**4. Проектирование камеры**

**4.1. Исходные данные для проектирования камеры**

Камера предназначена для создания реактивной тяги, возникающей в результате сгорания в ней компонентов топлива, и, в следствии этого истечения образовавшихся продуктов сгорания через сопло.

Камера представляет собой паянно-сварную конструкцию, состоящую из плоской форсуночной головки, цилиндрической части камеры и профилированною сопла, закритическая часть которого выполнена с угловым входом.

Таблица 4.1 -

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номинальная тяга в пустоте | **Pп** | 400 | кН |
| Теоретический удельный импульс | **Iтуд** | 3286,7 | м/с |
| Действительный удельный импульс | **Iдуд** | 3106 | м/с |
| Давление газов в камере сгорания | **Pкс** | 14,5 | МПа |
| Давление газов на срезе сопла | **Pа** | 0.05 | МПа |
| Суммарный расход через камеру | **m`** | 128,8 | кг/с |
| Расход окислителя через КС | **mо`** | 93,8 | кг/с |
| Расход горючего через КС | **mг`** | 35 | кг/с |
| Соотношение весовых расходов компонентов топлива | Kм | 2.68 | - |
| Коэффициент избытка окислителя | **α** | 0.87 | - |
| Расходный комплекс (теоретический) | **βт** | 1706 | м/с |
| Показатель процесса | **n** | 1.16 | - |
| Температура в камере сгорания | **T** | 3507 | К |
| Газовая постоянная | **R** | 335 | Дж/кгК |
| Число Маха | **Mа** | 3.76 | - |

Камера сгорания выполнена из двух основных узлов: форсуночной головки и цилиндрической части, соединенных между собой сваркой. Соединение деталей и узлов КС осуществлено путем сварки и пайки твердым припоем.

**4.2 Определение объема и расчет характерных размеров камеры**

Существует несколько разновидностей форм КС. Наибольшее распространение получила цилиндрическая КС за счет относительной технологической простоты в сочетании с оптимальными параметрами течения и хорошей организацией внутрикамерных процессов.

Под объемом КС понимается суммарный объем цилиндрической части и ДЗЧ сопла. Определение объема будем считать по времени пребывания.

По определению расходный комплекс вычисляется по формуле:

Порядок расчета следующий:

1. В соответствии с табл.3.1[2] примем время пребывания τ­к=2,1мс.
2. Тогда объем КС определится через формулу:

Получаем Vкс=0,022м3.

1. Диаметр КС определяем по формуле, предварительно задавшись отношением длины КС к диаметру с=1,42:

1. Определяем длину КС по определению параметра с, а также площадь сечения КС: Lкс=с\*Dкс=0,383м; Fкс=0,057м2.
2. В соответствии с формулой для расходного комплекса определяем площадь, а затем диаметр критического сечения камеры. Коэффициент потерь расходного комплекса определим из рис.3.6 [2] φβ=0,98:

Получаем =0,015м2, =0,138м,

**4.3. Профилирование сопла**

Определяемые размеры для ДЗЧ представлены на рисунке 4.1.

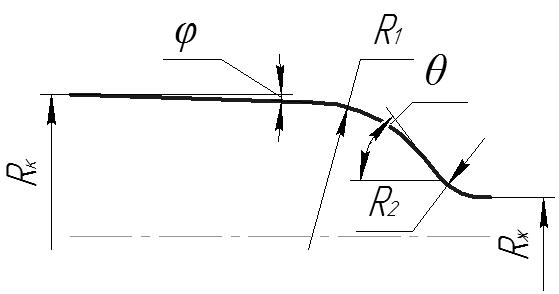


Рисунок 4.1 - Схема профилирования ДЗЧ сопла.

В соответствии с рекомендациями принимаем R1=1,2∙Rкс=0,162м, R2=Rкр∙0,8=0,055м, углы φ=0°, θ≤40°.

Отношение площади камеры сгорания к площади критического сечения равно 3,86, следовательно, камера изобарическая. Длина ДЗЧ по рис.3.8 [2] Lдзч=Rкс∙0,96=0,13м.

Профилирование СЗЧ сводится к определению углов профиля, диаметра среза сопла и длины СЗЧ.

1. В соответствии с известной безразмерной площадью находим площадь, а затем и диаметр среза сопла: Fa=fa∙F\*=0,45м2, Da=0,757м.
2. Для определения угла наклона контура на срезе найдем скорость на срезе, плотности смеси на срезе и в камере:

= 3042 м/с

12,3 кг/м3

0,093 кг/м3

1. Угол наклона контура на срезе определится через формулу (PH=0):

12,5⁰

1. В соответствии с углом на срезе и [1] задаем угол входной части СЗЧ: θm=34°.

Таблица 4.2 -

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Радиус КС (камеры сгорания) | Rкс | 0.135 | м |
| Радиус КР (критического сечения) | Rкр | 0.069 | м |
| Радиус сопряжения КС с коническим участком дозвуковой части сопла | R1 | 0.162 | м |
| Радиус сопряжения в плоскости переднего сечения конического участка дозвуковой части сопла с критическим сечением | R2 | 0.055 |  |
| Угол наклона конической части дозвуковой части сопла к оси камеры двигателя. | φ | 0 | град |
| Длинна КС | Lкс | 0.383 | м |
| Длинна докритической части сопла | Lдзч | 0.13 | м |

1. По рис.2.13 [1] определяем отношение длины СЗЧ сопла к радиусу критики и длину СЗЧ: Lcзч/Rкр=10,9. Тогда Lсзч=0,7521м.

Построение контура СЗЧ осуществим по методу парабол [1]. Результат представлен в КП.А8М31.2019.0020.

**4.4. Проектирование форсуночной головки**

Форсуночная головка КС является одним из самых расходо- и теплонапряженных элементов камеры и требует тщательной проработки. От ее компоновки и применяемых форсунок напрямую зависит протекание внутрикамерных процессов. ФГ должна обеспечивать расчетное соотношение компонентов при наличии пристеночного слоя, устойчивость работы КС, надежное охлаждение камеры и огневого днища, оптимальную компоновку подводов компонентов к камере. В состав ФГ входят:

1. огневое и среднее днище;
2. корпус ФГ;
3. двухкомпонентные газожидкостные форсунки;
4. центробежные однокомпонентные форсунки горючего;

Корпус ФГ представляет собой несущее кольцо с радиальными отверстиями по всей длине для подвода горючего из охлаждающего тракта. Крепление корпуса ФГ к внутренней стенке камеры осуществляется сваркой, к газоводу – пайкой. Днища ФГ представляют собой решетки с отверстиями под форсунки. Крепление днищ к корпусу осуществляется сваркой, форсунки к днищам крепятся пайкой.

ФГ имеет две полости: газовая, образованная средним днищем и газоводом, и жидкостная, образованная средним и огневым днищем. Спрямляющая решетка, ввариваемая в газовод, служит для выравнивания потока на входе в форсунки.

Впрыск компонентов осуществляется через форсунки, расположенные на концентрических окружностях. В центре ФГ установлена центральная струйно-центробежная форсунка. На первых четырех окружностях расположены аналогичные двухкомпонентные газожидкостные форсунки одинакового расхода. На пятой окружности расположены однокомпонентные центробежные форсунки горючего для создания пристеночного слоя.

Применение струйных газожидкостных форсунок обусловлено схемой «газ-жидкость». Именно эти форсунки позволяют добиться максимального значения φβ. Расположение двухкомпонентных форсунок может быть реализовано по любой существующей схеме, но при выборе необходимо учитывать возможность возникновения неустойчивого горения и прогара ФГ. Основываясь на вышесказанном применим концентрическую схему расположения форсунок.

Применение однокомпонентных форсунок горючего обусловлено необходимостью понижения массового соотношения компонентов для создания пристеночного слоя и, как следствие, понижения температуры вблизи стенки камеры.

Основную опасность для огневого днища представляет большой теплоподвод от ядра пламени. Зоны распыления и испарения в данном случае служат защитой, но при больших расстояниях между форсунками могут появиться участки ФГ, не защищенные от обратных токов горячих ПС. Это может привести в прогару ФГ. Поэтому минимальное расстояние установки форсунок в данном случае определяется условиями прочности огневого днища, а также технологическими соображениями.

Проведем расчет ФГ:

1. В соответствии с рис.3.6 [2] определим шаг между форсунками: H=24мм.
2. Определим число концентрических окружностей (N­КО) по формуле:

Имеем NКО=4,692. Примем NКО=5.

1. Диаметры концентрических окружностей: Dn=2\*H\*n, n – номер окружности.

Имеем:

Таблица 4.3 – Диаметры концентрических окружностей

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № окружности | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Диаметр, мм | 0 | 52 | 104 | 156 | 208 | 260 |

1. Число форсунок на окружностях: Zn=π\*Dn/H

Таблица 4.4 – Число форсунок на концентрических окружностях

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № окружности | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Число форсунок | 1 | 6 | 12 | 20 | 26 | 40 |

Общее число форсунок с учетом центральной форсунки: ZΣ=105.

Число форсунок пристеночного слоя: Z­ПС=40.

1. Определим расходы компонентов через форсунки по формулам (зададимся расходом через форсунки пристеночного слоя в 2 раза меньшим, чем через основные):

где - массовый расход горючего через газожидкостную форсунку;

- массовый расход окислителя через газожидкостную форсунку;

– массовый расход горючего через форсунки пристеночного слоя.

Получаем: ; ; .

**4.4.1. Выбор и обоснование способа смешения, типа форсунок, расчёт характеристик форсунок**

Расчет любых двухкомпонентных форсунок сводится к расчету двух отдельных форсунок с учетом их взаимного влияния друг на друга. Поэтому для расчета используются те же уравнения, что и для расчета однокомпонентных форсунок с небольшими изменениями.

Расчет газовой части форсунки.

1. Вычислим плотность газа на выходе из форсунки по формуле:

кг/м3

где - плотность генераторного газа на входе в форсунки

Плотность генераторного газа вычисляется по уравнению состояния с исходными данными геометрических размеров ГГ прототипа проектируемой ДУ;

– давление на выходе из форсунки.

Имеем .

1. Определение скорости истечения газа (режим докритический) произведем по формуле:

где - давление генераторного газа на входе в форсунку.

1. Определим площадь и диаметр сопла форсунки по формуле. Для этого зададимся значением коэффициента расхода форсунки μ=0,85:

Имеем dс=0,015 м.

1. Длина сопла форсунки в соответствии с рекомендациями [1] принимается в 1,5-3 раза больше диаметра сопла. Зададимся lc=2,1\*dc=0,031м.
2. Наружный диаметр газовой форсунки окислителя, являющейся внутренним контуром двухкомпонентной струйно-центробежной газожидкостной форсунки:

Расчет жидкостной части форсунки.

Проведём расчёт наружного контура струйно-центробежной газо-жидкостной форсунки. Число входов на форсунку выбираем i=8, коэффициент расхода А=4,5. [7] Коэффициент расхода для таких форсунок определяется после проливок и испытаний. В соответствии с имеющимися значениями зададимся μ=0,54.

1. Диаметр сопла форсунки определится по формуле:
2. Определение скорости истечения, приведенного диаметра и числа Рейнольдса:
3. Рассчитаем коэффициент трения по эмпирической формуле:
4. Вычислим диаметр камеры закручивания: dКЗ=dвх+2\*Rз=23мм.
5. Длину входного отверстия выбираем в диапазоне 1,5-3 от dвх: lвх=1,5\* dвх=2,8мм.
6. Длина сопла находится в диапазоне 0,25-1 от D­c: lc=0,75\*Dc=3мм.

5.3.2. Расчет однокомпонентной форсунки горючего ПС

1. Зададим угол распыла α=45°, число входов i=4.
2. По углу 2α и в соответствии с рис.3.13 [2] определяем коэффициент расхода и геометрическую характеристику форсунки. μ=0,54, А=2,75.
3. Вычисляем диаметр сопла форсунки по формуле:

Получим

1. Зададим радиус закрутки: Rз=1,3\*Dc/2=2,5мм.
2. Радиус входного сечения:

Имеем , dвх=1,47мм.

1. Определение скорости истечения, приведенного диаметра и числа Рейнольдса:

где - приведенный диаметр;

*-* число Рейнольдса на входе в камеру закручивания;

– коэффициент кинематической вязкости горючего.

Имеем , , .

1. Рассчитаем коэффициент трения по эмпирической формуле:

Получаем .

1. Определяем эквивалентную геометрическую характеристику:

Имеем

1. Определяем относительную разницу А и Аэ: -0,93%, что меньше 3%, следовательно, рассчитанные размеры можно считать окончательными.
2. Вычислим диаметр камеры закручивания: dКЗ=dвх+2\*Rз=6,4мм.
3. Длину входного отверстия выбираем в диапазоне 1,5-3 от dвх: lвх=1,6\* dвх=2,2 мм.
4. Длина сопла находится в диапазоне 0,25-1 от D­c: lc=0,5\*Dc=1,9 мм.

**4.4.2. Расчет массового соотношения компонентов в ядре потока и в пристеночном слое**

Исходными данными для расчета являются расходы компонентов через форсунки, расположение форсунок на ФГ.

Массовое соотношение компонентов в ядре потока равно отношению расхода окислителя к расходу горючего в основных форсунках, так как применены двухкомпонентные форсунки.

где – массовое соотношение компонентов в ядре потока.

Расчет массового соотношения в пристеночном слое проведем по вероятностному методу:

1. Выделим элемент на периферии ФГ с размерами (H\*H/2), где Н – шаг форсунок, вокруг него очертим окружность радиусом 3Н.
2. Далее в соответствии с расчетной схемой, определим координаты всех попавших в зону форсунок, нумерация форсунок снизу вверх (Схема распределений номеров форсунок в КС представлена в КП.А8М31.2019.0020).

Таблица 4.5 – Координаты форсунок

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| X1,мм | 36,1 | 12 | -12,52 | 60,1 | 36,89 | 12 | -12,89 | -36,33 | 67,84 | 50,01 | 31,25 | 12 | -7,24 | -26,01 | -43,84 |
| X2,мм | 12,1 | -12 | -36,52 | 36,1 | 12,89 | -12 | -36,89 | -60,33 | 44,84 | 26,01 | 7,25 | -12 | -31,24 | -50,01 | -67,84 |
| Y1,мм | 47,54 | 45 | 47,54 | 32,86 | 21,22 | 17,72 | 21,22 | 32,86 | 12,13 | 4,74 | 1,51 | 0 | 1,51 | 4,74 | 12,13 |

1. Далее определяются значения безразмерного комплекса:
2. Затем по табл.3.2 [2] определяются значения функции Лапласа:

Таблица 4.6 – Функция Лапласа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Фx1 | 0,8527 | 0,3712 | -0,3825 | 0,9854 | 0,8113 | 0,3712 | -0,4027 | -0,8592 | 0,9963 | 0,9613 | 0,8147 | 0,3712 | -0,2312 | -0,6978 | -0,8937 |
| Фx2 | 0,3716 | -0,3712 | -0,8592 | 0,8579 | 0,4027 | -0,3712 | -0,8113 | -0,9858 | 0,8941 | 0,7221 | 0,2991 | -0,3712 | -0,8012 | 0,9613 | -0,9942 |
| Фy1 | 0,9530 | 0,9264 | 0,9530 | 0,8372 | 0,6239 | 0,5481 | 0,6239 | 0,8372 | 0,3714 | 0,1625 | 0,047 | 0 | 0,047 | 0,1625 | 0,3714 |

1. Массовое соотношение компонентов в пристеночном слое ищем по формуле:

Получаем .

**4.5. Расчёт системы охлаждения камеры**

Высокие значения торможения термодинамических параметров в камере РД обуславливают интенсивный теплообмен между ПС и внутренними стенками камеры. Удельные тепловые потоки в ЖРД несопоставимо больше соответствующих значений в других тепловых машинах. Поэтому эффективное охлаждение камеры остается наиболее трудным и важным аспектом в проектировании ЖРД.

Существует два основных способа охлаждения: наружное и внутреннее.

Для организации наружного охлаждения обычно используют один из компонентов топлива. Подвод его осуществляется через коллектор в тракт охлаждения, пройдя который компонент нагревается и охлаждает стенки камеры, затем компонент поступает в КС.

Внутренне (завесное) охлаждение используется при недостаточности наружного, так как при его использовании уменьшается удельный импульс вследствие того, что впрыснутый через завесу компонент не участвует в горении.

Для проектируемого двигателя вследствие применения схемы с дожиганием генераторного газа надежное охлаждение возможно обеспечить при применении регенеративного охлаждения с двумя поясами завес: в начале КС и перед ДЗЧ сопла. Массовый расход охладителя в данном случае не превысит 3-4%, в то время как для достижения аналогичной температуры с помощью только пристеночного слоя массовый расход составит порядка 20%.

К системе охлаждения предъявляются следующие требования:

1. Температура стенки со стороны газа не должна превышать допустимых по условиям прочности значений для выбранного материала;
2. Температура жидкости на выходе из охлаждающего тракта не должна превысить температуру кипения компонента при заданном давлении;
3. Температура жидкости у стенки не должна превысить температуру коксообразования;
4. Температура охладителя у стенки не должна превысить температуру разложения.

Расчет охлаждения имеет поверочный характер. Охлаждающим компонентом выбираем НДМГ. Разбиваем камеру пятнадцатью сечениями: 3 сечения в КС, 2 сечения в ДЗЧ сопла и 10 сечений в СЗЧ сопла. Первое сечение располагается на расстоянии 0,2Lк от огневого днища ФГ. Вследствие повышенных удельных тепловых потоков и сложности течения в ДЗЧ шаг сечений в районе критики принимается меньшим. Схема распределений сечений в КМ представлена в КП.А8М31.2019.0020.

**Расчет проточного внешнего регенеративного охлаждения**

1. Исходными данными для расчета являются: среднее массовое соотношение компонентов в КС, расходы компонентов, геометрические параметры камеры, результаты термодинамического расчета.
2. Определение в соответствии с профилем камеры положения сечений, их диаметров и углов наклона (γ) профиля в месте сечения.
3. Определение относительного диаметра по формуле:

где - текущий диаметр.

1. По приложению 1 [1] определяем значения функции от относительного диаметра .
2. Находим промежуточный параметр в виде:.
3. Относительная абсцисса сечения находится по формуле:
4. Относительная длина и относительный диаметр КС:
5. Эффективную температуру торможения примем из интервала 1800-2200К Тэфф\_0=1800К.
6. Задаем постоянную по длине камеры температуру газовой стенки Тг\_ст=800К.
7. Относительная температура определяется по формуле:
8. По [2] определяем теплоемкость, коэффициент динамической вязкости и газовую постоянную в пристеночном слое: Сp=2620 Дж/кг\*К, μ=0,63\*10-4 Па\*с, R=560 Дж/кг\*К.
9. Определяем по рис.1.3,1.4 [2] комплекс K=1/aTbT\*D1,2.
10. Находим промежуточное значение интеграла:

Принимаем давление заторможенного потока равным давлению в КС за счет того, что камера изобарическая.

1. Вычисляем число Рейнольдса:
2. Вычислим комплекс ZT:
3. По рис.4.10 [2] определим значение функции ψТ
4. Определим значение комплекса bT:
5. Конвективный тепловой поток определится из формулы:
6. Ограничившись в соответствии с рекомендациями значением температуры газовой стенки в 1200К зададим распределение температуры по сечениям.
7. Далее необходимо определить лучистый тепловой поток:

Исходные данные: мольные доли воды и углекислого газа из термодинамичекого расчета: r(CO2)=0,116, r(H2O)=0,355.

1. Парциальные давления компонентов в соответствии с законом Дальтона:
2. Пользуясь рис.4.21,4.22,4.24 [1] определяем излучательную способность паров воды и углекислого газа:

εH2O=0,923

εСО2=0,17.

1. Степень черноты ПС определяется формулой:

Имеем .

1. Определим эффективную излучательную способность стенки:

Для выбранного материала - медь εст=0,57.

1. Ищем лучистый тепловой поток:

Получаем

1. Лучистый тепловой поток при наличии пристеночного слоя:

Имеем

1. Рассмотрим распределение лучистого потока по длине камеры:

Первоначально поток растет до значения в пристеночном слое; от 1-го до 2-го сечения поток постоянен и равен ; в ДЗЧ аппроксимируем соотношением:

В СЗЧ сопла аппроксимирующим соотношением является формула:

1. Определяем суммарный тепловой поток:

Конвективный, лучистый и суммарный тепловые потоки представлены на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 -

1. Определение длины участков
2. Определение площадь блокированной поверхности участка:
3. Теплосъем на участке определится уравнением:
4. Массовый расход охладителя в тракт: , температура охладителя на входе Т­ж\_вх=293К.
5. Определим подогрев жидкости на участках:
6. где – теплоемкость охладителя на участках.
7. Определим температуру охладителя на входе и выходе из участков:
8. Температуру жидкости на участке примем равной среднему арифметическому между входной и выходной температурой.
9. По рис. 4.25 [1] найдем значения комплекса изотермичности ZψTj.
10. Определим диаметр канала охлаждения. Для этого зададимся толщиной внутренней стенки δ­ст=1,8мм, высотой канала h=3,2мм. Тогда диаметр равен:
11. Зададимся толщиной гофра δ­г=0,8 мм и числом ребер гофра nр. Тогда ширина канала:
12. Эквивалентный диаметр определим по формуле:
13. Определим площадь живого сечения охлаждающего тракта:
14. Коэффициент теплоотдачи определится формулой:
15. Зададим теплопроводность гофров λг=291Вт/м\*К. Коэффициент эффективности оребрения определится формулой:
16. Коэффициент теплоотдачи с учетом оребрения:
17. Определим температуру жидкостной стенки:
18. Среднюю температуру стенки определим, как среднее арифметическое между температурами газовой и жидкостной стенки.
19. По рис.4.40 [1] определим коэффициент теплопроводности стенки λст\_j.
20. Определим температуру газовой стенки по формуле:
21. Рассчитаем погрешность относительно заданной температуры газовой стенки.

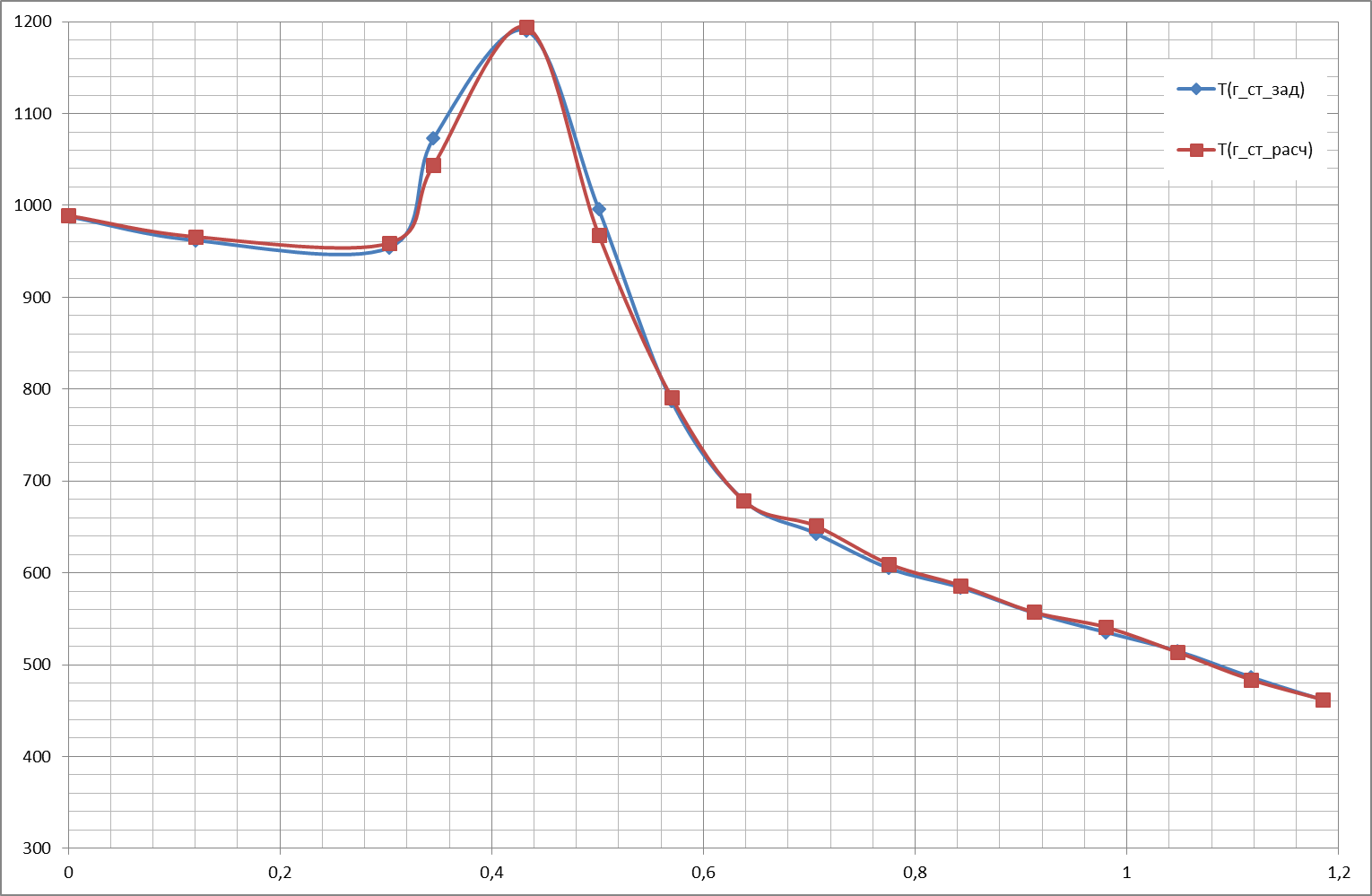
****

Рисунок – Распределение температуры газовой стенки по сечениям камеры

Учитывая граничные значения температур применим две завесы: в начале камеры и в начале ДЗЧ сопла. В результате их применения удельные характеристики камеры снизятся, но вероятность прогара значительно уменьшится.

# 4.6 Номенклатура конструкционных материалов

Таблица Лера привет – Используемые материалы.

|  |  |
| --- | --- |
| Внутреннее днище | БрХ08 |
| Форсунки «Г» | БрХ08 |
| Внутренние стенки КС | БрХ08 |
| Завесы | БрХ08 |
| Средняя часть КС | БрХ08 |
| Первая секция сопла | БрХ08 |
| Двухкомпонентные форсунки | Х18Н10Т |
| Среднее днище (и его детали) | Х18Н10Т |
| Наружная рубашка | Х18Н10Т |
| Коллектор | Х18Н10Т |
| Бандажи | Х18Н10Т |
| Внутренняя стенка сопла-надставки | Х18Н9Т |
| Переходные кольца | 12Х21Н5Т |
| Остальное | Никелевый сплав |

Пайка

|  |  |
| --- | --- |
| Для пайки узлов КС и сопла (рубашки) | Г40НХ |
| Для пайки форсунок | ПСр39 |

5. Расчет дроссельной и высотной характеристик

Характеристика РД – это зависимость тяги или удельного импульса от какого-либо внутреннего или внешнего параметра при постоянстве остальных.

5.1 Расчет дроссельной характеристики

Дроссельная характеристика – это зависимость тяги и удельного импульса от давления в КС при постоянстве остальных параметров:

* Геометрические размеры;
* Соотношение компонентов топлива;
* Давление окружающей среды ().

Данные зависимости позволяют построить дроссельную характеристику. Зададимся несколькими значениями давления в КС и рассчитаем значения тяги и удельного импульса. Результаты расчета показаны в таблице и на графике.

Таблица 11 – Дроссельная характеристика.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 14 | 18 | 20 | 25 |
| P,кН | -3,8 | -0,9 | 1,98 | 7,75 | 19,29 | 30,82 | 36,59 | 48,18 | 53,89 | 68,31 |
|  |  | -1025 | 1128 | 2204 | 2742 | 2921 | 2973 | 3041 | 3065 | 3108 |
|  | 3280 | | | | | | | | | |

**5.2 Расчет высотной характеристики**

Высотная характеристика это зависимость тяги или удельного импульса от давления в окружающей среде или высоты над уровнем моря при постоянстве остальных параметров:

* Геометрические размеры;
* Соотношение компонентов топлива;
* Давление в КС.

Данные зависимости позволяют построить высотную характеристику. Зададимся несколькими значениями давления окружающей среды и рассчитаем значения тяги и удельного импульса. Результаты расчета показаны в таблице и на графике.

Таблица 12 – Высотная характеристика.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pн, МПа | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| P,кН | 400 | 392,4 | 384,9 | 377,3 | 369,7 | | 362,2 | 354,6 | 347 | 339,4 | 331,9 |
|  | 3280 | 3221 | 3161 | 3102 | 3042 | | 2983 | 2924 | 2864 | 2805 | 2746 |
|  | | | | | | 3280 | | | | | |

# Заключение

В соответствии с полученным заданием спроектированы и рассчитаны ПГС и камера ЖРД на уровне предэскизного проектирования. Полученные параметры обеспечивают работу двигателя в соответствии с назначением и требованиями.

На основе анализа существующих схем ПГС выбрана закрытая схема питания с окислительным генераторным газом. Исходя из выбранной схемы двигателя, выбрана концентрическая схема расположения форсунок с применением двухкомпонентных струйных газожидкостных форсунок и однокомпонентных центростремительных форсунок горючего для создания пристеночного слоя. Применено проточное наружное регенеративное охлаждение с двумя поясами завес.

При разработке камеры учитывалась технологичность конструкции, условия сборки. Путем принятия различных конструктивных решений обеспечивалась надежность эксплуатации изделия.