2718,805 | 3,803 |
| 34 | 2,592 | 0,417 | 0,0042 | 0,059 | 1330,474 | 2728,174 | 3,834 |
| 35 | 2,596 | 0,415 | 0,0041 | 0,057 | 1324,016 | 2732,911 | 3,85 |
| 36 | 2,606 | 0,411 | 0,0038 | 0,053 | 1310,633 | 2742,701 | 3,884 |
| 37 | 2,61 | 0,409 | 0,0037 | 0,052 | 1303,707 | 2747,753 | 3,901 |

Определим температуру и энтальпию восстановления газа на адиабатической стенке в выбранных сечениях сопла.

Температура восстановления газа:

Энтальпия восстановления газа:

где коэффициент восстановления, – удельная теплоемкость газа при температуре восстановления газа на адиабатической стенке.

*Таблица 1.11 Значения параметров восстановления*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 1 | 2215,249 | 7055,678 | 0,432 | 3185,049 |
| 2 | 2215,245 | 7050,798 | 0,432 | 3182,853 |
| 3 | 2215,241 | 7046,84 | 0,432 | 3181,071 |
| 4 | 2215,237 | 7041,966 | 0,433 | 3178,877 |
| 5 | 2215,231 | 7035,511 | 0,433 | 3175,972 |
| 6 | 2215,224 | 7027,723 | 0,433 | 3172,467 |
| 7 | 2215,215 | 7018,533 | 0,433 | 3168,33 |
| 8 | 2215,205 | 7007,685 | 0,433 | 3163,447 |
| 9 | 2215,193 | 6995,034 | 0,433 | 3157,753 |
| 10 | 2215,165 | 6964,175 | 0,434 | 3143,863 |
| 11 | 2215,119 | 6914,695 | 0,435 | 3121,59 |

*Таблица 1.11 (продолжение)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 12 | 2215,083 | 6874,964 | 0,436 | 3103,706 |
| 13 | 2215,029 | 6816,567 | 0,437 | 3077,417 |
| 14 | 2214,968 | 6750,525 | 0,438 | 3047,686 |
| 15 | 2214,534 | 6580,796 | 0,44 | 2971,639 |
| 16 | 2213,965 | 6472,896 | 0,44 | 2923,666 |
| 17 | 2213,574 | 6398,605 | 0,44 | 2890,622 |
| 18 | 2213,281 | 6343,067 | 0,44 | 2865,911 |
| 19 | 2213,056 | 6300,43 | 0,439 | 2846,936 |
| 20 | 2212,871 | 6265,232 | 0,439 | 2831,269 |
| 21 | 2212,717 | 6236,211 | 0,439 | 2818,349 |
| 22 | 2212,583 | 6210,677 | 0,439 | 2806,981 |
| 23 | 2212,348 | 6188,985 | 0,439 | 2797,474 |
| 24 | 2211,837 | 6168,812 | 0,438 | 2789 |
| 25 | 2211,347 | 6149,473 | 0,438 | 2780,873 |
| 26 | 2210,95 | 6133,831 | 0,437 | 2774,297 |
| 27 | 2210,599 | 6119,979 | 0,437 | 2768,471 |
| 28 | 2210,3 | 6108,215 | 0,437 | 2763,522 |
| 29 | 2209,987 | 6095,865 | 0,437 | 2758,326 |
| 30 | 2209,741 | 6086,164 | 0,436 | 2754,243 |
| 31 | 2209,482 | 6075,984 | 0,436 | 2749,958 |
| 32 | 2209,212 | 6065,318 | 0,436 | 2745,467 |
| 33 | 2209,023 | 6057,885 | 0,436 | 2742,337 |
| 34 | 2208,827 | 6050,162 | 0,436 | 2739,084 |
| 35 | 2208,727 | 6046,246 | 0,436 | 2737,434 |
| 36 | 2208,521 | 6038,126 | 0,435 | 2734,014 |
| 37 | 2208,414 | 6033,923 | 0,435 | 2732,242 |

Температуру стенки сопла вычисляем, принимая величину температурного фактора: .

Температура стенки:

Плотность потока при температуре стенки:

Число Рейнольдса:

Используя формулу Авдуевского, вычисляем значения безразмерного коэффициента теплоотдачи – критерия Стантона на идеальной стенке – в каждом сечении:

Индекс «w» означает, что величина вычисляется при температуре стенки вычисляется из уравнения состояния идеального газа; определяются, ориентируясь на табличные значения, методом интерполяции.

Значение числа Стантона для реальных условий определим через поправочные коэффициенты, учитывающие отличие реальных процессов от идеальных:

* коэффициент, учитывающий вдув газа в результате разложения ТЗП: ;
* коэффициент, учитывающий влияние конденсированных частиц в ПС:
* коэффициент, учитывающий влияние турбулентности пульсаций:

Подставляя значения рассчитанных величин в соотношение для определения числа Стантона в каждом сечении, получим:

Далее определим значения коэффициента теплоотдачи и теплового потока, обусловленные конвективным теплообменом:

*Таблица 1.12 Значения термодинамических параметров потока на стенке*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 2707,292 | 2206,888 | 5974,69 | 0,792 | 15,71 | 481,89 | 0,43693 |
| 2 | 2705,425 | 2206,775 | 5970,26 | 0,791 | 15,443 | 733,969 | 0,43695 |
| 3 | 2703,91 | 2206,684 | 5966,68 | 0,791 | 15,23 | 922,472 | 0,43696 |
| 4 | 2702,046 | 2206,571 | 5962,26 | 0,791 | 14,97 | 1128,355 | 0,43698 |
| 5 | 2699,576 | 2206,422 | 5956,41 | 0,79 | 14,631 | 1363,951 | 0,437 |
| 6 | 2696,597 | 2206,243 | 5949,35 | 0,79 | 14,231 | 1611,069 | 0,43703 |
| 7 | 2693,081 | 2206,031 | 5941,02 | 0,789 | 13,77 | 1863,526 | 0,43707 |
| 8 | 2688,93 | 2205,78 | 5931,19 | 0,788 | 13,242 | 2116,853 | 0,43711 |
| 9 | 2684,09 | 2205,489 | 5919,73 | 0,787 | 12,646 | 2363,627 | 0,43716 |
| 10 | 2672,283 | 2204,777 | 5891,79 | 0,785 | 11,283 | 2803,102 | 0,43728 |
| 11 | 2653,352 | 2203,635 | 5847,02 | 0,781 | 9,346 | 3231,298 | 0,43747 |
| 12 | 2638,15 | 2202,718 | 5811,1 | 0,778 | 7,993 | 3369,097 | 0,43762 |
| 13 | 2615,804 | 2201,371 | 5758,36 | 0,774 | 6,295 | 3283,456 | 0,43784 |
| 14 | 2590,533 | 2199,847 | 5698,78 | 0,769 | 4,739 | 3006,554 | 0,43809 |
| 15 | 2525,893 | 2195,949 | 5546,73 | 0,756 | 2,134 | 2078,93 | 0,43874 |
| 16 | 2485,116 | 2193,491 | 5451,08 | 0,748 | 1,22 | 1561,36 | 0,43915 |
| 17 | 2457,029 | 2191,797 | 5385,31 | 0,742 | 0,804 | 1261,452 | 0,43943 |
| 18 | 2436,024 | 2190,53 | 5336,19 | 0,738 | 0,578 | 1069,067 | 0,43964 |
| 19 | 2419,896 | 2189,558 | 5298,5 | 0,735 | 0,443 | 940,689 | 0,4398 |
| 20 | 2406,579 | 2188,755 | 5267,41 | 0,732 | 0,352 | 844,005 | 0,43993 |
| 21 | 2395,597 | 2187,756 | 5240,98 | 0,73 | 0,29 | 772,156 | 0,44 |
| 22 | 2385,934 | 2186,387 | 5216,57 | 0,728 | 0,243 | 712,277 | 0,44 |
| 23 | 2377,853 | 2185,242 | 5196,18 | 0,726 | 0,21 | 670,858 | 0,44 |
| 24 | 2370,65 | 2184,221 | 5178,02 | 0,725 | 0,184 | 635,698 | 0,44 |

*Таблица 1.12 (продолжение)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 25 | 2363,742 | 2183,242 | 5160,62 | 0,723 | 0,161 | 600,969 | 0,44 |
| 26 | 2358,152 | 2182,45 | 5146,55 | 0,722 | 0,145 | 577,686 | 0,44 |
| 27 | 2353,201 | 2181,749 | 5134,09 | 0,721 | 0,131 | 558,741 | 0,44 |
| 28 | 2348,994 | 2181,152 | 5123,51 | 0,72 | 0,121 | 545,325 | 0,44 |
| 29 | 2344,577 | 2180,527 | 5112,41 | 0,719 | 0,111 | 528,114 | 0,44 |
| 30 | 2341,107 | 2180,035 | 5103,69 | 0,718 | 0,103 | 518,712 | 0,44 |
| 31 | 2337,464 | 2179,519 | 5094,55 | 0,717 | 0,096 | 506,279 | 0,44 |
| 32 | 2333,647 | 2178,978 | 5084,96 | 0,716 | 0,088 | 491,043 | 0,44 |
| 33 | 2330,986 | 2178,601 | 5078,29 | 0,716 | 0,084 | 485,776 | 0,44 |
| 34 | 2328,221 | 2178,209 | 5071,35 | 0,715 | 0,079 | 478,537 | 0,44 |
| 35 | 2326,819 | 2178,01 | 5067,84 | 0,715 | 0,077 | 483,317 | 0,44 |
| 36 | 2323,912 | 2177,598 | 5060,55 | 0,714 | 0,072 | 472,943 | 0,44 |
| 37 | 2322,406 | 2177,385 | 5056,77 | 0,714 | 0,07 | 475,062 | 0,44 |

*Таблица 1.13 Значения термодинамических параметров потока на стенке*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1 | 2,483 | 20,903 | 9,986 |
| 2 | 2,283 | 23,986 | 11,451 |
| 3 | 2,181 | 25,848 | 12,334 |
| 4 | 2,095 | 27,722 | 13,219 |
| 5 | 2,018 | 29,726 | 14,161 |
| 6 | 1,952 | 31,612 | 15,043 |
| 7 | 1,897 | 33,31 | 15,831 |
| 8 | 1,85 | 34,797 | 16,512 |
| 9 | 1,811 | 36,018 | 17,06 |
| 10 | 1,752 | 37,458 | 17,665 |
| 11 | 1,707 | 37,007 | 17,328 |
| 12 | 1,696 | 35,408 | 16,484 |
| 13 | 1,71 | 32,19 | 14,859 |
| 14 | 1,746 | 27,883 | 12,747 |

*Таблица 1.13 (продолжение)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 15 | 1,899 | 16,955 | 7,558 |
| 16 | 2,026 | 11,413 | 5,005 |
| 17 | 2,126 | 8,364 | 3,627 |
| 18 | 2,208 | 6,491 | 2,79 |
| 19 | 2,273 | 5,267 | 2,249 |
| 20 | 2,331 | 4,39 | 1,864 |
| 21 | 2,379 | 3,75 | 1,585 |
| 22 | 2,424 | 3,247 | 1,367 |
| 23 | 2,458 | 2,877 | 1,207 |
| 24 | 2,49 | 2,575 | 1,077 |
| 25 | 2,523 | 2,311 | 0,964 |
| 26 | 2,547 | 2,111 | 0,879 |
| 27 | 2,568 | 1,944 | 0,807 |
| 28 | 2,584 | 1,81 | 0,75 |
| 29 | 2,604 | 1,678 | 0,694 |
| 30 | 2,616 | 1,578 | 0,652 |
| 31 | 2,632 | 1,48 | 0,61 |
| 32 | 2,651 | 1,384 | 0,57 |
| 33 | 2,659 | 1,317 | 0,542 |
| 34 | 2,669 | 1,251 | 0,514 |
| 35 | 2,665 | 1,214 | 0,498 |
| 36 | 2,679 | 1,151 | 0,472 |
| 37 | 2,678 | 1,115 | 0,457 |

По результатам расчёта, очевидно, что самым теплонагруженным является критическое сечение. Из накопленного опыта известно, что в процессе работы РДТТ при наличии острой кромки критического сечения происходил бы её разгар практически с первых секунд работы двигателя. Это приводило бы к падению давления в камере, снижению тяги и появлению её эксцентриситета. Поэтому, а также исходя из практических соображений, область трансзвуковой части выполнена профилированной.

Радиационный тепловой поток к поверхности сопла РДТТ складывается из излучения трёхатомных газов и конденсированных частиц, находящихся в продуктах сгорания твёрдого топлива. Рассмотрим тепловой поток, обусловленный излучением толького газообразных ПС. Излучение газовой фазы ПС ТРТ в первую очередь обусловлено содержанием в них водяных паров и углекислого газа. Лучистый (радиационный) тепловой поток от газов к стенке определяется по формуле представленной в [4]:

где – эффективная степень черноты; – постоянная Стефана-Больцмана; *T* – температура в ядре потока, – температура на стенке.

,

где – степень черноты стенки, – интегральная степень черноты многофазной среды.

*,*

Где - среднемассовый размер частиц к-фазы, z – относительное содержание к-фазы(определяется из программного комплекса «Астра», – средняя длина пути луча).

Расчёт параметров радиационного теплообмена проводился для двух точек: вход в сопло и критическое сечение сопла. Результаты расчёта приведены в таблице 14.

*Таблица 1.14 Параметры радиационного теплообмена*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 3173,92 | 2707,29 | 7,205 | 0,327 | 0,323 | 0,969 | 0,78 | 2,112 |
| 2 | 2912 | 2653,35 | 4,475 | 0,338 | 0,195 | 0,74 | 0,624 | 0,791 |

При условии, что соплу не нужно нести той же нагрузки, что и обечайке, можно прийти к выводу, что за время работы двигателя при таком тепловом потоке оно не успеет прогреться достаточно, чтобы утратить работоспособность. Следовательно, можно использовать раструб соплового блока без тепловой защиты.

1.15 Оценка потерь удельного импульса

Реальное значение удельного импульса РДТТ отличается от величины, получаемой термодинамическим расчётом и проводимым, как правило, при упрощающих допущениях. В качестве таких допущений могут приниматься предположения:

* истечение из сопла – одномерное и равномерное;
* течение продуктов сгорания в сопле адиабатическое без теплообмена с материалом стенок сопла;
* химические реакции между различными компонентами ПС идут равновесно;
* в двухфазных потоках имеет место тепловое и динамическое равновесие между фазами и т.п.

Учёт отличия значений удельного импульса, вычисленного термодинамическим расчётом при использовании упрощающих допущений, от реальных значений на практике выполняется расчётом коэффициентов потерь .

При оценке потерь полагается, что различные составляющие независимы и аддитивны:

В данном дипломном проекте в расчётах учитывают следующие составляющие потерь удельного импульса:

* – потери на рассеяние;
* – потери на трение;
* – потери, обусловленные утопленностью сопла;
* – потери из-за химической неравновесности;
* – потери из-за наличия конденсированных продуктов сгорания
* – потери из-за разгара критической части сопла.

Для профилированных сопл величина потерь на рассеяние может определяться зависимостью:

Потери удельного импульса из-за трения потока рассчитываются по формуле:

Здесь – температурный фактор, – параметр шероховатости внутренней поверхности сопла.

Потери удельного импульса из-за наличия конденсированных ПС со средним размером определяются по выражению:

где (причем значение *,* подставляются соответственно в метрах и мкм, – относительная массовая концентрация к-фазы в продуктах сгорания.

* – коэффициент, учитывающий абсолютное значение давления в КС РДТТ и обусловливающий снижение потерь при увеличении давления торможения вследствие ускорения процессов скоростной релаксации потока:
* – коэффициент учета влияния геометрической степени расширения сопла РДТТ, обусловливающего уменьшение двухфазных потерь за счет снижения градиента скорости потока по длине сопла:
* – коэффициент, учитывающий степень укорочения сопла:

где .

Тогда:

В случае использования утопленного сопла газодинамические потери могут быть оценены приближённо .

Потери на разгар критического сечения определяются по следующей зависимости:

,

где *ya0* – отношение диаметра выходного сечения сопла к начальному диаметру критического сечения, *ya* – отношение диаметра выходного сечения сопла к конечному диаметру критического сечения.

Потери из-за химической неравновесности потока определяем по формуле:

,

значения удельных импульсов получены из программного комплекса «Астра».

Определим суммарные потери:

Коэффициент потерь сопла:

2. Исследовательская часть

Консультант: Андреев Е.А

3. Технологическая часть

Консультант: Комков М.А

Введение

В данном разделе рассмотрен технологический процесс изготовления передней крышки ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ) путем механической обработки. Конструктивное исполнение изделия подразумевает наличие разъемных соединений с последующей установкой инициирующего изделия и штуцера.

Крышка предназначена для работы в термонапряженных условиях и в условиях высокого давления:

* давление в камере достигает 17,66 МПа;
* температура в камере достигает 3000 К;

Крышка должна иметь минимальную массу. Предназначена как для отработки РДТТ, так и для непосредственного производства РДТТ. В разделе представлены технические требования на изготовление детали; данные по материалу детали – марка, свойства, основные операции технологического процесса изготовления детали.

3.1 Выбор метода изготовления

Днища подразумевают установку специальных изделий, необходимых для работы РДТТ, то изготовление их из композиционных материалов представляет собой сложную и комплексную задачу. В условиях ТЗ разрабатываемого двигателя применяются конструкционные материалы.

В зависимости от инструмента, используемого для механической обработки металла, выделяют такие виды обработки резанием: точение, фрезерование, сверление, строгание, долбление, шлифование.

Для изготовления крышки используются такие операции как точение и сверление.

Для получения необходимых параметров детали важны элементы резания:

1. Скорость резания – это скорость перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Скорость резания складывается из окружной скорости вращения заготовки и скорости подачи, последней пренебрегают.
2. Подача – величина перемещения резца за один оборот обрабатываемой заготовки. Различают продольную, поперечную и наклонную подачи в зависимости от перемещения резца параллельно, перпендикулярно и под углом к линии центров.
3. Глубина резания – толщина снимаемого за один рабочий ход (проход) слоя металла, измеряемая по перпендикулярному к обрабатываемой поверхности заготовки.

3.2 Выбор материала

Прогресс РКТ привел к существенному снижению массы конструкции двигателя. Значительную роль в этом сыграли композиционные материалы. Однако, по причинам, описанным в выборе метода изготовления, повсеместное применение композиционных материалов на данный момент недоступно. Помимо этого стоимость производства ответственных деталей сложной геометрической формы высока, по сравнению с применением конструкционных материалов.

В результате выбрана сталь 30ХГСА.

3.3 Свойства материала

Конструкционная сталь 30ХГСА относится к группе легированных сталей. Представляет собой сплав в состав которого входят следующие легирующие элементы: хром, марганец и кремний. Она является улучшенной сталью, прошедшей закалку в масле и высокий отпуск с температурой от 550 °С до 660 °С в воде или масле.

Сталь 30ХГСА устойчива к коррозии и ударам, обладает умеренной вязкостью. Недостатком данной стали является относительно небольшая прокалываемость и чувствительность к отпускной хрупкости 1 и 2 рода.

Таблица 3.1 – Процентный химический состав стали

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Углерод | Крмений | Марганец | Никель | Сера | Фосфор | Хром | Медь | Железо |
| 0,28-0,34 | 0,9-1,2 | 0,8-1,1 | до 0,3 | до 0,025 | до 0,025 | 0,8-1,1 | до 0,3 | ~96 |

Таблица 3.2 – Свойства материала

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ρ*, г/см3 | σв, ГПа |  |
| 7,85 | 1,08 | 137,58 |

Сочетание таких свойств обуславливает применение стали 30ХГСА в промышленности для различных улучшаемых деталей: валы, оси, зубчатые колеса, фланцы, корпуса обшивки, лопатки компрессорных машин, рычаги, толкатели, отвтственные сварные конструкции, работающие при знакопеременных нагрузках, крепежные детали.

3.4 Технологический процесс

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование и содержание перехода | Оборудование | Режущий инструмент | Измерительный инструмент |
| Операция 005. Отрезная | | | | |
| 01 | Отрезать заготовку Ø170 длиной 60 для изготовления детали | Пила режущая Jet HVBS-812RK | Полотно ‑ 3/4, комбинированные зубья с положительным уклоном 9°-10° | ‑ |
| Операция 010. Токарная предварительная с припуском 2 мм на сторону | | | | |
| 01 | Установить заготовку в трехкулачковый патрон с обратными кулачками | 16К20 | ‑ | ‑ |
| 02 | Обработать торцевую поверхность | 16К20 | Резец проходной отогнутый (Т15К6) | ‑ |
| 03 | Обработать наружную поверхность Ø156 на длину 30 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 04 | Обработать наружную поверхность Ø164 на длину 18 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 05 | Обработать отверстие Ø20 на длину 20 | 16К20 | Сверло Ø20 (Р18) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 06 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø137х Ø65 с углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 07 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø137х Ø64 с углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 08 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø137х Ø82 с углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 09 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø137х Ø82 с углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| Операция 015. Токарная предварительная с припуском 2мм на сторону | | | | |
| 01 | Установить деталь за обработанный торец Ø156 | 16К20 | ‑ | ‑ |
| 02 | Обработать торцевую поверхность в размер 57 | 16К20 | Резец проходной отогнутый (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 03 | Обработать Ø140 на длину 11 | 16К20 | Резец подрезной (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 04 | Расточить отверстие Ø20 на длину 20 | 16К20 | Сверло Ø20 (Р18) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 05 | Расточить отверстие Ø44 на длину 20 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 06 | Расточить отверстие Ø50 на длину 20 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т15К6) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| Операция 020. Термическая | | | | |
| 01 | Закалить заготовку HRC 36…38. Закалку проводить при температуре 870-890°С в масле. Проводить совместно с образцами. | Каменная печь для термообработки ПКЭ-25 | ‑ | ‑ |
| 02 | Отпуск проводить при температуре 520-550°С в воде или масле. Проводить совместно с образцами. | Каменная печь для термообработки ПКЭ-25 | ‑ | Твердомер ТР по ГОСТ 23677-79. Наконечнин НК по ГОСТ 9377-81 |
| Операция 025. Токарная окончательная | | | | |
| 01 | Установить заготовку в трехкулачковый патрон с обратными кулачками | 16К20 | ‑ | ‑ |
| 02 | Обработка торцевой поверхности | 16К20 | Резец проходной отогнутый (Т5К10) | ‑ |
| 03 | Обработать наружную поверхность Ø153 на длину 30 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 04 | Обработать наружную поверхность Ø152 на длину 30 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т5К10) | ‑ |
| 05 | Обработать наружную поверхность Ø161 на длину 12 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 06 | Обработать наружную поверхность Ø160 на длину 12 | 16К20 | Резец проходной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 07 | Обработать кольцевую канавку | 16К20 | Резец канавочный специальный с радиусами (Т5К10) | Шаблон кольца |
| 08 | Нарезать резьбу Сп М152х2-6g | 16К20 | Резец резьбовой наружный с углом 60° (Т5К10) | Шаблон 60° |
| 09 | Расточить Ø32 на глубину 22 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 10 | Расточить Ø33 на глубину 22,5 | 16К20 | Резец расточной упорный с радиусом при вершине R2 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 11 | Торцевать от Ø33 на глубину 22,5 (поперечная подача) | 16К20 | Резец расточной упорный с радиусом при вершине R2 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 12 | Расточить Ø45 на глубину 10,5 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 13 | Расточить Ø46,9 на глубину 10,5 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 14 | Снять фаску 1х45° | 16К20 | Резец расточной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 15 | Точить канавку Ø48,5 шириной 4 | 16К20 | Резец расточной канавочный (Т5К10) | ‑ |
| 16 | Нарезать резьбу М48х1‑7H | 16К20 | Резец резьбовой внутренний с углом 60° (Т5К10) | Шаблон 60° Калибр – пробка М48х1‑7Н |
| 17 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø64х Ø61 на глубину 11,5 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 18 | Торцевать Ø69х Ø90 на глубину 11,5 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 19 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø61х Ø60 на длину 12 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 20 | Торцевать Ø64х Ø90 на глубину 12 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 21 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø141 на глубину 20,5 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 22 | Торцевать Ø141х Ø80 под углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 23 | Обработать фасонную кольцевую канавку Ø142 на глубину 21 | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 24 | Торцевать Ø142х Ø80 под углом 20° | 16К20 | Резец расточной фасонный с R4 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 25 | Снять фаску 1,6х45° | 16К20 | Резец расточной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 26 | Снять фаску 2х45° | 16К20 | Резец расточной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| Операция 030. Токарная окончательная | | | | |
| 01 | Установить деталь в обратные сырые кулачки за резьбу СП М152х2 | 16К20 | ‑ | ‑ |
| 02 | Торцевать в размер L=53,5 | 16К20 | Резец проходной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 03 | Торцевать в размер L=53 | 16К20 | Резец проходной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 04 | Торцевать в размер L=51 до Ø67 с R2 | 16К20 | Резец радиусной с R2 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 05 | Обработка конической поверхности 105° | 16К20 | Резец радиусной с R10 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 06 | Торцевать на L=10,5 с обработкой конуса 105° | 16К20 | Резец радиусной с R10 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 07 | Торцевать на L=11 с обработкой конуса 105° | 16К20 | Резец радиусной с R10 (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 08 | Обработать Ø158 и конус 10° | 16К20 | Резец проходной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 09 | Расточить отверстие Ø53 на L=20 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 10 | Расточить отверстие Ø53,8 на L=20 | 16К20 | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 11 | Расточить канавку b=4 до Ø57 | 16К20 | Резец расточной канавочный (Т5К10) | ‑ |
| 12 | Снять фаску 2х45° | 16К20 | Резец расточной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 13 | Нарезать резьбу М56х2‑7Н | 16К20 | Резец резьбовой наружный с углом 60° (Т5К10) | Шаблон 60° Калибр – пробка М56х2‑7Н |
| Операция 035. Контрольная | | | | |
| Операция 040. Слесарная | | | | |
| 01 | Разметить центра отверстий с резьбами М22х1,5‑7Н, М12х1‑7Н и 4 отверстия Ø6 | Универсальная делительная головка  УДГ-200  ГОСТ 8615-89 | ‑ | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 |
| 02 | Просверлить 4 отверстия Ø6 на глубину 5±0,5 | Вертикально-сверлильный станок 2Н135 | Сверло Ø6 (Р6М5) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| Операция 045. Контрольная | | | | |
| Операция 050. Расточная | | | | |
| 01 | Расточить отверстие Ø18 на глубину 23 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Сверло Ø18 (Р6М5) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 02 | Расточить отверстие Ø20,1 на глубину 23 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 03 | Расточить Ø20,3 на глубину 21 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 04 | Расточить Ø26 на глубину 3 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 05 | Расточить Ø22,2 на глубину 3 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 06 | Расточить канавку шириной 3 до Ø22,7 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Расточной канавочный (Т5К10) | ‑ |
| 07 | Нарезать разьбу М22х1,5-7Н | ‑ | Метчик М22х1,5‑7Н | Калибр – пробка М22х1,5‑7Н |
| 08 | Обработать отверстие Ø4 насквозь | Координатно-расточной станок 2Е440А | Сверло Ø4 (Р6М5) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 09 | Обработать отверстие Ø10,9 на глубину 28 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Сверло Ø10,9 (Р6М5) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 10 | Расточить отверстие Ø12,2 на глубину 6 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной отогнутый (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 11 | Расточить отверстие Ø16 на глубину 2 | Координатно-расточной станок 2Е440А | Резец расточной упорный (Т5К10) | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 |
| 12 | Нарезать резьбу М12х1‑7Н | ‑ | Метчик М12х1‑7Н | Калибр – пробка М12х1‑7Н |
| Операция 055. Слесарная | | | | |
| 01 | Сверлить отверстие Ø6 под углом 62°30’, используя приспособление | Радиально сверлильный станок 2Л53У | Сверло Ø6 (Р6М5) | ‑ |
| Операция 060. Контрольная | | | | |
| Операция 065. Гальваническая обработка | | | | |
| 01 | Покрытие хим.фос. | ‑ | ‑ | ‑ |

3.5 Расчет режимов резания. Техническое нормирование

При назначении элементов режимов резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования, его возможности.

Скорость резания – обозначается ν, измеряется в метрах в минуту (м/мин) рассчитывается по формуле:

где D – диаметр обрабатываемой заготовки, мм; n – частота вращения заготовки, об/мин.

Подача – обозначается буквой s. При черновой обработке выбирается максимально возможная подача, исходя из жесткости и прочности системы (станок ‑ приспособление ‑ инструмент ‑ деталь) мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов. При чистовой обработке выбирается в зависимости от степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Глубина резания – обозначается *t*, измеряется в миллиметрах и вычисляется по формуле:

где D – диаметр детали до обработки, d – диаметр после снятия резцом 1 слоя.

Расчет режима резания для операции 010, перехода 02:

*Производительность труда* определяется количеством деталей, изготавливаемых в единицу времени, или количеством времени, затрачиваемым на выполнение заданной работы.

Время, в течении которого должна быть выполнена определенная работа, называется *нормой времени*.

Количество продукции, которое должно быть изготовлено в единицу времени – называется *нормой выработки*.

Норму времени подсчитывают, исходя из наилучшей организации труда и рабочего места, наиболее эффективного использования станка и инструмента, применения наиболее производительных режимов резания и учета опыта передовых токарей. Такая норма называется *технической нормой времени*.

Техническая норма времени на выполнение токарной операции складывается из подготовительно-заключительного времени на партию деталей или штучного времени на изготовление одной детали.

Основным *Т*осн называется время, на протяжении которого происходит резание. Оно может быть машинным, если вращение заготовки и подача инструмента осуществляется станком, машинно-ручным, если вращение осуществляется станком, а подача инструмента ручная, и ручным.

где *s –* подача инструмента, мм/об;*n* ‑ частота вращения шпинделя, об/мин; *L* ‑ расчетная длина обработки, мм; *i* ‑ число рабочих ходов.

Вспомогательным *Т*всп называется время, затрачиваемое на выполнение действий, обеспечивающих выполнение основной работы и повторяющихся при обработке каждой заготовки (установка, закрепление, снятие заготовки, управление станком, перестановка инструментов и т.д.).

Сумма основного и вспомогательного времени образуют оперативное время *Т*оп.

*Т*оп=*Т*осн+*Т*всп.

Рассмотрим расчет технической нормы времени для операции 010, перехода 02:

3.6 Приспособление

Рассматриваемое в данном разделе приспособление – кондуктор.

Кондуктор – это устройство, служащее для направления инструмента, либо положения деталей. Часто он применяется при сверлении отверстий в деталях. Однако, существуют кондукторы для сборки (сварки), фрезерования и др.

Деталь располагается в кондукторе или под кондуктором. Направляющие втулки кондуктора определяют положение режущего инструмента относительно корпуса и, следовательно, относительно обрабатываемой детали. Положение оси отверстия каждой втулки отвечает положению оси отверстия в детали, а диаметр отверстия втулки соответствует диаметру инструмента. Использование кондуктора исключает операцию разметки и позволяет вести обработку одновременно двух и более отверстий, повышая, при этом, производительность труда.

Конструкция кондуктора зависит от размеров ,числа отверстий, их расположения, формы и назначения детали.

С целью снижения стоимости изготовления кондуктора проводится широкая нормализация деталей и основных узлов кондуктора.

Основные виды кондуктора: коробчатый, накладной, комбинированный.

Важный элемент – кондукторная втулка. Это элемент устройства для направления сверла. Конец втулки должен быть как можно ближе к детали для уменьшения погрешности.

Различают следующие виды стандартных втулок:

1.постоянные;

1.1 без бурта

1.2 с буртом

2. сменные

3. быстросменные.

Сама втулка должна быть достаточно прочной и износостойкой, например, из закаленной стали 40Х. Выбрана постоянная втулка без бурта, подобрана по ГОСТ 18429-73. Они применяются тогда, когда отверстие на операции обрабатывается лишь одним инструментом (сверлом или зенкером), как и в нашем случае. При установке в кондукторную плиту они запрессовываются Н7/n6.

Кондутор является необходимым приспособлением, определяющим точность, качество и возможность изготовления детали в конечном виде.

Необходимость его использования связана с сверлением внутреннего сквозного отверстия в цилиндрической поверхности под углом, не соответствующим углу подачи режущего инструмента.

Заключение

Список использованной литературы

1. Колосков М.М., Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. – М.: «Машиностроение», 2001.
2. Зайцев Б.Г., Шевченко А.С. Справочник молодого токаря – М.: Высш. Школа, 1979. – 367 с., ил. – (Профтехобразование. Обраб. резанием.)
3. Байков Б.А. Атлас конструкций узлов и деталей машин: учеб. пособие/ Под ред. Ряховского О.А., Леликова О.П. – 2-е изд., перераб. И доп //М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана – 2009
4. ГОСТ 18429-73 «Втулки кондукторные постоянные»

4. Охрана труда и экологическая безопасность

Консультант: Аграфонова А.А

4.1 Экологическая безопасность разрабатываемого двигателя

4.1.1 Анализ неблагоприятных факторов при испытаниях

Работы, выполняемые в процессе подготовки и проведения испытаний, являются огне- и взрывоопасными, поэтому на испытательных участках необходимо осуществлять специальный режим техники безопасности.

При проведении испытаний изделия возможны следующие факторы, загрязняющие окружающую среду и представляющие опасность для персонала:

1. Выброс продуктов сгорания в атмосферу, загрязнения почвы;
2. Акустическое воздействие;
3. Вибрация;
4. Возможные возгорания в процессе работы;
5. Поражения электрическим током;
6. В процессе эксплуатации изделия может произойти воздействие потока продуктов сгорания на взрывчатые вещества.

4.1.2 Общие требования экологической безопасности

В связи с разработкой принципиально новых систем техники представляется важным обеспечение экологической безопасности при проведении работ на этапах изготовления, хранения, испытания и эксплуатации изделий, а также утилизации зарядов после истечения сроков их технической пригодности.

В настоящей главе содержатся результаты проведенной оценки экологической безопасности изделия ОИ700 и бронировочного состава ЭТАЛ-148ТГ-2Н-1. Масса изделия 31,6 кг.

Масса изделия ДИ701.020 составляет 0,015 кг и для оценки экологической безопасности необходимо провести дополнительный анализ на этапе СЧ ОКР.

Производство изделий ОИ700 на составе РДГ-1, их испытание, уничтожение отходов производства, а также утилизации зарядов после истечения сроков их технической пригодности на открытых площадках методом сжигания являются источниками загрязнения окружающей среды токсичными веществами.

Проведение открытых огневых испытаний заряда и уничтожение отходов производства на площадках сопровождаются выбросами сложного комплекса химических соединений в газоаэрозольной фазе, загрязняющих окружающую среду.

Экологическая безопасность обеспечивается соблюдением следующих требований:

1 В процессе изготовления и хранения изделий не должны выделяться в производственные помещения вредные вещества с превышением предельно-допустимых концентраций (ПДКр.з.) для воздуха рабочей зоны.

2 В процессе испытаний изделия и его уничтожения методом сжигания не должны превышаться требования предельно-допустимых выбросов (ПДВ), установленных для предприятия. При соблюдении этих требований на границе санитарно-защитной зоны предприятия предельно-допустимые концентрации вредных веществ не превышают норм, установленных для воздуха населенных пунктов (ПДКатм).

Исследования по обеспечению экологической безопасности при производстве и эксплуатации изделия ОИ700 включают следующие этапы:

– оценка количественного и качественного состава веществ, выделяющихся при производстве и хранении изделия; токсикологическая оценка продуктов газовыделения в процессе хранения и эксплуатации;

– разработка мероприятий по обеспечению безопасных условий труда персонала в процессе сборки, хранения и обслуживания изделий;

– определение состава продуктов сгорания изделия на воздухе при испытаниях и эксплуатации;

– токсикологическая оценка продуктов сгорания изделия на воздухе, составление прогноза отрицательного воздействия продуктов сгорания на объекты окружающей среды и разработка рекомендаций по обеспечению экологической безопасности на этапах изготовления, испытания и утилизации.

4.1.3 Обеспечение экологической безопасности персонала при работе с изделием на Составе №1

Оценка возможного отрицательного воздействия на обслуживающий персонал и объекты окружающей среды проводилась на основании анализа используемого в изделии ОИ700 баллиститного состава РДГ-1.

Большинство компонентов состава РДГ-1 используются в обычных баллиститных твердых топливах, их токсикологические характеристики, а также мероприятия по защите персонала и охране окружающей среды при изготовлении, хранении и испытании изделий хорошо изучены и приведены в соответствующей технологической документации.

В таблице 4.1 приведены токсикологические характеристики для основных компонентов состава РДГ-1.

Таблица 4.1 – Токсикометрические\* характеристики основных компонентов состава РДГ-1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Воздух рабочей зоны | | Атмосферный воздух | | Вода водоёмов | | Ссылка на источник |
| ПДКр.з.,мг/м3 | Класс опасности | ПДК,  мг/м3 | Класс опасности | ПДКв, мг/л | Класс опасности |
| Коллоксилин | - | 4 | - | - | - | - | [25] |
| Нитроглицерин | 0,02 | 1 | 0,001 (ОБУВ) | - | 0,01 | - | [18], [19] |
| Дифениламин | 5,0 | 3 | - | - | 0,05 | 3 | [16],[18],[19], [21] |
| Централит (диэтилфенилмочевина) | - | 3 | - | - | 0,5 | 4 | [17], [26],[28] |
| Индустриальное масло | 5,0 | 3 | - | - | - | - | [16], [23] |
| Гексоген | 1,0 | 2 | - | - | 0,1 | - | [19] |
| Дазин | 0,3 | 2 | - | - | - | - | [30] |
| Окись свинца | 0,01  (по свинцу) | 1 | 0,001м.р.  (по свинцу) | - | 0,03  (по иону Pb) | 2 | [23], [31] |
| Окись кобальта | 0,5 | 2 | 0,001(для кобальта металлического) | 1 | 1,0 | - | [18],[19],  [24] |
| Титана двуокись | 10,0 | 4 | - | - | 0,1 | 4 | [32] |
| Индустриальное масло | 5,0 | 3 | - | - | - | - | [16], [23] |

\* « - » - норматив и класс опасности не разработаны.

ПДКр.з. – предельно допустимая концентрация химического вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м3.Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

ПДКм.р – предельно допустимая максимально-разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м3. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия.

ПДКв – предельно допустимая концентрация химического вещества в воде водоёма, мг/л. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия химического вещества, установленный расчетным путем (временный норматив).

Таблица 4.2 – Токсикологические характеристики компонентов состава

| Вещество | Характер действия |
| --- | --- |
| Нитроглицерин | Высокотоксичное соединение. Оказывает преимущественное влияние на тонус сосудов, функцию ЦНС, гемодинамику. Обладает раздражающим действием на кожу и слизистые. Возможно острое отравление при любом пути поступления в организм: ингаляционно, через кожу и т.д. Острое отравление проявляется головной болью, головокружением, болью в области сердца, нарушением зрения, светобоязнью, жжением в горле, тошнотой, судорожными сокращениями мышц. При хроническом отравлении наблюдаются головные боли, скачки артериального давления, слабость, нарушение сна. |
| Гексоген | Токсичен. При контакте с гексогеном отмечаются головные боли, головокружения, тошнота и сухость во рту, жажда, слабость. В более тяжелых случаях отравления возможна потеря сознания, цианоз, судороги, многократная рвота. |

|  |  |
| --- | --- |
| Продолжение таблицы 4.2 | |
| Вещество | Характер действия |
| Дазин | Токсичен. Вызывает изменения в центральной нервной системе и в крови. Оказывает местное раздражающее действие на слизистые оболочки и кожу. |
| Окись свинца | Яд, действующий на нервную систему, кровь, сосуды.  Вызывает денатурацию белков и инактивацию ферментов в организме. Тяжелые отравления возникают при концентрации (9-12) мг/м3 во вдыхаемом воздухе. |
| Окись кобальта | Токсична. При поступлениях внутрь в количествах 20-60 мг в сутки вызывает нарушения деятельности щитовидной железы, отеки, нарушения слуха. Хроническое отравление приводит к хроническим бронхитам, пневмониям, поражениям щитовидной железы, аллергическим реакциям. |
| Титана двуокись | Малотоксична. При длительном воздействии вызывает изменения со стороны дыхания, накапливается в тканях легких, в редких случаях вызывая диффузный пневмосклероз и фиброзы. |
| Индустриальное масло | Умеренно токсичное соединение. При длительном вдыхании паров и аэрозоли возможны развитие пневмонии и ограниченные затемнения в легких. При контакте с кожей оказывает раздражающее действие и вызывает «масляный фолликулит» в виде угрей, контактный дерматит. |
| Централит | Умеренно опасное вещество. Действует на ЦНС, кровь, печень, щитовидную железу. Кумулятивные свойства выражены умеренно. Обладает раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки глаз. |
| Дифениламин | Умеренно токсичное вещество. Поражает нервную, сердечно-сосудистую системы и систему крови. Способен проникать через кожу. Характеризуется слабыми раздражающими свойствами. |

Наиболее опасным из указанных компонентов является нитроглицерин. Нитроглицерин (и другие нитроэфиры) относятся к 1 классу опасности (источник). НГЦ является токсичным соединением, оказывающим преимущественное влияние на тонус сосудов, гемодинамику, функцию центральной нервной системы; при острой интоксикации – метгемоглобинемию, анемию.

Окислы свинца и кобальта, входящие в состав РДГ-1, представляют собой значительно меньшую опасность в связи с низкой летучестью.

Основными рекомендациями по обеспечению экологической безопасности при производстве изделий являются: герметизация оборудования, сокращение доли ручного труда, контроль содержания вредных веществ в воздухе и сточных водах, использование общеобменной и, при необходимости, местной вытяжной вентиляции, очистка сточных вод и газовых выбросов, использование средств индивидуальной защиты.

При длительном хранении изделий на стеллажах или в закрытых контейнерах, по данным отделения физико-химических исследований, в рабочую зону практически не выделяются токсичные газы. В объем контейнера (корпуса) при длительном хранении могут выделяться пары нитроэфира, NO2, а также азот и СО2. Для нитроглицерина ПДК (воздуха рабочей зоны) составляет 0,02 мг/м3, для воздуха населенных пунктов ОБУВ (временный ПДК) составляет 0,001 мг/м3. Для NO2 ПДК (воздуха рабочей зоны) составляет 9 мг/м3, для воздуха населенных пунктов ПДК максимально разовая и ПДК (средне – суточная)одинаковы и составляют 0,085 мг/м3. При разгерметизации контейнера для осмотра необходимо, чтобы помещение, где проводятся эти работы, было снабжено вытяжной вентиляцией. Дополнительных мер по защите органов дыхания не требуется.

4.1.4 Предложения по утилизации зарядов после истечения сроков их технической пригодности

В настоящее время утилизация зарядов небольшой массы производится исключительно методом сжигания. При этом выделяется умеренное количество продуктов сгорания, которые рассеиваются в атмосфере.

4.1.5 Эколого-гигиеническая характеристика продуктов сгорания изделия ОИ700

Воздействие продуктов сгорания на окружающую среду определяется следующими факторами:

– токсичностью продуктов сгорания;

– количеством образующихся продуктов сгорания;

– последующей трансформацией продуктов сгорания в атмосфере;

– параметрами рассеивания вредных выбросов.

При горении состава, используемого в изделии ОИ700, образуются в основном те же вещества, что и при горении штатных составов баллиститных топлив.

В таблице 4.3 предоставлены результаты расчета массовых долей продуктов сгорания изделия, в программном комплексе «ASTRA».

Таблица 4.3 – Компонентный состав продуктов сгорания, образующихся при сжигании изделия

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Массовая доля | | Масса, m, кг (с учетом массы изделия 58,9 кг) | |
| Камера | Срез сопла | Камера | Срез сопла |
| H | 0,0001 | - | 0,0058 | - |
| H2 | 0,0113 | 0,0161 | 0,6565 | 0,9354 |
| OH | 0,0005 | - | 0,0291 | - |
| H2O | 0,1652 | 0,1238 | 9,5981 | 7,1928 |
| N2 | 0,1919 | 0,1919 | 11,1494 | 11,1494 |
| NO | 0,0001 | - | 0,0058 | - |
| CO | 0,4245 | 0,3602 | 24,6635 | 20,9276 |
| CO2 | 0,1663 | 0,2674 | 9,6620 | 15,5359 |
| Pb | 0,0155 | 0,0155 | 0,9006 | 0,9005 |
| PbO | 0,0008 | - | 0,0465 | - |
| PbH | 0,0004 | - | 0,0232 | - |
| SOH2 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0116 | 0,0116 |
| Co | 0,0013 | - | 0,0755 | - |
| CoH | 0,0016 | - | 0,0929 | - |
| CoO2H2 | 0,0012 | - | 0,0697 | - |
| Pb (конд.) | - | 0,0012 | - | 0,0697 |
| Co (конд.) | - | 0,0037 | - | 0,2149 |
| Ti4O7 (конд.) | 0,0189 | - | 1,0981 | - |
| TiO2 (конд.) | - | 0,02 | - | 1,162 |

При температуре горения топлива (около 2000оС) все способные гореть соединения догорают на воздухе: так водород на воздухе догорает до Н2О, СО - до СО2, аэрозоли металлов окисляются до соответствующих окислов. Поэтому реальное воздействие при стендовых испытаниях на персонал и окружающую среду оказывают, в основном, окись свинца и окись кобальта.

Окись титана является малотоксичным веществом и его воздействием обычно пренебрегают.

Основным требованием, обеспечивающим экологическую безопасность является то, что на границе санитарно – защитной зоны не было превышения ПДК атм. воздуха.

Таблица 4.3 – Токсикологические характеристики продуктов догорания на воздухе газов, образующихся при сжигании изделия ОИ700 на составе РДГ-1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Воздух | | | Вода водоёмов | | Ссылка на источник |
| Класс опасности | ПДКр.з. мг/м3 | ПДКатм.в  мг/м3 | Класс опасности | ПДКв,  мг/л |
| PbO | 1 | 0,05  (средне сменная) | 0,001 м.р. | Не установлен | 0,01 | [16], [17], [22], [24] |
| Со2О3 | 2 | 0,5 | Не установлен  (для металлического кобальта  - 0,001 м.р.) | Не установлен | 1,0 | [22] |
| Титана двуокись | 4 | 10,0 | - | 4 | 0,1 |  |
| Диоксид углерода СО2 | 4 | 9000,0 | 27000  ПДКмакс.раз | - | - | [22], [23] |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Воздух | | | | | Вода водоемов | | Ссылка на источник |
| Класс опасности | Воздух атмосферный | | Воздух рабочей зоны | | Класс опасности | ПДКв,  мг/л |
| ПДКатм.в  мг/м3 (среднесуточная) | ПДКатм.в  мг/м3 (разовая максимальная) | ПДКр.з. мг/м3 (среднесменная) | ПДКр.з. мг/м3 (разовая максимальная) |
| PbO | 1 | 0,0003 | 0,001 | - | 0,001 | Не установлен | 0,01 | [16], [17], [22], [24] |
| Со2О3 | 2 |  |  |  |  | Не установлен | 1,0 | [22] |
| Титана двуокись | 4 |  |  |  |  | 4 | 0,1 |  |
| Диоксид углерода СО2 | 4 |  |  |  |  | - | - | [22], [23] |

Учитывая относительно небольшую массу топлива в изделии ~ 31,4 кг – при его сжигании практически не возникает реальной опасности загрязнения окружающей среды. Такая опасность существует, в основном, при утилизации больших количеств отходов топлива на открытых площадках и при неблагоприятных метеоусловиях, способствующих локальному осаждению выбросов.

При систематических (массовых) сжиганиях изделий (испытаниях и утилизации) должны быть предусмотрены мероприятия по улову и обезвреживанию аэрозоля тяжелых металлов, например, путем улова их с помощью мокрого фильтра. Такая технология используется, например, на стенде ИС‑36 ФГУП «ФЦДТ «Союз» при исследовании скоростей горения образцов и на участке утилизации спецотходов (зд. 321). Для защиты органов дыхания работников, у которых возможен контакт с конденсированными продуктами сгорания изделия ОИ700 на топливе РДГ-1, в обязательном порядке должны использоваться одноразовые респираторы типа «Лепесток» или противогаз марки «СО» или «М», защищающие органы дыхания от окиси углерода и аэрозолей.

Данные о токсичности продуктов сгорания (после догорания газовых выбросов в атмосфере), а именно, окислов свинца, кобальта, а также СО2, приведены в таблице 4.3. Газовые выбросы при сгорании изделия ОИ700 на топливе РДГ-1, содержат окись свинца, которая относится к веществам 1 класса опасности (чрезвычайно опасные по ГОСТ 12.1.007). Воздействие вредных веществ на персонал и окружающую среду более полно характеризуется соотношением массы выделившихся продуктов и ПДК, которое можно определить как объём воздуха, необходимый для разбавления вредных выбросов до безопасного уровня.

Определим количество окислов свинца и кобальта, образующееся при сгорании изделия ОИ700 (исходя из процентного содержания в составе глета свинцового и окиси кобальта):

Масса изделия - 31,4 кг

Расчетная масса образующихся окислов свинца около 568,8 гр.

Расчетная масса окислов кобальта около 158 грамм, что в пересчете на металлический кобальт составляет 112,26 гр.

ПДК свинца для атмосферного воздуха составляет 0,001 мг/м3, определяем, что объём воздуха, необходимый для разбавления аэрозоля образующихся соединений свинца до нормативного уровня, составляет:

568800 мг : 0,001 мг/м3 = 568800000 м3 или 5,688 х 108 м3. (828,65м х 828,65м х 828,65м ).

Для окиси кобальта ПДК для атмосферного воздуха не разработана. Имеется ПДК атм.в для металлического кобальта, составляющая 0,001 мг/м3. Исходя из этой величины, рассчитываем объем воздуха, необходимый для разбавления окиси кобальта до нормативного уровня.

112260 мг : 0,001 мг/м3 = 112260000 м3 или 1,123 х 108 м3. (482,4м х 482,4м х 482,4м ).

Оценим ориентировочный радиус рассеивания в объеме полушария с центром расположенным в месте проведения стендовых (наземных) испытаний

Vдля свинца = 2/3 πR3  отсюда Rсвинца = 3√ V /2,0933 = 647,7 м

Vдля кобальта = 2/3 πR3  отсюда Rкобальта = 3√ V /2,0933 = 377,1 м

Таким образом, расстояние до ближайшего населенного пункта (санитарно – защитная зона) от периметра предприятия (стенда) на котором будут осуществляться наземные испытания изделия, должен составлять не менее 647,7 м без учета возможной ветровой нагрузки.

ПДК окиси титана для атмосферного воздуха составляет 10 мг/м3, определяем, что объём воздуха, необходимый для разбавления до нормативного уровня, составляет 3140м3**.** Ориентировочный радиус рассеивания в объеме полушария с центром расположенным в месте проведения стендовых (наземных) испытаний равен 31,14 м. Вкладом окиси титана, являющейся малотоксичным веществом, можно пренебречь.

Учитывая, что размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятий спецхимии, полигонов и воинских частей составляет не менее 1000 м от границы охраняемого периметра, при стендовых наземных испытаниях происходит достаточное разбавление продуктов сгорания до уровня ПДК атм. воздуха на границе СЗЗ.

Это подтверждается и многолетними результатами химико-аналитического контроля за соблюдением норм предельно-допустимых выбросов (ПДВ) нашего предприятия.

При термическом воздействии на бронировку изделия образуются шлаки. Состав шлаков при сгорании различных изделий исследовался во ФГУП «ФЦДТ «Союз». Установлен класс опасности шлаков от сгорания изделий – 4 класс опасности (малоопасные). Утилизация шлаков производится специализированной организацией в соответствии с требованиями по утилизации отходов 4-го класса опасности и осуществляется путем захоронения на полигонах ТБО.

4.1.6 Оценка озоноразрушающего действия продуктов сгорания состава

В соответствии с международной конвенцией от 1989 г. (Монреальский протокол) Россия обязуется принимать меры по контролю выброса озоноразрушающих соединений. В Монреальском протоколе, подписанном Россией, содержится перечень галоген-содержащих озоноразрушающих соединений (приложение А протокола). [35] Так как в состав топлива РДГ-1 не входят галогены, при их горении озоноразрушающих соединений не образуется.

В связи с вышеизложенным, изделия являются озоно - безопасными и не подпадают под действие международной конвенции (Монреальского протокола).

4.1.7 Эколого-гигиеническая характеристика компонентов дымного пороха (воспламенителя)

В таблице 4.4 приведены токсикологические характеристики компонентов дымного пороха входящего в состав воспламенителя.

Таблица 4.4 – токсикологические характеристики компонентов дымного пороха

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Воздух рабочей зоны | | Атмосферный воздух | | Вода водоёмов | | Ссылка на источник |
| ПДКр.з,мг/м3 | Класс опасности | ПДКсс,  мг/м3 | Класс опасности | ПДКв, мг/л | Класс опасности |
| Селитра калиевая KNO3 | 5,0 | 3 | 0,085 (по NO2) | - | 3,8 (по NO2) | - | [16], [17], [24], |
| Сера техническая | 6,0 | 3 | - | - | - | - | [16] |
| Уголь древесный | 4,0 | 3 | 0,05 | 3 |  |  | [16], [24] |

В состав дымного пороха не входят высокотоксичные соединения 1 и 2 класса опасности.

Основными рекомендациями по обеспечению экологической безопасности при производстве изделий, содержащих дымный порох, являются: герметизация оборудования, сокращение доли ручного труда, контроль содержания вредных веществ в воздухе, использование общеобменной и, при необходимости, местной вытяжной вентиляции, очистка газовых выбросов, использование средств индивидуальной защиты.

Учитывая небольшую массу воспламенителя (18 г) и то, что при его сжигании не образуется высокотоксичных соединений - практически не возникает реальной опасности загрязнения окружающей среды при испытании и использовании изделий.

4.2 Система нейтрализации продуктов сгорания

Проектирование и эксплуатация испытательного комплекса (ИК) должны выполняться в соответствии со Строительными нормами и правилами. Действующие испытательные комплексы и отдельные сооружения, в которых проводятся испытания, подлежат обязательной сертификации, а руководители и специалисты, занятые проектирование, монтажом, ремонтом и эксплуатацией ИК и их систем, обязаны обладать должной аттестацией.

Испытательные стенды обычно состоят из двух частей:

* Испытательной, состоящей из объекта испытания и систем, обеспечивающих воздействие различных эксплуатационных факторов;
* Командной в виде пульта управления и систем информационного обеспечения о параметрах объекта испытания и стенда.

Проектирование испытательных стендов – сложный процесс, включающий в себя разработку технического задания, проектных предложений, эскизного и технического проектов разработку функциональных и принципиальных схем, расчёт элементов и систем стенда, выбор компоновочной схемы стенда, обеспечивающий заданные проектные параметры, и окончательную разработку рабочей документации на стенд.

Для обеспечения экологических требований на испытательном комплексе используются системы улавливания и нейтрализации токсичных и взрывоопасных выбросов, к примеру, из камеры сгорания двигателя. Системы нейтрализации продуктов сгорания, как правило, используются с газодинамическим трактом, дожигательным и гидрогасительным устройствами и трубой рассеивания. В указанных системах применяются абсорбционный метод, основанный на поглощении вредных выбросов химическими соединениями, и термический метод, основанный на дожигании газов с добавлением окислителя и горючего. В качестве абсорбента применяют: для горючего – кислоты, воду и для окислителей – щёлочные растворы. Термохимические методы нейтрализации оксиси углерода и окиси азота являются наиболее эффективными и простыми, по причине того, что основное преимущество термохимических методов заключается в том, что они менее чувствительны к чистоте газового потока и попутно обеспечивают дожигание других веществ: взрывоопасную смесь и токсичные продукты неполного сгорания углеводородов (сажу и др.).

Принципиальная схема газодинамического тракта с системой дожигания окиси углерода представлена на Рисунке 2 и включает бронекамеру, диффузор, дожигатель и выхлопную трубу. Бронекамера 1 служит для герметизации объема около двигателя, диффузор 2 предназначен для преобразования сверхзвуковой струи в дозвуковую с целью восстановления статического давления в струе. Снятие тепловых потоков от газа обеспечивается внутренним водяным охлаждением с расходом воды 5000 кг/с. В первой зоне дожигателя расход воды равен 800 кг/с и протекает интенсивная реакция дожигания окиси углерода за счёт активных радикалов , образующихся вместе с атомами при диссоциации воды, и содержание в продуктах сгорания при этом уменьшается [2].



*Рисунок 5.1. Принципиальная схема газодинамического тракта с системой дожигания окиси углерода[2]:*

*1 – Барокамера; 2 – диффузор; 3 – дожигатель; 4 – выхлопная труба; I – первая зона дожигания; II – вторая зона дожигания; III – третья зона дожигания.*

Дожигатель 3 предназначен для окисления окиси углерода и дожигания водорода за счёт подаваемых в него воды и жидкого кислорода (вторая зона) через коллектор с 50 форсунками. При этом расход кислорода регулируется автоматически, согласно программе так, чтобы обеспечить коэффициент избытка окислителя в дожигателе и сохранить температуру смеси . В третьей зоне примерно через 6 м подается около 500 кг воды, обеспечивающей охлаждение потока до и практически полное подавление и равновесное дожигание . За дожигателем расположена выхлопная труба 4, в которую дополнительно подаётся воды, что обеспечивает дальнейшее снижение температура и шумоглушение. Образующаяся смесь тормозиться в гидрогасителе и из него попадает в атмосферу через трубу рассеивания высотой 100 м и диаметром 16 м. Эффективность дожигания продуктов сгорания подобным способом составляет более 97%. Таким образом при оснащении испытательного стенда системами дожигания выбросов обеспечиваются безопасные условиях испытаний: снижается токсичность газовых выбросов, воздействие шумов и светового излучения.

4.3 Расчёт системы вентиляции

Важнейшим этапом при проектировании испытательного стенда является обеспечение защиты специалистов находящихся в командной во время пуска двигателя и подвергающихся воздействию токсичных веществ, содержащихся в продуктах сгорания двигателя. Для обеспечения их защиты проведён расчет количества приточного воздуха, необходимого для общеобменной вентиляции выполнен в соответствии со СНиП 41-01-2003 “Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха” из условия выделения в испытательном боксе вредных веществ.

В выходном сечении ракетного двигателя наибольшую концентрацию имеют хлороводород и оксид алюминия , концентрация остальных компонентов ПС мала и лежит в допустимых диапазонах. Количество , , , выделяемых за секунду работы ракетного двигателя на испытательном стенде получено из термодинамического расчёта в программном комплексе ASTRA. Количество вредных веществ, выделяемых в производственном помещении:

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне определяется из ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”, данные которого представлены частично в Таблице 1.

онцентрация вредных веществ в наружном воздухе, подаваемом в испытательный бокс:

Итак, количество приточного или удаляемого воздуха для каждого токсичного компонента продуктов сгорания:

.





Так как в рабочую зону одновременно выделяется несколько вредных веществ, имеющих разнонаправленное воздействие на организм человека, то минимальная потребная производительность вентилятора:



Таким образом под необходимые критерии подходит одноступенчатый радиальный вентилятор OBR 200М-2K, общий габаритный чертёж которого представлен на Рисунке 2, с характеристиками:

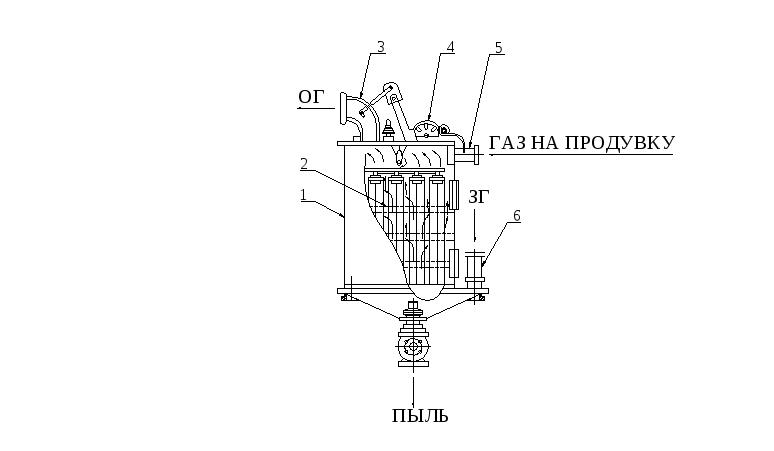
*Таблица 5.2. Характеристики одноступенчатого радиального вентилятора OBR 200М-2K.*

|  |  |
| --- | --- |
| Уровень шума, dB | 54,0 |
| Вес, кг | 9,2 |
| Мощность, кВт | 0,6 |
| Полное статистическое давление, Па | 1500 |
| Max t перемещ. воздуха, С° | 60 |
| Производительность, м³/ч | 1800 |
| Диаметр входа, мм | 160 |

4.4 Дополнительное очистительное оборудование

Несмотря на большую опасность оксида углерода и значительное количество его выбросов, промышленных установок для отчистки воздуха от оксида углерода нет. Поэтому в ракетной промышленности ограничиваются его каталитическим окислением в значительно менее опасный диоксид углерода в нейтрализаторе, изображённом на Рисунке 1. А для отчистки воздуха от хлороводорода используется надлежащая вентиляция с улавливанием хлороводорода, способ которого состоит в обработке продуктов сгорания с помощью бикарбоната натрия с целью разложения хлороводорода и образования хлорида натрия:

Для качественного же очищения газов от тонкой дисперсной пыли, представленной в продуктах сгорания конденсированным оксидом алюминия (сажей), который трудно поддаётся увлажнению, применяются рукавные фильтры (Рисунок 3):



*Рисунок 5.3. Конструкция рукавного фильтра: 1 – корпус; 2 – элемент рукавного фильтра; 3 – коллектор очищенного газа; 4 – встряхиватель; 5 – коллектор продувочного газа; 6 – коллектор ввода запыленного газа*

4.5 Заключение

Несмотря на тот факт, что основной задачей РДТТ является обеспечение энергетических характеристик (уровень реактивной тяги, массовый расход ПС, суммарный импульс тяги), в процессе его эксплуатации и испытаний возникает опасность также с точки зрения экологического воздействия, которое особо выражено в области рабочей зоны человека.

При проведении испытаний и утилизации РДТТ необходимо соблюдать ряд предупредительных и защитных мер, обеспечивающих защиту окружающей среды и безопасность персонала, занятого на производстве и испытательных станциях.

Кроме того, размещение испытательных станций, лабораторий, отдельных испытательных установок должны выполняться с учетом определенных требований. Необходимо обеспечение безопасности жизнедеятельности местных жителей в районах расположения предприятий.

В результате проведенного анализа состава продуктов сгорания определено:

1 При хранении, перемещении и регламентном обслуживании основных изделий на составе ТРТ с бронировочным покрытием загрязнение окружающей среды практически отсутствует.

2 Рекомендуется уничтожение основного изделия на составе ТРТ с бронировочным покрытием методом сжигания на открытых площадках или стендах.

3 При уничтожении основного изделия с бронировочным покрытием и его стендовых испытаниях основное воздействие на окружающую среду оказывает окись свинца (1 класс опасности). Количество выделяющихся загрязняющих веществ при разовом использовании изделия не приводит к превышению норм ПДК атм. воздуха (как разовой максимальной, так и среднесуточной) указанных веществ на границах типовой санитарно – защитной зоны (1000 м) предприятий и полигонов.

4 По озоноразрушающему действию продукты сгорания изделия относятся к безопасным веществам и не входят в перечень контролируемых веществ по Монреальскому протоколу от 1989 г.

5 Для защиты органов дыхания работников, у которых возможен контакт с газами, выделяющимися при сгорании изделия, в обязательном порядке, должен использоваться респиратор «Лепесток» или противогаз марки «М», защищающий органы дыхания от окиси углерода и аэрозолей.

В целях обеспечения охраны труда и техники безопасности:

1. Рассчитана система вентиляции на испытательном стенде, на основании расчета выбран вентилятор OBR 200М‑2K.
2. Подобрано дополнительное очистительное оборудование, основная задача которого состоит в доведении содержания токсичных примесей в газовых примесях до предельно допустимых концентраций, установленных санитарными нормами.

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.005-88 Cистема стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением №1) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 08.04.2018).
2. Галеев А.Г. Эксплуатация испытательных комплексов ракетно-космических систем. Издательство МАИ, 2007. – 16 с.
3. Даценко И.И. Воздушная среда и здоровье. Львов, 1981. – 153 с.
4. Пинигин М.А. Охрана атмосферного воздуха. М., 1989. – 245 с.
5. Пиросправка. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам. Издание 6.
6. Кубота Н. Твердые ракетные топлива и взрывчатые вещества. 2-е, расш. издание. Пермь, 2009. — 546 с. Пер. с англ. (изд-во Wiley-VCH Verlag GmbH, ФРГ, 2007. — 509 с.).
7. Справочник веществ. – Научно-исследовтельский институт гигиены, токсикологии и профпатологии (НИИГТП) [Электронный ресурс]. –URL: <http://www.rihtop.ru/diagnoseassistant/pages/Substances.aspx> (дата обращения: 08.04.2018)
8. Энергетика и промышленность России информационный портал.

16 ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

17 СанПиН 4630-88 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.

18 Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ п/ред. В. С. Кушневой и Р. Б. Горшковой, М., ИздАТ, 1999 г.

19 «Токсичные вещества ракетных топлив», М.,1990, Л-14030.

20 «Вредные вещества в промышленности» п/ред. Лазарева Н. В., ч.1, 1969 г.

21 «Вредные вещества в промышленности» п/ред. Лазарева Н. В., ч.2, 1976 г.

22 «Вредные вещества в промышленности» п/ред. Лазарева Н. В., ч.3, 1977 г.

23 Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник.- Л.: Химия, 1985 г.

24 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, М.,1984 г.

25 ОСТ В 84-2440-90 Коллоксилин марки Н. Технические условия.

26 Вредные вещества в промышленности п/ред. Э. Н. Левиной, И. Д. Гадаскиной., Л., «Химия»,1985 г.

27 Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Справочник.-Л.: Химия, 1986 г.

28 В. М. Меркулов, С. А. Гусев, В. А. Козлов, Ю. Н. Баранец, О. И. Сидоров и др. Разработка и исследование бронепокрытия ЭТАЛ-148ТГ-2Н-1 с улучшенными эксплуатационными характеристиками для зарядов РДТТ. Научно-технический отчёт ФГУП «ФЦДТ «Союз», уч. 30/ДСП от 30.12.2004.

29 В. М. Меркулов, Ю. Н. Баранец и др. Оценка стабильности физико-механических характеристик бронепокрытия ЭТАЛ-148ТГ-2Н, бронепокрытия в контакте с топливом РДГ-1 и адгезионной прочности его скрепления с топливом РДГ-1 при тепловом старении. Акт-отчёт ФГУП «ФЦДТ «Союз», уч.579/222 от 08.12.2005.

30 В. М. Меркулов, В. А. Козлов, Ю. Н. Баранец и др. Заключение по обоснованию возможности установления гарантийного срока хранения и эксплуатации на изделие Х995 с бронепокрытием ЭТАЛ-148ТГ-2Н-1, уч. 372/222 от 28.09.2004.

31 Справочник по авиационным материалам. Под ред. А. Т. Туманова. М., Машиностроение, 1965 г.

32 Разработка ПО для расчета запасов прочности изделий из специальных композиций. ООО «ОТ-Контакт», 2009 г.

33 Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений. М., МИР, 1977 г.

34 В. В. Бритарёв, В. А. Козлов, А. К. Яницкий, В. Ф. Волков, В. В. Гуров. Двигатель маршевый ДМ96.00.000. Пояснительная записка. ФГУП «ФЦДТ «Союз» инв.№ ДСП-1759н, 2006 г.

35 Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой [Электронный ресурс].– URL: <http://www.un.org.ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/montreal.pdf> (дата обращения: 11.05.2019).

5. Экономико-организационная часть

Консультант: Беняев Н.Е.

Введение

При проведении мероприятий по разработке маршевого реактивного двигателя на первом этапе его создания рассматривают несколько конструктивных вариантов, наиболее полно удовлетворяющих требованиям ТЗ.

Если это касается разработчиков всего комплекса изделий, то необходимо рассматривать ряд схемных решений с точки зрения структуры разрабатываемого объекта: системы измерения, принципа управления, применения различных видов топлив, типа воспламенения, методики пересчета и определения конечных зависимостей и параметров. [31]

Выбрав конструктивное исполнение, систему измерения, методику расчета, дают технико-экономическую оценку изделия в целом и отдельных его элементов. Сравнительный технико-экономический анализ выдвигает как обязательное требование обоснованное приведение рассматриваемых вариантов техники к сопоставимому виду. Речь идет обычно о необходимости приведения сравниваемых изделий по эксплуатационно-техническим параметрам (мощность, производительность, габаритные характеристики, комплекс задач и операции, показатели по качеству – надежность, долговечность и т.д.).

В выпускной квалификационной работе рассматривается разработка маршевого РДТТ, предназначенного для модульного удлиненного заряда разминирования.

Особенности обоснования затрат на разработку изделия.

При оценке затрат на разработку РДТТ необходимо исходить не из традиционного подхода – численности разработчиков и сроков возможного окончания работ, а из необходимого объема огневой стендовой отработки и, следовательно, количества испытываемых изделий, темпа нарастания коэффициента их использования при испытаниях и определения производственной базы (заводов и стендов).

Как показывает опыт, основные затраты при создании ракетных двигателей определяются не затратами на этап проектирования и изготовления головного образца, а количеством необходимых изделий и испытаний каждого изделия для подтверждения заданных требований по ТЗ – специфическая особенность высоконапряженных энергетических машин.

Для РДТТ к исходу отработки обеспечивается максимально достижимая для современного уровня развития техники и технологии надежность, гарантирующая безопасность обслуживающего персонала и заданную вероятность решения целевой задачи, для которой создается изделие. В нашем случае, ограничимся определением затрат на проектирование, изготовление образцов и отработку РДТТ.

5.1 Исходные данные для проведения расчета затрат на создание РДТТ

Для определения затрат на разработку и проведения испытаний до этапа сдачи заказчику РДТТ необходимо рассчитать затраты, связанные с:

* разработкой проектной и конструкторской документацией;
* ее последующим освоением по результатам технологического освоения и доводки;
* подготовкой производства по всему циклу (создание технологической документации, чертежей на оснастку и инструмент);
* изготовлением первых партий РДТТ;
* проведением ОСИ;
* отработки РДТТ с подтверждением заданных характеристик и точности, соответствующих требованиям ТЗ применительно к задачам дальнейшего использования.

Выполнение данных проектно-экономических расчетов представляет собой систему прогнозируемых оценок на базе опытно-статических данных, накопленных к настоящему времени в проектных организациях и в промышленности, при условии окончания этапа проектирования.

Для выполнения работ по расчету затрат на создание РДТТ необходимо иметь два массива ИД: технические характеристики изделия и проект графика разработки с указанием сроков выполнения работ.

Таблица 1.1. Технические характеристики изделия

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Габариты изделия | Длина, мм, не более | 1546 |
| Диаметр, мм, не более | 160 |
| Диаметр критического сечения, мм | | 14,25 |
| Давление в камере сгорания, МПа | | 17,66 |
| Давление на срезе сопла, МПа | | 0,01 |
| Тип топлива | | Баллиститное |
| Полное номинальное время работы, с | | 4,5…5,5 |

5.2 Основные этапы НИОКР

Проведение экономического расчета начинается с определения основных этапов работ, связанных с проектированием двигателя. В перечень этих этапов входят:

1. фундаментальные поисковые научно-исследовательские работы;
2. техническое предложение (аванпроект);
3. разработка технического задания;
4. эскизное проектирование;
5. техническое проектирование;
6. подготовка стендовой установки;
7. рабочий проект;
8. изготовление опытных образцов;
9. конструкторско-доводочные ОСИ опытных образцов;
10. корректировка конструкторской документации;
11. изготовление натурных образцов;
12. натурные испытания;
13. подготовка серийного производства.

Стоимость разработки нового двигателя будет определена этими этапами. График работ представлен в таблице 1.

Таблица 5.1. План работ по разработке двигателя

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование этапа | Месяцы | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| ФПНИР |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Техническое предложение |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Разработка ТЗ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Эскизное проектирование |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Техническое проектирование |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Подготовка стенда |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Рабочий проект |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Изготовление опытных образцов |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ОСИ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Корректировка РКД |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Изготовление натурных образцов |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Натурные испытания |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Подготовка производства |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

5.3 Сетевая модель

Для начала следует установить зависимость между этапами (таблица 5.2)

Таблица 5.2 Основные события и работы проекта

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Событие | Код работы | Работа | Трудоемкость | |
| чел/дни | чел/час |
| Начало работ | 0-1 | ФПНИР | 20 | 160 |
| Окончание НИР | 1-2 | Аванпроект | 20 | 160 |
| Подготовка аванпроекта | 2-3 | Разработка ТЗ | 20 | 160 |
| 2-4 | Эскизное проетирование | 40 | 320 |
| Подготовка ТЗ | 3-5 | Техническое проектирование | 40 | 320 |
| Начало подготовки стенда | 4-6 | Подготовка стенда | 40 | 320 |
| Окончание технического проектирования | 5-6 | Рабочий проект | 40 | 320 |
| Готовность рабочего проекта | 6-7 | Изготовление опытных образцов | 80 | 640 |
| 6-8 | ОСИ | 80 | 640 |
| 6-9 | Корректировка РКД | 100 | 800 |
| Готовность опытных образцов | 7-9 | Изготовление натурных образцов | 20 | 160 |
| Получение результатов ОСИ | 8-9 | - | - | - |
| Подготовка натурных образцов | 9-10 | Натурные испытания | 20 | 160 |
| Окончание проектирования | 10-11 | Подготовка производства | 60 | 480 |
| Окончание работ | - | - | - | - |

5.4 Определение числа исполнителей

Для проектирования двигателя, изготовления опытных образцов, их отработки и запуска двигателя в производство понадобятся три вида специалистов: конструкторы, технологи и испытатели.

Занятость в течение проекта распределена следующим образом:

* 12 месяцев для конструкторов, что соответствует занятости от момента начала работ до окончания корректировки РКД;
* 10 месяцев для технологов, что соответствует занятости от момента начала разработки рабочего проекта до завершения всех испытаний;
* 8 месяцев для испытателей, что соответствует занятости от момента подготовки стенда, до завершения всех испытаний.

При этом численность персонала будет следующей: по одному конструктору и технологу и два испытателя.

5.5 Затраты на проект

5.5.1 Затраты на проектирование

Заработная плата:

Будем считать, что на проектирование данного двигателя необходимо оплачивать работу, опираясь на величину недельного оклада и занятости:

где приравнивается полному времени занятости работника в проекте, а соответствует окладу работника за неделю.

Увеличение оплаты за счет удержания подоходного налога:

Используя вышеописанные соотношения и зная численность работников следует рассчитать для каждого величину оплаты его труда.

Таблица 5.3 Заработная плата работников

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Должность | Численность, чел. | Мес. оклад, руб. | Занятость, нед. | Оклад, руб. | Зарплата, руб. |
| 1 | Конструктор | 4 | 48 000 | 48 | 2 304 000 | 2 603 520 |
| 2 | Технолог | 2 | 40 000 | 40 | 800 000 | 904 000 |
| 3 | Испытатель | 2 | 52 000 | 20 | 520 000 | 587 600 |
| Итого | | | | | 3 624 000 | 4 095 120 |

Дополнительная заработная плата:

Отчисления с заработной платы:

Суммарные затраты на заработную плату:

Для всех работников в сумме:

Затраты на оборудование:

Для работы инженерам понадобятся персональные компьютеры (ПК), на которых будут производиться расчетные операции и выпуск КД. Допустим, что есть необходимость приобретения данного оборудования, тогда стоимость подходящего по техническим характеристикам ПК составит 120 000 руб. Так же для печати всей документации понадобится принтер и плоттер стоимостью 15 000 руб. и 96 000 руб. соответственно.

Таблица 5.4 Стоимость оборудования

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сотрудники | Оборудование | Кол-во | Стоимость, руб | Итоговая стоимость, руб |
| Конструктор и технолог | Компьютер | 6 | 120 000 | 720 000 |
| Принтер | 2 | 15 000 | 30 000 |
| Плоттер | 1 | 96 000 | 96 000 |

Общая сумма затрат на оборудование:

Затраты на амортизацию оборудования:

Определяются по формуле

где – затраты на приобретение i-го средства производства, – время использования i-го средства производства в днях, – полный ожидаемый срок эксплуатации i-го средства в днях.

Принимаем полный срок эксплуатации приобретённых ПЭВМ 5 лет (с учётом морального старения), а для прочего оборудования – 10 лет, и учитывем, что в году приблизительно 250 рабочих дней рассчитываем ориентировочную стоимость амортизации оборудования. Результат расчета представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 Стоимость амортизации приобретенного оборудования

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Оборудование | Количество, шт. | Стоимость, руб. | Срок эксплуатации, дн. | Стоимость амортизации, руб. |
| Персональный компьютер (конструктора) | 4 | 120 000 | 240 | 153 600 |
| Персональный компьютер (технолога) | 2 | 120 000 | 200 | 64 000 |
| Принтер | 2 | 15 000 | 320 | 12 800 |
| Плоттер | 1 | 96 000 | 320 | 40 960 |
| Итого, стоимость амортизации оборудования САМОТР | | | | 271 360 |

Затраты на расходные материалы:

Определяют перечень минимально необходимых для организации работ расходных материалов. Данный перечень приведён в таблице 5.5,. Цены определены на основе [ссылка на сайт КОМУС]

Таблица 5.5 Затраты на расходные материалы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование материалов | Цена, руб. | Количество, шт. | Сумма, руб. |
| 1 | Бумага Svetocopy 500 листов | 183 | 1000 | 183 000 |
| 2 | Рулон бумаги Promega для плоттера | 543 | 100 | 54 300 |
| 3 | Канцелярские принадлежности | 8000 | 6 | 48 000 |
| Итого, затраты на расходные материалы (Срасх.мат) | | | | 285 300 |

Затраты на вспомогательное ПО:

Расчет стоимости вспомогательного ПО производится с условием установки на два персональных компьютера.

Таблица 5.5 Стоимость программного обеспечения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Стоимость, руб. | Количество, шт | Итоговая стоимость, руб. |
| Microsoft Windows 10 | 14 199 | 6 | 85 194 |
| Microsoft Office Standard 2016 | 5 199 | 6 | 31 194 |
| Mathcad Professional – Individual | 79 800 | 6 | 478 800 |
| Аскон КОМПАС-3D V18 | 157 000 | 6 | 942 000 |
| БД InterMech Search | 63 774 | 6 | 382 644 |
| Итого, затраты на программное обеспечение (СПО) | | | 1 919 832 |

Стоимость 1 лицензии СУБД InterMech Search – 890 €. В соответствии с курсом ЦБРФ на 04.2019 – 63 774 руб.

Затраты на организацию рабочих мест:

Из расчета, что на одного человека необходима площадь 6 кв.м. был произведен поиск по арендуемым помещениям в пределах г. Москва. (ссылка на ЦИАН)

Таблица 5.5 Арендуемые рабочие места

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Район | Площадь, м. кв. | Стоимость, руб./мес. |
| ст. м. Волжская | 12,5 | 14 000 |
| ст.м. Шоссе Энтузиастов | 12 | 12 000 |
| ст. м. Перово | 12 | 12 500 |
| ст. м. Минская | 12 | 22 008 |
| ст. м. Беговая | 12 | 18 000 |
| ст. м. Дубровка | 12,5 | 12 500 |

Выбираем вариант ст. м. Дубровка, географическое расположение и транспортная доступность (станции метрополитена и МЦК) которого обеспечат доступность для сотрудников, в то время как стоимость аренды снижает накладные расходы. При этом, для эффективной организации работы, требуется арендовать 3 смежных помещения, поскольку помимо расположения рабочих мест, так же потребуется место для хранения документации.

Накладные расходы:

Предполагаем, что накладные расходы составят 60% от заработной платы:

Определение суммарных затрат на проектирование:

.

Структура затрат проиллюстрирована на диаграмме рис. 5.1

Рис 5.1 ‑  Структура затрат на проектирование

5.5.2 Затраты на изготовление

Структура затрат на изготовление двигателя состоит из

5.5.3 Затраты на испытания

Заключение

В результате выполнения дипломного проекта был спроектирован маршевый реактивный двигатель на твердом топливе для установки разминирования, удовлетворяющий требованиям ТЗ. Были рассмотрены следующие аспекты:

1. Конструкторская часть:

* Спроектированна форма основного изделия, удовлетворяющая требованиям ТЗ.
* Подобранны материалы различных узлов и агрегатов двигателя, проведен тепловой расчет.
* Выбрана и спроектирована конструкция соплового блока, выполнен подбор материалов.
* Проведены прочностные расчеты разъемных соединений.
* Рассчитана необходимая масса воспламенительного состава, определена конструкция ВУ.
* Произведен расчет термодинамических параметров потока по газодинамическому тракту.
* Спроектирована оснастка для проведения ОСИ. Спроектировано стапельное оборудование, подобрана система измерения.

1. Исследовательская часть:

* Произведена оценка скорости горения ТРТ при сгорании заряда в УПД.
* Сформирована математическая модель для обработки результатов опыта.

1. Технологическая часть:

* Произведена проработка технологического процесса изготовления передней крышки двигателя.
* Спроектирован кондуктор и инструменты, необходимые для изготовления детали.

1. Охрана труда и экологическая безопасность:

* Проведен анализ вредных и опасных факторов процесса проведения огневых стендовых испытаний.
* Рассмотрены НТД и законодательство РФ для проведения работ с РДТТ.
* Произведен расчет системы вентиляции, необходимой при работе персонала с основным изделием.

1. Экономико-организационная часть:

* Разработан план-график проведения НИОКР.
* Проведен расчет затрат на проект: затраты на проектирование, затраты на изготовление и затраты на испытания.
* Построены сетевой график и диаграмма Ганта.

Список использованной литературы

Список использованной литературы(ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ)

1. Колосков М.М., Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. – М.: «Машиностроение», 2001.
2. Зайцев Б.Г., Шевченко А.С. Справочник молодого токаря – М.: Высш. Школа, 1979. – 367 с., ил. – (Профтехобразование. Обраб. резанием.)
3. Байков Б.А. Атлас конструкций узлов и деталей машин: учеб. пособие/ Под ред. Ряховского О.А., Леликова О.П. – 2-е изд., перераб. И доп //М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана – 2009
4. ГОСТ 18429-73 «Втулки кондукторные постоянные»

Список литературы(ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ)

1. ГОСТ 12.1.005-88 Cистема стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением №1) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 08.04.2018).
2. Галеев А.Г. Эксплуатация испытательных комплексов ракетно-космических систем. Издательство МАИ, 2007. – 16 с.
3. Даценко И.И. Воздушная среда и здоровье. Львов, 1981. – 153 с.
4. Пинигин М.А. Охрана атмосферного воздуха. М., 1989. – 245 с.
5. Пиросправка. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам. Издание 6.
6. Кубота Н. Твердые ракетные топлива и взрывчатые вещества. 2-е, расш. издание. Пермь, 2009. — 546 с. Пер. с англ. (изд-во Wiley-VCH Verlag GmbH, ФРГ, 2007. — 509 с.).
7. Справочник веществ. – Научно-исследовтельский институт гигиены, токсикологии и профпатологии (НИИГТП) [Электронный ресурс]. –URL: <http://www.rihtop.ru/diagnoseassistant/pages/Substances.aspx> (дата обращения: 08.04.2018)

Энергетика и промышленность России информационный портал