

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет: Инженерно-физический
Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зам. зав. кафедрой
В.В. Соловьев
«15» июня 2022 г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование пневмогидравлической системы первой ступени ракеты носителя лёгкого класса с вытеснительной системой подачи компонентов топлива и разработка процесса пневмоиспытаний на техническом комплексе космодрома

Исполнитель
студент группы 817-об


(подпись, дата)

И.К. Костылев

Руководитель
канд. тех наук, доцент


(подпись, дата)

А.В. Козырь

Консультант:


(подпись, дата)

К.А. Насуленко

Консультант по БЖД:
канд. тех. наук, доцент


(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
ассистент кафедры СиТРК


(подпись, дата)

М.А. Аревкин

Благовещенск 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Факультет: Инженерно-Физический

Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой

В. В. Соловьев

«06» Мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

к выпускной квалификационной работе студента Костылева Ильи Константиновича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование пневмогидравлической системы первой ступени ракеты носителя лёгкого класса с вытеснительной системой подачи компонентов топлива и разработка процесса пневмоиспытаний на техническом комплексе космодрома

учреждена приказом от 05.04.2022 № 679-уч

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 08.06.2022г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: справочная литература.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): описание устройства.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): сборочные чертежи, примечание.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): БЖД Козырь Аркадий Валентинович, доцент, канд. тех. наук.

7. Дата выдачи задания 26.05.2022г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Аркадий Валентинович Козырь, доцент, канд. тех. наук.

Задание принял к исполнению (дата) 26.05.22 Козырь

РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 61 страница, 14 рисунков, 3 таблицы, 19 источников

ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ ЛЁГКОГО КЛАССА, ВЫТЕСНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА, ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ

В работе исследованы существующие системы вытеснительной подачи компонентов топлива к двигательной установке, так же описана их арматура.

Цель работы – разработка пневмогидравлической система подачи топлива для первой ступени ракета-носителя лёгкого класса с вытеснительной системой подачи топлива.

Задача – рассчитать основные характеристики, описать работу ПГС и арматуры баков, создать правила безопасности жизнедеятельности для работы с КРТ, рассчитать стоимость создания изделия.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения и сокращения	4
Введение	5
1 Пневмогидравлическая система	9
1.1 Расчёт основных характеристик	9
1.2 Обоснование и выбор системы подачи топлива	10
1.3 Расчёт топливных баков	11
1.4 Описание работы ПГС	12
1.5 Расчёт схемной надёжности	13
1.6 Общая характеристика газового редуктора и обоснование типа газового редуктора с рабочим телом	14
1.7 Описание принципа работы и расчётная схема регулятора	16
1.8 Расчёт отсечного клапана окислителя и горючего	17
1.9 Расчёт топливных баков и арматуры	19
1.10 Особенности сварки алюминиевых сплавов	29
1.11 Система синхронного опорожнения баков (СОБ) и система контроля уровня при заправке (СКУ)	30
1.12 Система разделения	32
1.13 Выбор двигателя	33
2 Статический прочностной расчёт	35
3 Пневмоиспытания	37
4 Безопасность жизнедеятельности при работе с КРТ	38
5 Стоимость изготовления изделия	53
Заключение	59
Литература	60

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

«Г» – горючее;

«О» – окислитель;

ДК – дренажный клапан;

ДПК – дренажно-предохранительный клапан;

ДУ – двигательная установка;

ЖРД – жидкостный ракетный двигатель;

ЖРДУ – жидкостная ракетная двигательная установка;

ЗК – заправочный клапан;

КРТ – компоненты ракетного топлива;

КС – камера сгорания;

ЛА – летательный аппарат;

ОПП – основные проектные параметры;

ПГ – полезный груз;

ПГС – пневмогидравлическая система;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПН – полезная нагрузка;

ППИ – пульт пневматический испытательный;

ПРМ – пневматическое реле мембранное;

РД – ракетный двигатель;

РН – ракета-носитель;

СУ – система управления;

ТНА – турбонасосный агрегат;

УД – управляющее давление;

ЭПК – электропневмоклапан.

ВВЕДЕНИЕ

С появлением возможности запуска различных аппаратов на орбиту нашей планеты и за её пределы появилось множество вариантов для этого, с разными характеристиками и конструкциями, материалами и весовыми категориями. Тем более в наше время, когда уже появились частные запуски и студенческие проекты, запущенные в космическое пространство для получения полезной информации. И чем дальше прогрессируют технологии, тем более компактные и малогабаритные системы запускаются. Для этого и стали появляться классификации ракетно-космических носителей, которые и дали всемирно возможность запустить исследовательское оборудование подальше от земли.

РН представляет собой несколько ступеней, скреплённых между собой, на вершине которых крепится полезная нагрузка, и в которых находятся баки с топливом, за счёт которого вся конструкция отрывается от поверхности земли. Классифицируются РН по разным показателям:

- по массе полезной нагрузки;
- по типу используемых двигателей;
- по химическому составу используемого топлива;
- по количеству ступеней;
- по расположению ступеней;
- по возможности повторного использования и присутствия человека.

По массе полезной нагрузки, выводимой на низкую опорную орбиту, делятся на РН сверхлёгкого класса (до 500 килограмм полезной нагрузки на борту), лёгкого класса (от 500 килограмм до 5 тонн полезной нагрузки на борту), среднего класса (от 5 до 20 тонн полезной нагрузки на борту), тяжёлого класса (от 20 до 100 тонн полезной нагрузки на борту), и сверхтяжёлый (свыше 100 тонн полезной нагрузки на борту).

По типу используемых двигателей (в качестве маршевых двигателей) используются ЖРД, твердотопливные ракетные двигатели и различные их комбинации на разных ступенях.

По химическому составу используемого топлива РН делятся первым делом на двигатели, в которых и происходят химические реакции. Для твердотопливных используются нитроцеллюлоза, нитроглицерин, карамельное ракетное топливо и т.д. Для ЖРД используется разделение на окислитель и горючее с последующим смешиванием в камере сгорания при помощи форсунок и давления в камере сгорания. Для окислителя используется фтор, жидкий кислород, жидкий водород и т.д. Для горючего используется нитрометан, керосин, нафтил.

По количеству ступеней обычно делится на двух- или трёхступенчатые РН, где каждая ступень всё больше разгоняет РН, чего не могла бы сделать одна ступень.

По расположению ступеней или компоновке делятся на продольную (тандемную) и параллельная (пакетная) компоновки, где в первом случае ступени идут одна за другой в одну линию, а во второй крепятся к основной параллельно. В процессе выведения полезной нагрузки нижние ступени отделяются на определённой временной отметки, которая характеризуется полностью отработанным топливом в баках, и падает на землю.

Разделяются РН также на возможность присутствия человека и системы повторного включения РН. Если внутри РН есть человек, то аппарат обязан обладать большей надёжностью и автоматической системой. Повторное же включение используется редко в определённых семействах РН.

Двигатели подпитываются за счёт пневмогидравлической системы (ПГС), которая позволяет хранить и эксплуатировать топливо. Хранится топливо в баках, специально подготавливаемых под компонент и системы ПГС.

В баках требуется поддерживать определённое давление, чтобы окислитель и горючее подать в камеру сгорания. Для этого может использоваться одна из двух систем: насосная и вытеснительная. Двигательная

установка с турбонасосным агрегатом и дополнительными насосами на окислителе и горючем обеспечивают бескавитационную подачу компонентов топлива с достаточным напором и подразделяются ещё на несколько категорий: с дожиганием окислителя и без. Напротив, двигательная установка, работающая от вытеснительной системы подачи компонентов топлива, зависит только от системы наддува и датчиков открытия закрытия проходного сечения/канала, помимо подачи компонентов, подобная система позволяет расширять и подкреплять хилые стены обечайки баков, особенно это важно, если они поставлены несущими, то есть поддерживающими продольные нагрузки на всём пути следования. Важнейшим уже в системе наддува является даже не сама система или её устройство, а компонент, которым наддува баков осуществляется. Зависит содержимое баков наддува от содержимого в топливных баках, так как зачастую используют двухкомпонентную не самовоспламеняющуюся комбинацию, то и газ наддува должен поддерживать целостность химического состава, желательно для обоих баков топлива. Для системы подачи с ТНА важно иметь закольцованную систему, по которой часть компонента с другой температурой помогает маленькой системе наддува сбрасывать компонент в двигательную установку, но для вытеснительной системы подобная подсистема невозможно за отсутствием ТНА, насосов и теплообменника, таким образом для вытеснительной системы подачи компонентов топлива существует существенный запас газа наддува. Во время подготовки ракет-носителей с космическим аппаратом (КА) к пуску наддув баков производится инертными газами от наземной системы. Наддув скоростным напором потока воздуха обычно применяют в сочетании с другими системами наддува и только на первых ступенях. Предварительный наддув баков используется для первой ступени зачастую с помощью газобаллонных систем, путём подачи газа через ПЩС (пневмошток стартовый) из баллонов, входящих в комплекс наземного оборудования.

Так же при расчётах баков учитывается объём, который заполнит рабочая часть топлива и часть, которая останется в баках, после отработки ступени.

Оставшаяся часть нужна, в первую очередь, для непопадания газа наддува в магистраль топлива и предотвращения воронок образования.

Самым важным для авиационной и космической техники является точность её изготовления, с помощью которой предотвращается поломка на протяжении нужного времени эксплуатации, что приводит к ряду правил и законов, по которым техника проходит жесточайшие испытания и правки после каждого испытания. При этом даже образцы ещё не идеального изделия зачастую стоят много и требуют щепетильного подхода к изготовлению, транспортировке, сборке, проверке, монтажу, заправке и старту. При этом стоит понимать, что топливные компоненты ракеты очень токсичны и опасны, а также взрывоопасны и могут привести к большим разрушениям территории, персонала, техники. Поэтому помимо конструктивной, экономической и прочих аспектов наиважнейшим является безопасность жизнедеятельности при работе с компонентами ракетного топлива и быстрое устранение возможных аварий.

1 ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

1.1 Расчёт основных характеристик

Исходные данные к проекту: тяга ДУ – 160 тонн, время работы ДУ – 200 секунд.

Компоненты топлива: окислитель – жидкий кислород, горючее – керосин. Соотношение компонентов - 2,726. Плотность горючего 800 кг/м³, окислителя 1142 кг/м³. Температура горения в камере сгорания образцового двигателя Т_{СТ} = 3631 К. Универсальная газовая постоянная R_{СТ} = 324 Дж/К*кг. Показатель адиабаты k = 1,1.

Теоретический удельный импульс по формуле Циолковского:

$$I_{yt} = \frac{R}{\dot{m}}, \quad (1.1)$$

где R – тяга двигателя (кг*м/с²);

\dot{m} – секундный расход топлива (кг/с);

R = 1569600 Н = 1569,6 кН;

I_{yt} = 3288,3 м/с.

$$\dot{m}_T = \frac{R}{I_{yt}} = 477,32 \text{ кг/с}. \quad (1.2)$$

Подобные параметры существуют только на бумаге, в теории, поэтому существуют специальные коэффициенты действительных расходов φ_c – коэффициент потерь удельного импульса в сопле двигателя. Значения коэффициентов φ_k и φ_c выбираем из ряда значений рекомендуемых в:

$\varphi_k = 0,96..0,99$, выбираем $\varphi_k = 0,97$, так как используются активные компоненты;

$\varphi_c = 0,96..0,98$, выбираем $\varphi_c = 0,98$, так как сопло профилируется и за счет больших габаритов возникают потери на трение.

Действительный удельный импульс будет равен

$$I_{уд} = I_{ут} * \varphi_c * \varphi_k = 3125,85 \text{ м/с.} \quad (1.3)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \dot{m}_д & \frac{R}{I_{уд}} = 502,13 \text{ кг/с.} \\ = & \end{aligned} \quad (1.4)$$

Следовательно, масса компонентов:

$$M = \dot{m}_д * t = 502,13 \frac{\text{кг}}{\text{с}} * 200 \text{ сек} = 100426 \text{ кг.} \quad (1.5)$$

Из-за специфики первой ступени вытекает одно из её преимуществ, которое позволяет рассчитывать расход как константу, потому что регулятор тяги обеспечивает постоянство расхода и тяги.

1.2 Обоснование и выбор системы подачи топлива

Лучшим средством для старта обычно является система с ТНА, она надёжнее, отработана большей численностью запусков, но она же является тяжёлой и при этом слишком придирчивой, почему и приходится с максимальной точностью изготавливать и монтировать агрегаты. Вытеснительная напротив является лёгкой и простой, при этом почти никак не уступает по характеристикам. При нагрузке в пять тонн вытеснительная система отлично подходит и для первой ступени.

При этом в вытеснительной системе подачи компонентов топлива есть ещё ряд преимуществ, одно из которых позволяет баки сделать полностью несущими, то есть воспринимающими продольные нагрузки и имеющие из

этого ещё большую простоту и удобство, не говоря уже о том, что при создании и монтаже агрегатов системы наддува и слива, в вытеснительной системе реализация становится в разы проще, из-за отсутствия ТНА, насосов и теплообменника. Остаётся лишь подобрать оптимальное значение газовой подушки и самого объёма компонентов топлива.

Остаётся только выбрать оптимальные объёмы и газ наддува, с помощью которого можно будет без самовоспламенения выдать нужное давление в баках, которое вытеснит компоненты в двигательную установку. В связке жидкого кислорода и керосина вытесняющий газ представляет азот.

Так же для баланса температуры и давления на расходе используются арматура вне бака. Можно выделить тоннельные трубы, сильфоны, зиги, шпангоуты соединяющие и распорные и многие разновидности оных.

Под каждый объём и характеристики ступени внутри неё располагаются по своему типу близкие механизмы, но по виду почти каждый раз будут отличия.

1.3 Расчет топливных баков

Важнейшим в вытеснительной системе по расчётам, помимо массы, расхода, импульса и тяги является объёмы топлива и газа, вытесняющего этот самый объём.

По времени работы двигателя определяем массу горючего и массу окислителя:

$$M_{\Gamma} = \dot{m}_{\Gamma} * \tau = 26\,694,8 \text{ кг}, \quad (1.6)$$

$$M_{ok} = \dot{m}_{ok} * \tau = 73\,731,0 \text{ кг}. \quad (1.7)$$

Зная массу обоих компонентов, можем определить объёмы их баков:

$$V_{б.г} = \frac{M_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = 31,41 \text{ м}^3, \quad (1.8)$$

$$V_{\text{б.ок}} = \frac{M_{\text{ок}}}{\rho_{\text{ок}}} = 64,62 \text{ м}^3. \quad (1.9)$$

Следующим по важности идёт уже упомянутая газовая подушка, составляющая 3 процента от общего объёма топлива в баке. Для каждого бака будет своя газовая подушка.

$$V_{\text{н.г}} = V_{\text{б.г}} * 0,03 = 0,09 \text{ м}^3, \quad (1.10)$$

$$V_{\text{н.ок}} = V_{\text{б.ок}} * 0,03 = 0,19 \text{ м}^3. \quad (1.11)$$

Давление в баках примем равным $p = 2,5$ МПа, а в ресивере 50 МПа. Тогда по закону $PV_{\text{б}}=PV_{\text{р}}$ найдем объем ресиверов:

$$2,5 * V_{\text{б.г}} = 50 * V_{\text{б.р}} \quad (1.12)$$

$$V_{\text{б.р.г.}} = 1,57 \text{ м}^3, V_{\text{б.р.ок}} = 3,23 \text{ м}^3.$$

1.4 Описание работы ПГС

Схема пневмогидравлической системы с вытеснительной системой подачи компонентов топлива лёгкого класса первой ступени представлена на рисунке 1.1.

Сам запуск двигателя начинается с открытия электроклапанов 5 и 8, которые пропускают газ наддува к редукторам 4 и 9, которые в свою очередь понижают давление газа наддува из баллонов с самим газом наддува, после чего газ с пониженным давлением поступает в баки, вытесняя компоненты топлива из баков 2 и 11, которые поступают в двигательную установку 1, где через смесительную головку распыляются в камере сгорания.

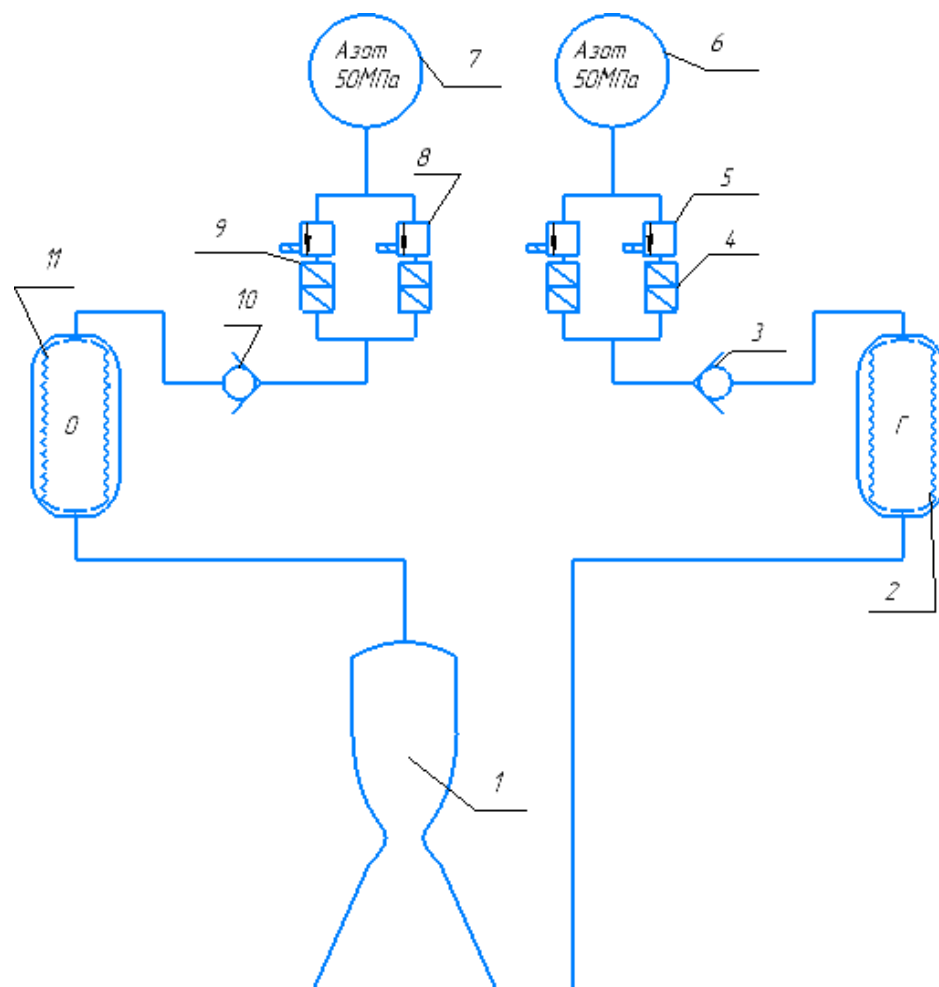


Рисунок 1.1 – Схема ПГС

1 – камера сгорания; 2, 11 – бак горючего и окислителя; 3, 10 – обратные клапаны; 4, 9 – система редукторов; 5, 8 – электроклапаны; 7, 6 – баллоны с сжатым азотом.

При подобном расположении агрегатов, система лёгкая в меру надёжная. Позволяет выводить компоненты под нужным давлением. Клапаны и редукторы собраны параллельно для большей надёжности.

1.5 Расчет схемной надёжности

Составляем схему основного соединения элементов ДУ. В каждом прямоугольнике этой схемы указано число однотипных элементов с интенсивностью отказов λ_i . Считая, что распределение время исправной работы подчинено экспоненциальному закону, определяют вероятность исправной работы элементов и ДУ в целом по формуле.

Практически для любых применений ЖРД можно считать, что максимальное время работы не будет превышать 10 часов. Для времени работы двигателя $\tau=1 \dots 10$ часов надежность ЖРД.

Для того чтобы рассчитать схемную надежность необходимо учесть, что редукторы и пускоотсечные клапаны дублируются. Надежность системы редукторов:

$$P_n = 1 - (1 - P)^n = 1 - (1 - 0,999952)^2 = 0,999999, \quad (1.13)$$

где n - количество элементов.

Надежность системы пускоотсечных клапанов находится в два этапа, так как они расположены как параллельно, так и последовательно

Последовательная надежность

$$P_{\text{посл}} = P_1 * P_2 = 0,99974. \quad (1.14)$$

Параллельная надежность

$$P_{\text{пара}} = 1 - (1 - P)^n = 1 - (1 - 0,99974)^2 = 0,999999. \quad (1.15)$$

Таким образом, можем рассчитать схемную надежность двигательной установки, перемножая надежности всех ее элементов

$$P_{\text{ду}} = 0,999996 * 0,999525 * 0,999745 * 0,999999 * 0,99997 \times \\ \times 0,999781 * 0,999999 * 0,999922 = 0,99915. \quad (1.16)$$

1.6 Общая характеристика газового редуктора и обоснование типа газового редуктора с рабочим телом

Важнейшая часть системы наддува на любом типе или виде пневмогидравлических систем – газовый редуктор, который способствует

понижению давления газа наддува, для корректной работы пневмогидравлической и собственной системы. Подобное устройство монтируется по трубопроводу между баками газа наддува и компонентами топлива, снижая поступающее давление за счёт своего строения и зачастую автоматически заранее выставляются, и не изменяют (в этом случае) отношение давления до и после себя. В своей сути газовые редукторы рассеивают кинетическую энергию газа наддува в результате торможения, ускорения и переменчивости сечений, из-за чего давление в итоге снижается.

Газовый редуктор для подобной системы пневмогидравлической вытеснительной подачи компонентов топлива не отличается кардинально от подобных таких же, при этом отличается от остальных систем по классу нагрузки тем, что давление, вытесняющее компоненты, будет ниже, так как тяга достигается просто и без особых перегрузок. Следовательно, Точность на входе имея небольшие помехи составляет не больше 10 процентов, а давление в баках примерно 1 МПа, когда в баллонах с газом наддува давление выбрано как 50 МПа.

Работа подобного газового редуктора проста, но точна и отработана должна быть без лишних проблем. Есть седло в которое запрессован затворный элемент, который не даёт газу наддува спокойно перетекать в полости выдачи газа наддува в топливные баки. При достижении определённого давления на запорный элемент, представляющий из себя не прямоугольной формы, а скорее клиновидной формы металлический брусок, который держится с другой стороны жёсткой пружиной. По итогу давление вытесняет клиновидный запорный элемент, потому что действует на одну из граней, толкая его вверх. Открывается малое сечение, которое создаёт своеобразную трубку лавая, ускоряющая газ наддува ещё сильнее, увеличивая тем самым давление, после чего ускоренный газ встречает преграду, которая убивает кинетически максимальную энергию, снижая скорость и давление под минимальные параметры.

Газовые редукторы, как любые механизмы и агрегаты не ушли от судьбы классификаций и видов, используемых каждый под свою ситуацию в свою пару или систему. Газовые редукторы могут быть с обратным и прямым ходом. И как понятно из названия этой классификации – редукторы могут дросселировать по пути открытия затворного элемента, в таком случае это будет редуктор прямого хода.

Помимо хода и приложения давления к плоскости дросселирования, существуют и иные параметры, по которым могут отличаться и подразделяться газовые редукторы: тип и давление рабочего газа, температурный режим при работе, масса-габаритные характеристики, скорость открытия, тип фильтрующих устройств, местные потери напора, особенности назначения газового редуктора и т.д.

В случае этой работы выбрана схема газового редуктора обратного хода с простой формы, с контролированием жёсткости открывания затворного элемента с помощью винта и перфорированными мембранами, которые придают большей жёсткости и не дают смять чувствительный толкатель.

Так же важен третий выход, по которому не входит и не выходит газ наддува или что-либо ещё, так как польза совершенно в другом, а именно в разнице давлений между входом и дополнительным отверстием, за счёт которого уменьшается давление в редукторе.

1.7 Описание принципа работы и расчетная схема регулятора

Расчётная схема газового редуктора давления прямого хода затвора приведена на рисунке 1.2.

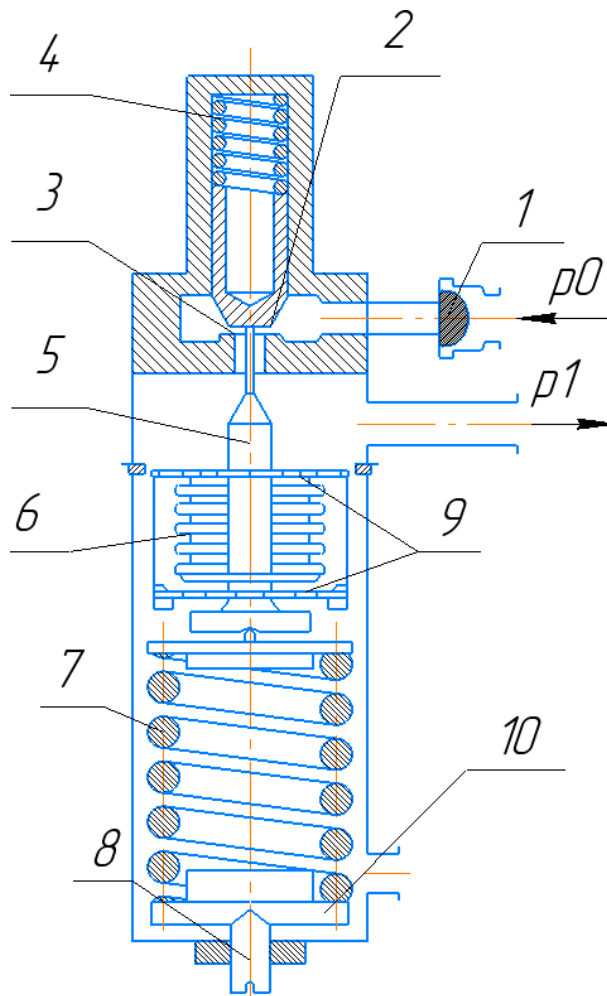


Рисунок 1.2 – Схема газового редуктора давления:

- 1 – входной фильтр; 2- затворный элемент; 3- буртик седла; 4 – пружина;
 5 – толкатель чувствительного элемента редуктора; 6 – сильфон-разделитель; 7
 – пружина чувствительного элемента редуктора; 8 – винт настройки; 9 –
 перфорированные мембраны; 10 – опорная тарель пружины.

1.8 Расчет отсечного клапана окислителя и горючего

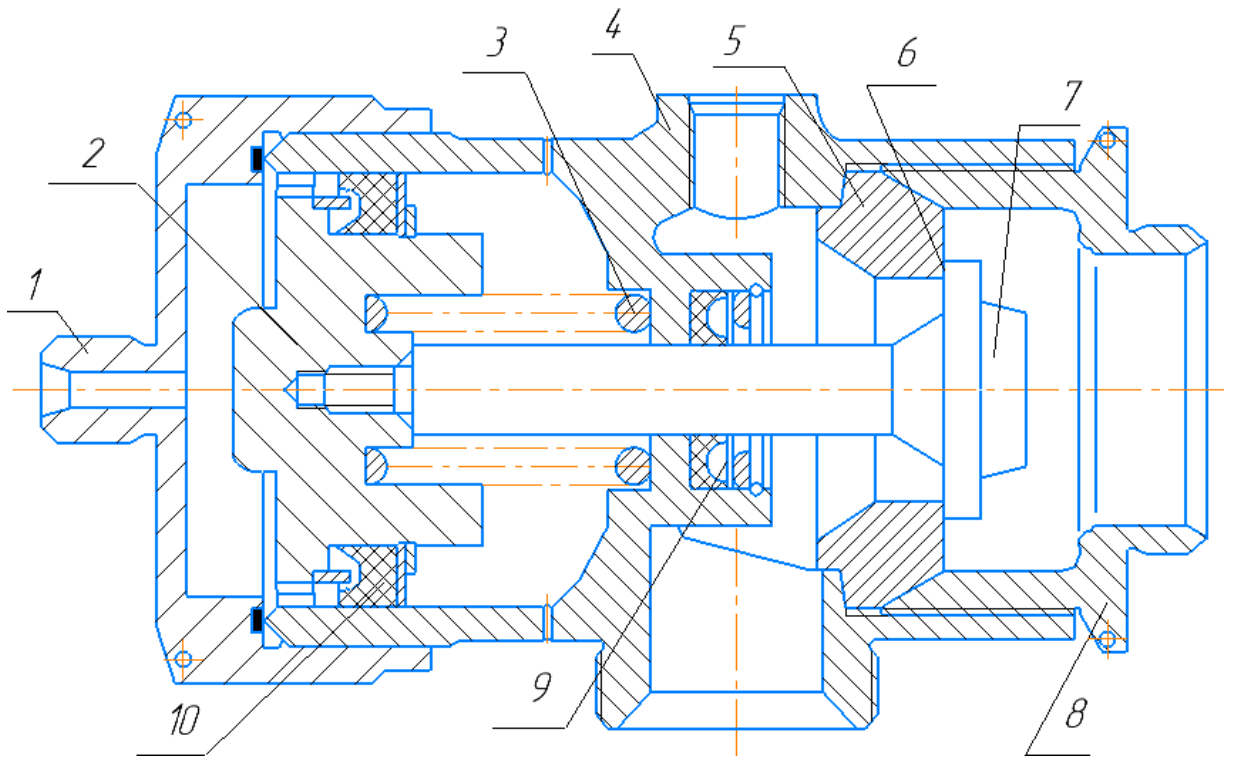


Рисунок 1.3 – Схема отсечного пневмоклапана

1 – штуцер; 2 – поршень; 3 – пружина; 4 – корпус; 5 – седло; 6 – уплотняющая прокладка; 7 – шток; 8 – крепление; 9,10 – уплотнение.

Управляющее давление через штуцер 1 подаётся на поршень 2, который сжимает пружину 3, от чего сдавливающее шток 7 давление компонента ослабляется и перестаёт прижимать шток. Седло 5 с прокладкой 6 запрессованные в корпус 4 пропускают компонент по отдалению штока. Прокладки 10 и 9 уплотняют поршень и штока для препятствия утечки газа или компонента. При этом если газ наддува ослабит давление через штуцер, то штуцер придёт в исходное положение, перекрывая поступление компонента.

Примерная скорость движения по магистрали выбрана равной 10 м/с, в таком случае площадь, с помощью которой потом можно будет узнать диаметр, будет равна:

$$F_{\text{отв}} = \frac{m_{\text{ок}}}{W_{\text{ок}} * \rho_{\text{ок}}} = 32 * 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (1.17)$$

Диаметр отверстия

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,032}{\pi}} = 0,06 \text{ м.} \quad (1.18)$$

Для горючего диаметр будет равен 0,04 м.

1.9 Расчёт топливных баков и арматуры

Выбор пал на цилиндрические баки диаметром 3 метра, похожий диаметр используется на первых ступенях РН лёгкого класса «Рокот» и «Стрела». Также баки будут несущего типа. Таким образом можно будет сэкономить на пространстве вне баков. Продольные нагрузки будут приходиться на опорные шпангоуты уголкового типа. Обшивка будет свариваться с днищами распорным шпангоутом, для этого в местах сварки следует сделать утолщения на пару миллиметров. Днищами выступает половина эллипсоида.

Компоновка будет следующей: бак окислителя (жидкий кислород) будет сверху, а бак горючего (керосин) будет ниже бака окислителя. Таким образом можно будет выстроить следующую систему: в верхнем днище бака окислителя сделать сопло системы ГРС, с помощью которого осуществляется отстрел нижней ступени от последующей, для предотвращения их столкновения.

В арматуру баков входит заборное устройство баков, система синхронного опорожнения баков, система контроля уровня при заправке баков, трубопроводы, тоннельные трубы, сиффоны и гибкие трубопроводы, соединения трубопроводов, устройства в баках для гашения колебаний топлива, крепление элементов аппаратуры, люки, штуцера, фланцы баков.

Так как бак будет цилиндрической формы с эллипсоидными днищами, то расчёт его формы и объёма разбивается на три части.

Начнём с геометрической формы верхнего днища бака окислителя. В нём должен быть смонтирован люк для заправки и штуцер для подсоединения системы наддува.

Крышка для баков обычно выбирается в пределах от 400 до 500 мм. Выберем 400. Люк в отличие от обшивки бака будет сделан не из сплава алюминия, а из стали, поэтому в опасных для нагрузок местах будет утолщение и переход со сплава алюминия на сталь с помощью контактной сварки оплавлением (с последующим выдавливанием хрупких составляющих из стыка). Люк состоит из нержавеющей стали.

Люк оснащён специальной перемычкой, которая наваривается между люком и переходником, для дополнительной герметизации. Если люк подлежит ремонту, то её спиливают, ремонтируют бак или люк, после чего внутреннюю часть этой перемычки можно ещё раз приваривать для дополнительной герметизации.

Для большей герметизации и трения в промежутке переходника и люка есть резиновая вставка.

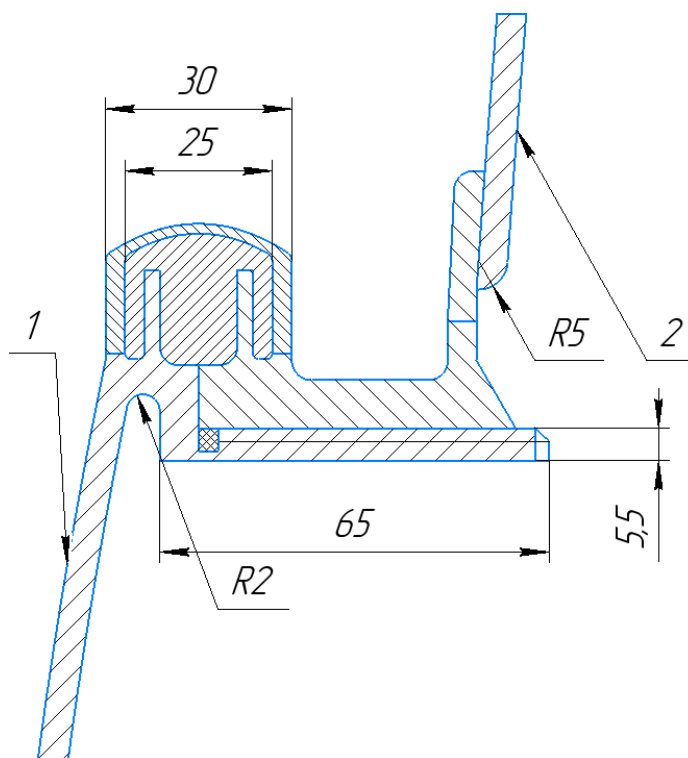


Рисунок 1.4 – Люк с металлической вставкой (переходником) на днище
1 – крышка люка; 2 – днище.

Диаметр штуцера выразим из формулы:

$$d = \sqrt{\frac{L}{0,785 * w * \rho}} = 0,00825 \text{ м.} \quad (1.19)$$

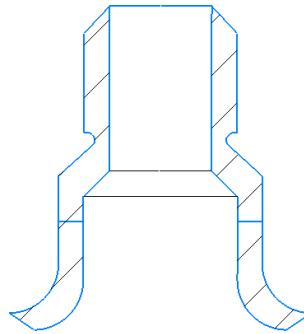


Рисунок 1.5 – Точечный свариваемый штуцер

Так как диаметр меньше 15 мм, то штуцер делают точечным и сваривают в отверстие в баке.

Из-за выбора диаметра верхнего днища как 2,5 метра и знания объёма. Можно узнать какой объём придётся на днища и от этого уже узнать длину цилиндрической части бака.

Из формулы объёма эллипсоида узнаём:

$$V_{\text{д}} = 4/3 * \pi * a * b * c, \quad (1.20)$$

где $a = b = 1,25$ метра. Оставшуюся переменную берём равной 0,5 метров. Тем самым объём, занимаемый днищами, будет равен $V = 13,083 \text{ м}^3$.

Таким образом, чтобы узнать длину цилиндрической части надо узнать объём, приходящийся на эту часть бака:

$$V_o = (V_{\text{б.ок}} + V_{\text{н.ок}}) - V_{\text{д}} = 61,53917 \text{ м}^3. \quad (1.21)$$

Формула расчёта объёма цилиндра:

$$V_o = \pi * h * r^2, \quad (1.22)$$

где h – длина цилиндрической части бака; r – радиус бака равный 1,25 метра.

Отсюда:

$$h = \frac{V_0}{\pi * r * r} = 12,55 \text{ м.} \quad (1.23)$$

Материалом для всего бака служит АМг6Н.

На стыках между обшивкой и днищами будет распорный шпангоут следующей конструкции:

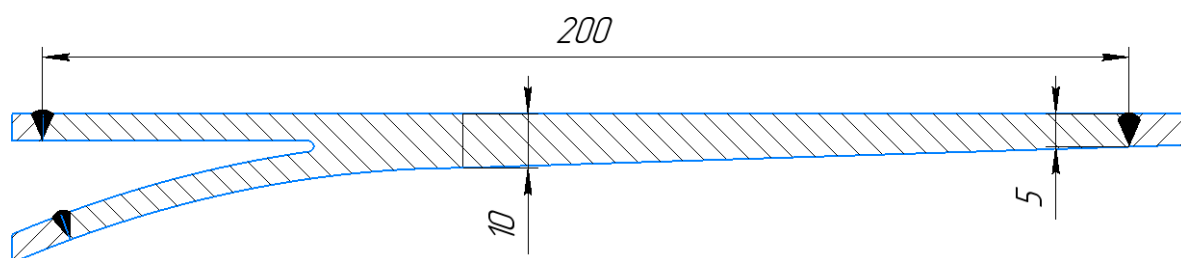


Рисунок 1.6 – Распорный шпангоут

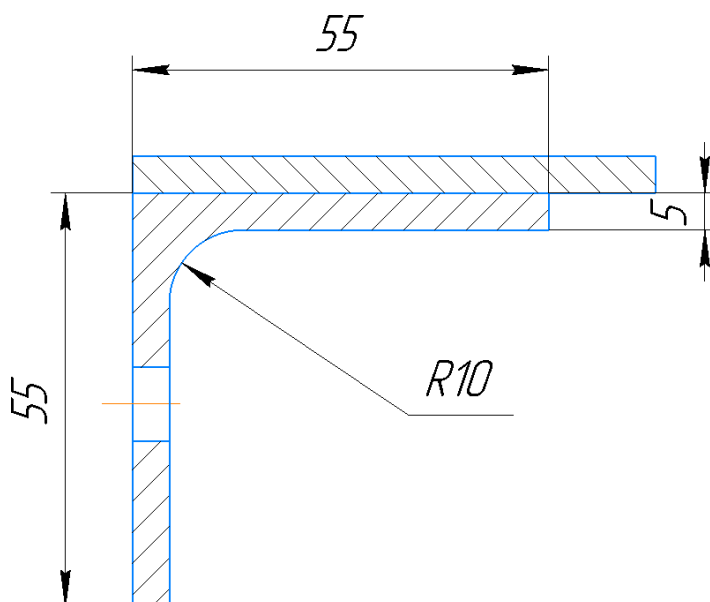


Рисунок 1.7 – Опорный шпангоут, соединённый с обечайкой сварным соединением

Нижнее же днище бака окислителя продолжается тоннельной трубой, внутри которой прокладывается трубопровод окислителя до ракетного

двигателя. Тоннельная труба будет проходить насквозь бака горючего, который находится ниже бака окислителя.

Радиус трубы находим из соотношения радиуса бака и коэффициента:

$$r_{\text{тр}} = 17,92 * r_{\text{б}} = 70 \text{ мм.} \quad (1.24)$$

С помощью этой трубы появляется возможность полностью предотвратить смешивание компонентов топлива в баках из-за микроскопических течей компонентов. Тоннельная труба подвержена действию избыточного внешнего давления, равного давлению наддува в нижнем баке. Во избежание потери устойчивости стенок тоннельной трубы, последняя подкрепляется поперечными кольцевыми элементами (зигами или шпангоутами). Для удаления просочившихся компонентов в полость между трубопроводом и тоннельной трубой может проводиться принудительная вентиляция полости (особенно в случае длительного хранения ракеты в заправленном состоянии).

Для большей устойчивости стенок тоннельной трубы используем зиги, которые выполняются прокаткой на специальных зигмашинах. Величина выпуклости не более 1,1 – 1,2 внутреннего диаметра зига.

$$r_{\text{з}} = r_{\text{тр}} * 1,18 = 82 \text{ мм.} \quad (1.25)$$

Толщина зига равна $l_{\text{з}} = 100$ миллиметрам.

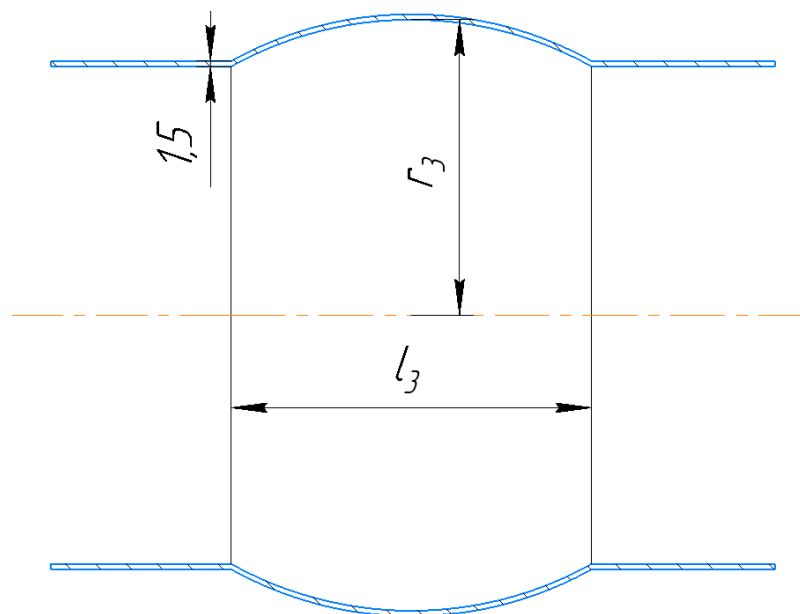


Рисунок 1.8 – Зига

Каждый расположен друг от друга на расстоянии в 500 миллиметров в количестве 14 штук.

Так же перед входом в тоннельную трубу трубопровод окислителя оснащён сильфоном, который позволяет избежать разрыва трубопровода из-за нагрузок.

В процессе вытеснения компонентов ракетного топлива могут меняться некоторые постоянные хоть и не значительно для первой ступени, но всё же важно иметь своеобразный буфер для возможности малых изменений, так как технологии ракета строительства – тонкая грань выработки ресурсов.

Во избежание проблемных колебаний температур или колебаний трубопровода используются сильфоны. Из себя они представляют тонкостенную конструкцию, подвластно которой изгибаться и компенсировать температурные колебания за счёт своей конструкции и гофром, вареных друг с другом в определённой протяжённости.

Но сильфон состоит не только из волнистых составных частей, вторая часть сильфона является вставка гладкого направляющего напор металла, с помощью которого потери напора в местности сильфона не существенны.

Сильфоны так же подразделяются по месту их монтирования и по разнице из упругости и жёсткости. Так как зачастую сильфон используют для вставок под углом, если сильфон между баковый, то упругость нужна больше жёсткости, но если сильфон стоит уже перед двигательной установкой, то упругость большая ему не к чему.

В расчёте самого сильфона важным будет выбрать бесшовный или продольно-шовный он будет, а, так же отношение наружного диаметра к диаметру проходного сечения, к которому подключат сильфон (соотношение должно выбираться в пределах от 1,3 до 1,5), так же важным считаются шаг гофров и ширина выступа.

$d_B - 130$ миллиметров.

$$d_H = d_B * (1,3 \dots 1,5) = 185 \text{ мм.} \quad (1.26)$$

При $d_H \geq 100$ миллиметров a и t будут выражаться из следующих соотношений:

$$a \leq d * 0,056; \quad (1.27)$$

$$t - a \leq d * 0,022. \quad (1.28)$$

Следовательно, $a = 7,45$ мм; $t = 14,9$ мм.

Полёт обычно связан с большими колебаниями, во избежание вреда от которых трубопроводы используют гибкими, по крайней мере часть из них. Нужно это для гашения вредоносных нагрузок и используются подобные трубопроводы с баками и баллонами наддува, укладываясь в любые изгибы, если того требует конструкция.

При этом гибкие трубопроводы являются составными, не монотонными в плане материалов, из которых состоят. За счёт этого можно добиться жёсткости и упругости, мягкости и твёрдости, в зависимости от вида и типа материалов.

За частую используют металлическую оплётку и прорезиненную внешнюю часть, для трения и, следовательно, крепкого присоединения. Так же, как и с сильфонами используют не прямые, а волнистые трубопроводы, для экономии месторасположения, потому что так сгибы будет легче укладывать с системы наддува и выдачи компонентов.

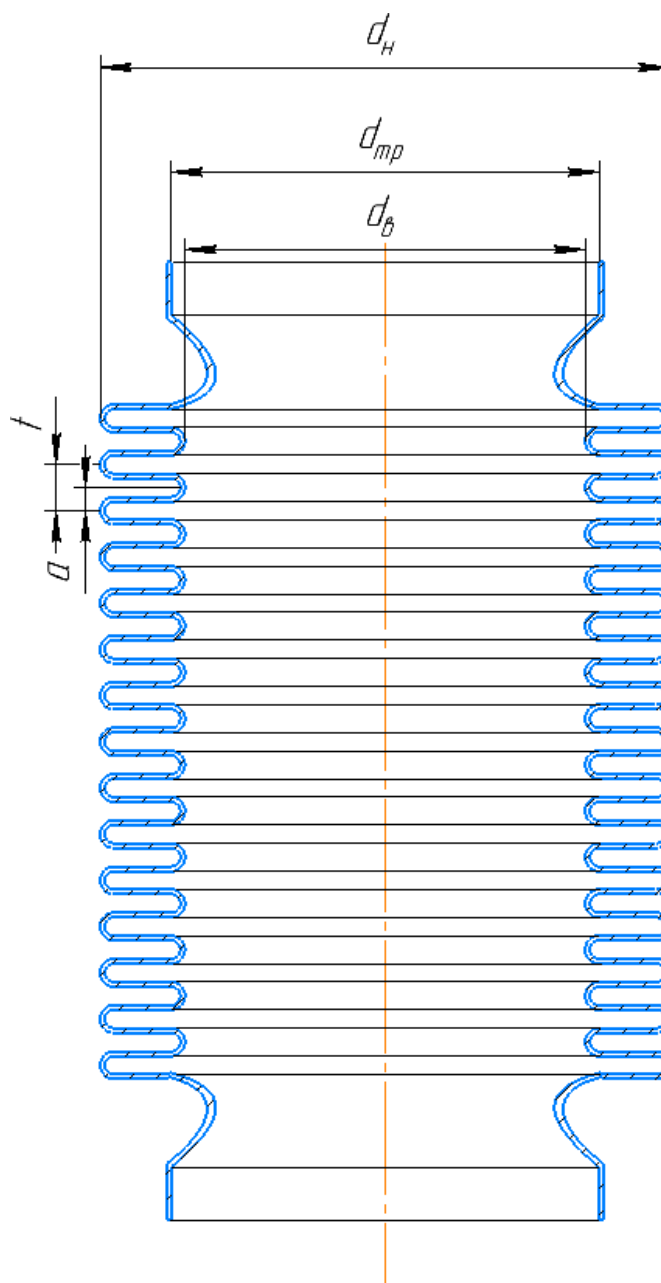


Рисунок 1.9 – Сильфон

Соединения газопроводов делятся на три группы:

- неразъёмные слияния;

- разъёмные соединения;
- быстроразъёмные слияния.

При этом всем группы сплочены единым предписанием обеспечения герметизации и прочности газопроводов, входящих в систему.

К неразъёмные относятся соединения трубопроводов, выполняемые электросваркой или пайкой, как правило, по торцами соединяемых участков газопроводов.

Такие соединения используют в случаях, когда не нуждается индивидуальная шлифовка участков газопровода и их замена.

К количеству наиболее распространённых разъёмных слияний относятся фланцевые, которые может выполняться как с приварными, так и со несвободными фланцами.

Фланцевые слияния применяются при отсутствии угловых искривлений соединяемых трубопроводов.

Если в процессе демонтажа оси соединяемых трубопроводов будут расположены под уголочком друг к дружке, то в этом случае применяют разъёмные соединения, в которых взаимопроникновение производится между конусной и цилиндрической поверхностями или между цилиндрическими и другими профилированными плоскостями.

К быстроразъёмным относится часть соединений, приспособленных для разъединения или слияния трубопроводов ракета носителя и наземного электрооборудования или трубопроводов дельных ступеней многоуровневой ракеты. Они являются само контролирующими и может быть отнесены к единой из двух подгрупп:

- соединения с первичным фиксатором;
- слияния без вторичного зажима;

Первая подгруппа используется при расстыковке с наземным электрооборудованием ракетного газопровода и характеризуется тем, что для разобщения или соединения газопровода необходимо предварительно вложить

осевое или кольцевое усилие к первичному фиксатору, отодвинуть его в сторону, а потом развести газопроводы.

Вторая подгруппа должна соединять или разобщать только при дополнении единой продольной нагрузке.

Такие слияния используются при расстыковке газопроводов дельных ступенек многоуровневой ракеты. Как же разъёмные слияния исполняют с клапанными маховиками, герметизирующими концы магистралей после стыковки.

Вход из туннельной арматуры предваряется многократным подсоединением сильфона к приходному газопроводу бачка растворителя.

При свершении верхней половины части трубопровода дверного отверстия трубопровода, в трубопровод начинает распределяться фазовая примесь компонента топлива и газа наддува, что может привести к срыву выдачи элемента. Если не принять решения по снижению давления газа наддува, в баке остается существенное количество элемента в виде не заборчика, значительно уменьшающее показатель наполнения ракеты топливом.

В функции приспособления выдвигается часть воронки гасителя. Для недопущения куртки компонента на тарелях устанавливаются агрегаты против вращения, воображающие собой кольцевые рёбра поперечником больше поперечник тарели в 1,7 раз и диаметром 50-200 сантиметров.

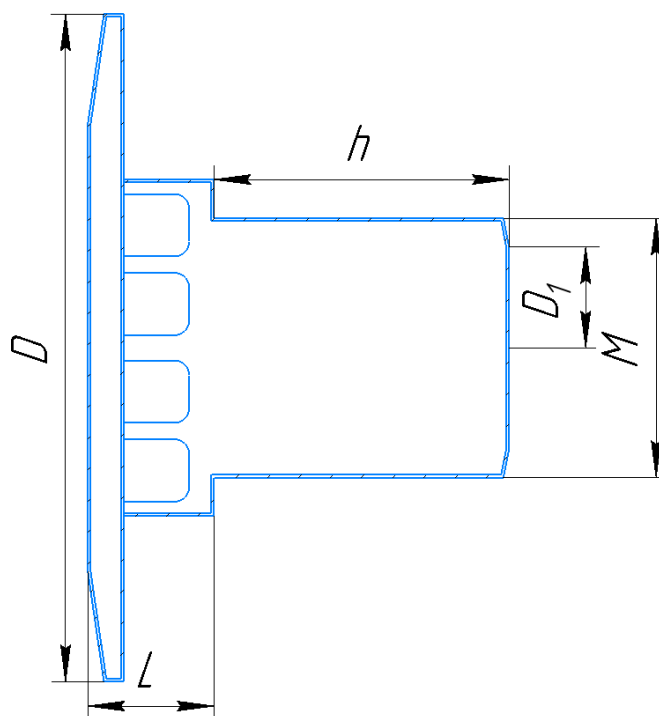


Рисунок 1.10 – Воронко гаситель

$D = 325$ мм;

$L = 60$ мм;

$h = 145$ мм;

$D_1 = 50$ мм;

$M = 125$ мм.

1.10 Особенности сварки сплавов алюминия.

АМг6Н – алюминиевый деформируемый сплав с хорошей коррозионной стойкостью и пластичностью. «А» обозначает алюминий, «Мг» - магний, «Н» означает обработку металла давлением для повышения прочностных характеристик (нагартованный), а цифра указывает на процентное содержание основного легирующего элемента.

Таблица 1.1 – Процентное соотношение состава сплава алюминия

Элемент	Процентное соотношение, %
Алюминий	91,1-93,68
Магний	5,8-6,8
Железо	до 0,4

Кремний	до 0,4
Марганец	0,5-0,8
Медь	до 0,1
Титан	до 0,1
Цинк	до 0,2
Бериллий	до 0,005

Физические свойства АмгбН при 20 градусах Цельсия: модуль упругости $0,71 \cdot 10^5$ МПа, плотность 2640 кг/м^3 , удельное сопротивление $67,3 \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, твёрдость до 65 МПа.

Для сварки АмгбН применяется аргонодуговая сварка с присадочной проволокой СвАМгб. Скорость сварки 18 м/ч, поперечная усадка = -0,52, с примечанием о не проваре в 70%.

Сама сварка проводится с разрушением оксидной плёнки (обезжиривание и очистка) на его поверхности с использованием инертных газов в виде защиты. Подогрев происходит перед сваркой до 250-300 градусов Цельсия для средней толщины и до 400 градусов Цельсия для толщины выше среднего.

1.11 Система синхронного опорожнения баков (СОБ) и система контроля уровня при заправке (СКУ).

Компоненты ракетного топлива, даже не криогенные, являются сложными в освоении и применении, из чего выходят проблемы с расширением объёма от перемен в температуре, которые вызваны долгими остановками на стартовой позиции или некачественной работе с герметизацией. Для подобных случаев есть специальные внешние баковые системы, используемые наземными технологиями, но вот при самом полёте и пуске уследить и тем более исправить температурные особенности или слишком быстрое открытие затворок, из-за которых напор будет слишком быстр или, наоборот, если напор будет недостаточен. Для подобных проблем вне стартовой позиции существуют системы синхронного опорожнения баков и система контроля уровня при

заправке, так как и газовую подушку нужно рассчитывать, держа в уме изменения температур и колебания при любом действии с ракетой носителем.

Обычно с изменением постоянства топливных компонентов справлялись за счёт дополнительного объёма компонента, но при использовании СОБ можно повысить массу полезной нагрузки за счёт снижения гарантийного объёма топлива и увеличить дальность полёта.

Работа этих самых СОБ и СКУ заключается в снятии с датчиков уровня зеркала топлива и давления на стенки и арматуру и подача этих переменчивых сигналов на интегральную схему, в которой записан алгоритм исправления или синхронности действий. Нужно это для того, чтобы объём в баках оказался равно такой, какой нужен и опорожнение баков происходило с заранее просчитанной цифрой отношения, подходящей именно для той или иной пары компонентов топлива.

Сам рабочий орган, изменяющий поведение компонентов, называется дросселем. Датчики выдают на усилитель, от него на преобразователь и вычислительную схему, после чего в схему вступает дросселирующее устройство, которое с помощью механического вмешательства позволяет разорвать отрыв в опорожнении бакового компонента или заправки оного.

Так же зеркало компонентов во время старта, транспортировки и полёта будет постоянно хаотично колебаться, из чего следует, что точными данными сложно будет оперировать при расчёте уровня СОБ или СКУ, но на такой случай существуют специальные усредняющие алгоритмы или приборы, с помощью которых хоть и останутся малейшие отклонения и погрешности, но они будут сведены к минимуму.

При установке на место датчиков и измерителей уровня пользуются тарировкой.

Крепление систем обычно является дополнительной нагрузкой с помощью отверстий в шпангоутах, но при этом большинство внешних для бака систем корнем закреплены на одном из днищ.

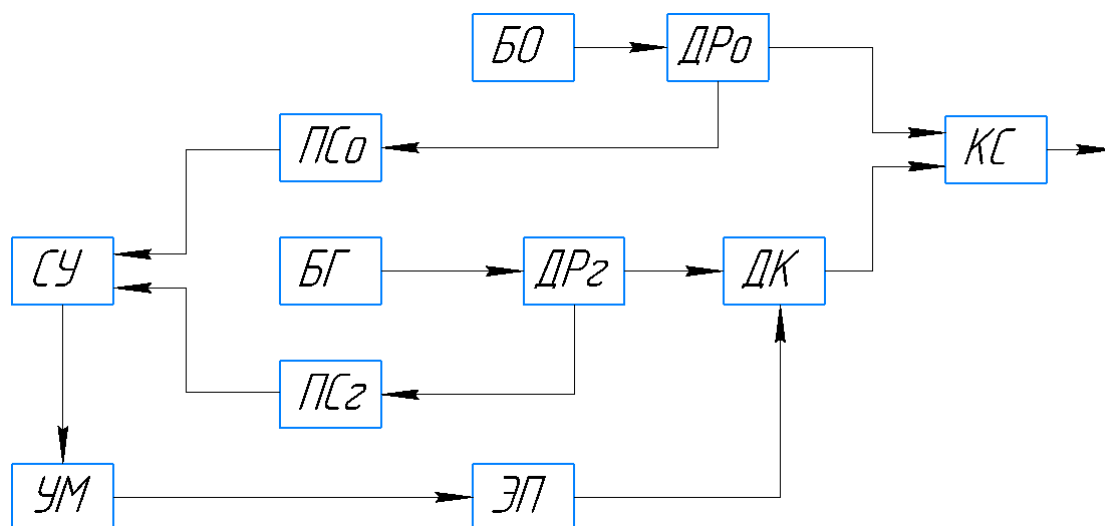


Рисунок 1.11 – Функциональная схема системы регулирования синхронного опорожнения баков ЖРД. КС – камера сгорания; ДРО – датчик расхода окислителя; ДРГ – датчик расхода горючего; БО – бак окислителя; БГ – бак горючего; ДК – дроссельный клапан; ЭП – электропривод; УМ – усилитель мощности; ПСО – преобразователь сигнала с датчика расхода окислителя; ПСГ – преобразователь сигнала с датчика расхода горючего; СУ – счётно-решающее устройство

1.12 Система разделения

При разделении ступеней нагружаются и отделяемая часть и часть, которая продолжает выводить полезную нагрузку. Следует принимать во внимание, что максимальное значение тяги двигательной установки отделяемой ступени в момент выключения будет больше в несколько раз, чем тяга двигательной установки следующей за ней ступени (в 9 раз), следовательно если ещё учесть малый вес отделяемой части, получится большое ускорение, с которым отделяемая ступень может догнать последующую.

Система разделения состоит из силовой связи между частями и разделением частей с помощью устройств, приборов, механизмов.

Силовая связь между частями не даёт разделиться раньше времени, а разделяющее устройство даёт возможность потерять эту связь.

Чаще всего для подобных изысканий используют разрывные болты в опорных шпангоутах, которые представляют незамысловатую конструкцию в виде болта (соединяющего шпангоут и шпангоут или шпангоут и ферму) и пиротехническую смесь внутри болтового соединения, которая детонирует от подачи сигнала на разделение.

Смеси бывают совершенно разного состава с разными свойствами и под разные ситуации. Некоторые плохо детонируют в вакууме, некоторые детонируют с задержкой. Выбран был гексанитростильбен (гексанитродифенилэтилен JD-X), как самый стресс-устойчивый, долго хранящийся, надёжный, прочный, детонирующий без задержки и уже прошедший эксплуатацию даже на Луне.

При подаче электрического тока на детонатор болта последует взрыв, разрушающий слабое сечение болтового соединения, разъединяя ступени.

Для предотвращения больших перегрузок, которые могут повредить ступеням, разрывные болты устанавливаются только в точках отделения, где нагрузка на болт не превышает 20 тс. В точках с большей нагрузкой (в пределах 100 тс) используют пневматические замки.

Само разделение подразделяется на расталкивающее, тормозящее и комбинированное. Для подобной ПГС лучше всего подойдёт тормозная, в которой можно будет задействовать накопленный газ наддува бака окислителя для своевременного испускания газа через верхнее днище для тормозного момента.

Такое разделение будет называться «холодным», в том случае, если после отстрела газа наддува следующая ступень включится через какое-то время. Если же включение было бы сразу после разделения ступеней, то такое разделение было бы «горячим» и для реализации которого пришлось бы ставить теплозащиту верхнего днища нижней ступени.

1.13. Выбор двигателя

Вытеснительная система подачи компонентов топлива применяется повсеместно на верхних ступенях РН и самих КА, так как она легче и лучше

проявляет себя именно в вакууме. Но в данной работе подобная ПГС пригодна в том случае, если тяги, рассчитанной на вакуум, будет достаточно для использования со стартовой позиции.

Возьмём уже существующий ЖРД, подходящий по габаритам и удельному импульсу. Подобный представитель в Советском Союзе и России был реализован, из-за специфики использования. Подходящий экземпляр с 1959 года есть.

Таблица 1.2 – ЖРД РД-0105, созданный конструкторским бюро хим. автоматики

Наименование показателя	Значение показателя
Удельный импульс	3170 м/с
Тяга	196,5 кН
Высота	1555 мм
Масса	121 кг
Диаметр	700 мм

Данный ЖРД отлично подходит по всем параметрам. Диаметр не превышает диаметр несущих баков (2,5 метра), при чём для достаточного удельного импульса нужно восемь двигательных установок.

Вывод. В данной главе были выбраны и рассчитаны основные характеристики пневмогидравлической системы с учётом её классификации и массы, которую она может вывести с поверхности земли. Так же были рассмотрены и выбраны габариты, форма и вид баков с арматурой и двигателем.

2 СТАТИЧЕСКИЙ ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ

В данном пункте представлены обработанные в программе Solid Works Simulation нагрузки. В виду маломощности электронной вычислительной машины были предприняты меры по уменьшению габаритов и нагрузок в 10 раз, так же вычисления были произведены без включения скруглений и эллипсоидности днищ.

Для расчёта был выбран именно бак окислителя, так как конфигурация у баков практически идентична, но нагрузки больше на баке окислителя. Нагрузки были распределены следующим образом: давление в 2,5 МПа изнутри бака на верхнее днище; сила в 49 тонн на опорные шпангоуты, имитируя вес всего РН (последующих ступеней); сила в 73 тонны приложена изнутри бака к нижнему днищу, имитируя вес компонента топлива (жидкого кислорода). Коэффициент запаса прочности без учёта упрощений 1,2.

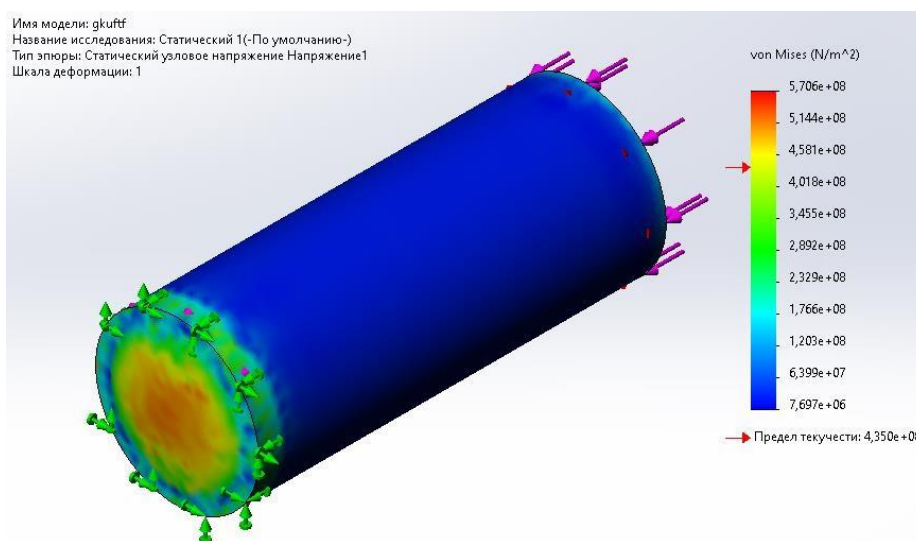


Рисунок 2.1 – Напряжения

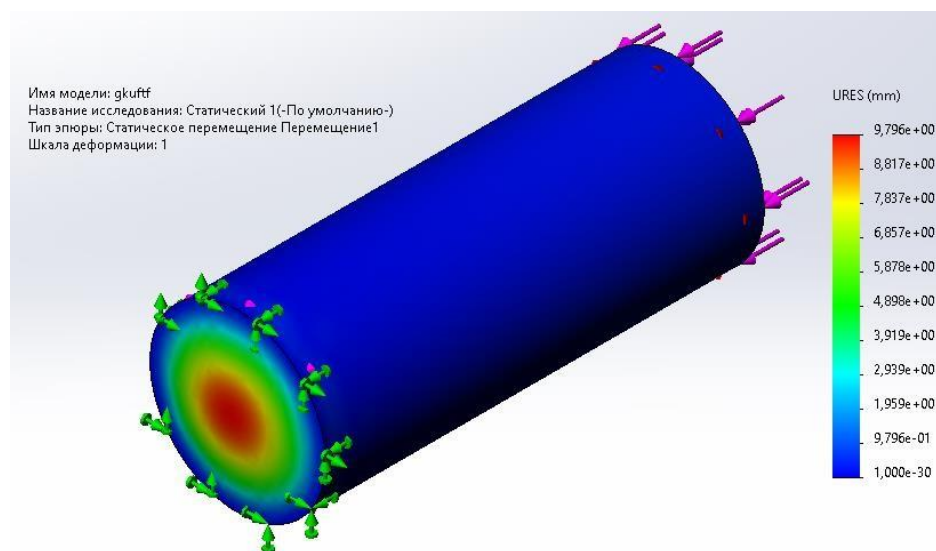


Рисунок 2.2 – Перемещения

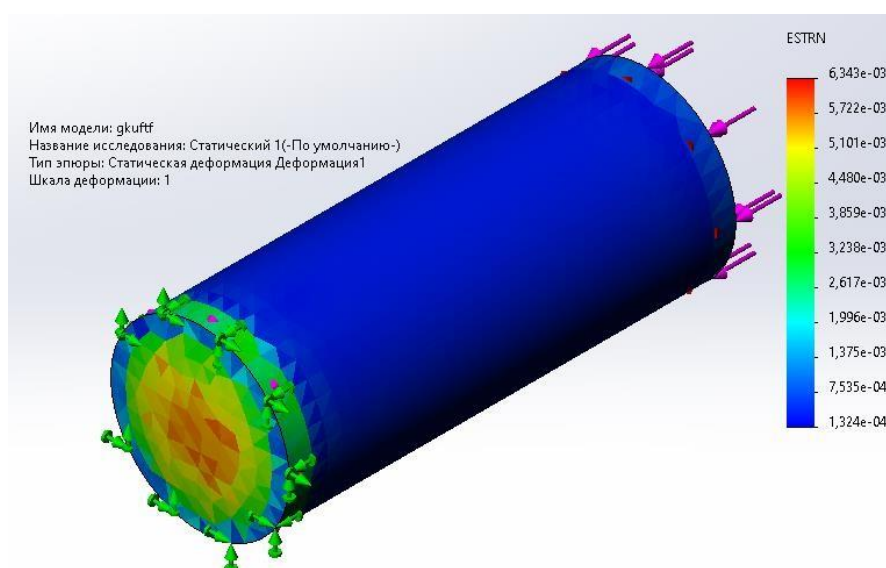


Рисунок 2.3 – Деформации

Вывод. В данной главе даны наглядные иллюстрации деформаций, перемещений и напряжений на самом нагруженном и баке из двух – баке окислителя. Из визуального ряда видно, то статические нагрузки бак выдерживает и имеет коэффициент запаса прочности равный 1,2, что как раз входит в диапазон коэффициента запаса прочности для авиационной и космической техники (от 1 до 1,5).

3 ПНЕВМОИСПЫТАНИЯ

Пневмоиспытания проводятся для убедительного подтверждения герметизации и выдержки нужного внутреннего давления.

В сетевом графике пневмоиспытаний прописан алгоритм проведения операции, время на каждое действие и переходы от одного к другому.

Первым делом производится внешний осмотр изделия на наличие отверстий, потёртости и т.д. После чего отделяются части, не используемые в испытаниях. Устанавливается оборудование для проведения испытаний, которые составляют определённую схему проведения пневмоиспытаний. Фиксируется состояние приборов и выдаётся воздух высокого давления до полного заполнения баков и систем. После чего производится выдача рабочего управления давления на рабочие части. В процессе выдачи рабочего давления производится обмыливание стыков для визуального и звукового наглядного заключения о герметизации изделия. После чего производится наддув баков пневмогидравлической системы и обмыливание стыков уже близ баков. Следом производится наддув камеры сгорания, которую так же в процессе обмыливают и осматривают. После отработки стенда пневмоиспытаний и аккуратного осмотра производят сброс давления из систем и осматривают изделие на наличие свежих искривлений.

Вывод. В данной был дан краткий экскурс в процесс пневмоиспытаний, отсылающий в графическую часть работы, в которой дан более наглядный и практичный визуальный порядок выполнения процесса вместе со стендом, на котором возможна подобная работа.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С КРТ

Компонент ракетного топлива после его выдачи с завода-изготовителя может испытывать следующие перемещения:

- транспортировка в подвижных ёмкостях (обычно железнодорожных) к месту хранения у потребителя;
- слив в ёмкости хранилища;
- выдача из ёмкости хранилища на заправку ракеты или космического аппарата непосредственно или выдача в подвижные транспортные ёмкости для доставки к месту заправки (стартовая позиция ракеты или станция заправки космических аппаратов);
- слив из заправленного объекта в соответствующие ёмкости при несостоявшемся пуске;
- перелив из ёмкости хранилища в резервную ёмкость, с целью освобождения ёмкости;
- зачистка освобождённой ёмкости – удаление остатков продукта (с целью удаления накопившегося твёрдого осадка, подготовки ёмкости к ремонту или освидетельствованию котлонадзором, подготовки ёмкости к наливу продукта другой марки).

Перекачка КРТ сопровождается по необходимости стыковкой и расстыковкой дренажные и заправочных коммуникаций, освобождением их от остатков продукта, разборкой гибких коммуникаций из труб – «рукавов» с последующей их нейтрализацией.

Во всех этих работах участвуют соответствующие лица расчётов заправки.

Кроме того, контакт с КРТ может иметь место при выполнении наладочных или регламентных работ на самом заправочном оборудовании (насосы, фильтры, клапаны, вентили, манометры и др.), а также при отборе проб продукта для контроля его качества – эта операция производится в

зависимости от обстоятельств перемещения КРТ и в процессе хранения через определённые сроки.

Все это многообразие операций, с топливом, отличаясь целями и техническим содержанием, «пронизано» единым – заботой о безопасности работающих, поскольку почти все КРТ могут представлять большую или меньшую опасность при работе с ними: один – из-за токсических свойств, другие – пожарной опасности, третьи – в связи с тем и другим, согласно документу СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»[18]. С учётом этого из всего многообразия вопросов эксплуатации КРТ остановимся на двух:

- обеспечение безопасной работы с ними;
- контроль качества компонентов.

Безопасность работы с КРТ обеспечивается:

- должным размещением объектов с опасными продуктами;
- оснащением объектов и работ с топливами техническими средствами и системами нейтрализации КРТ, контроля среды, пожаротушения;
- поддержанием в исправном состоянии объектов, систем заправки и обеспечивающих технических систем, исключением произвольных утечек КРТ;
- подготовкой личного состава в отношении знания свойств КРТ, умения обращаться с ними, а также с техническими средствами и индивидуальными средствами защиты от действия опасных компонентов;
- содержанием в постоянной исправности и готовности к применению индивидуальных средств защиты;
- постоянным контролем за соблюдением норм и правил техники безопасности, предусмотренных на соответствующих видах работ;
- проведением профилактических мероприятий по поддержанию здоровья лиц, работающих с КРТ, на должном уровне.

Реализация этих направлений обеспечения безопасности производится на основе соответствующей руководящей и технологической документации.

В зависимости от степени токсичности все КРТ можно подразделить на следующие группы (таблица 3).

Таблица 4.1 – Группы степени токсичности КРТ

Номер группы	Степень опасности	ПДК, мг/л
1	Чрезвычайно опасные	$\leq 10^{-4}$
2	Высоко опасные	$10^{-4} \dots 10^{-3}$
3	Умеренно опасные	$10^{-3} \dots 10^{-2}$
4	Малоопасные	$> 10^{-2}$

В соответствии с этим делением предусматриваются определённые расстояния между хранилищами окислителя и горючего, а также наличие санитарно-защитной зоны шириной до 1500 м, отделяющей склад топлива от жилой территории.

Ёмкости КРТ как в закрытом хранилище, так и в открытом располагаются на фундаментах и снабжаются «поддонами» - площадками из кислотостойкого материала (для окислителей) или из металла (для горючих) – с уклоном и стоком.

Ежедневно контролируется их состояние (на предмет наличия течи компонента) с записью в «Журнал осмотров резервуаров, насосных агрегатов, хранилищ», в которой указываются: дата, кто и что проверял, замеченные неисправности, принятые меры для их устранения.

Места слива и налива компонентов (открытые площадки или места внутри хранилища) обеспечиваются площадками с твёрдым покрытием из цемент-бетона (для окислителей) или из безыскрового бетона (для горючих) с бортиками и «приямками» (углублениями) для сбора случайных проливов. Эти места обеспечиваются достаточным освещением, водоснабжением, контуром заземления агрегатов, канализацией – ливневой, хозяйственной и производственной; последняя служит для приёма смывов – промстоков

компонентов, причём отдельной горючих и окислителей. Площадка обеспечивается средствами пожаротушения, нейтрализующими растворами, аптечной первой помощи.

В закрытых хранилищах стены, пол и потолок снабжаются неадсорбирующими покрытиями (хлорвиниловая краска, керамическая плитка и т.п.) Устраивается приточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая кратность обмена воздуха до 20 раз в час с соответствующей организацией забор свежего воздуха и отдаленным выбросом. Хранилище оборудуется автоматизированной системой контроля загазованности атмосферы.

За организацию безопасной работы с КРТ отвечает лицо, которым утверждается все местные инструкции по работе с топливами, разрабатываемые соответствующими службами на основе руководящих документов (инструкции о порядке выполнения отдельных видов работ, содержании помещений хранилищ, порядке сбора и нейтрализации промтсоков, мерах личной безопасности и др.).

Допуск к работе с КРТ оформляется приказом. К работе КРТ допускаются физически здоровые люди, достигшие 18 лет, прошедшие специальную подготовку и стажировку, медицинское освидетельствование, сдавшие зачёт по знанию техники, правил и мер безопасности, мер доврачебной помощи при поражении КРТ, получившие удостоверения на право самостоятельной работы с топливами.

Для выполнения опасных работе КРТ, не предусмотренных технологической и эксплуатационной документацией, выдаются специальные наряды (допуски).

К таким работам относятся, в частности:

- слив и перекачка КРТ в аварийных случаях;
- электро- и газосварка при ремонте ёмкостей и систем огне- и взрывоопасных компонентов;
- работы при зачистке ёмкостей КРТ.

Перечень данного типа работ и лиц с правом выдачи нарядов на их выполнение определяется приказом. Выдавший наряд отвечает за организацию безопасного выполнения работы.

На обеспечение безопасности направлена практикуемая система инструктажей лиц, работающих с КРТ.

Основные виды инструктажей:

- первичных – непосредственно на рабочем месте;
- периодический – для обновления знаний, производится на реже 1 раза в 3 месяца и перед выполнением ответственных работ с топливами;
- внеплановый – в связи с тем или иным конкретным частным вариантом работы с топливами;
- ежедневный – перед началом плановых работ.

Инструктажи проводятся соответствующими руководителями и отмечаются в журнале с подписью того, кто проводил, и тех, кто был инструктирован.

Все работы с КРТ производятся с использованием тех или иных средств защиты.

При работе с малоопасными компонентами, а также с малым количеством любых продуктов (<0,5 л) в вытяжном шкафу (в условиях лаборатории контроля), достаточными средствами защиты являются специальные очки, прорезиненный фартук и кислотостойкие перчатки.

Основными средствами защиты являются «защитные комплекты» (комплект включает изолирующий костюм, перчатки, специальные сапоги), а также противогазы (фильтрующий или изолирующий – при высокой загазованности воздуха).

Средства защиты должны храниться в подготовленном к работе состоянии на рабочих местах в проветриваемых закрытых шкафах. Они маркируются с целью выделить используемые для работы с горючими от применяемых в работах с окислителем.

За состояние индивидуальных средств защиты отвечает соответствующий руководитель, который должен ежедневно проверять их наличие и не реже 1 раза в неделю – исправность. Кроме того, не реже 1 раза в 6 месяцев исправность и герметичность средств защиты проверяется специалистом – химиком-дозиметристом.

Все эти проверки фиксируются в специальном журнале.

На рабочих местах в папках или на доске должны быть в наличии:

- общая инструкция по правилам и мерам безопасности на данном рабочем месте;

- перечень средств защиты, нейтрализации и пожаротушения и места их размещения.

Рабочее место обеспечивается также аптечкой первой помощи и необходимыми предупредительными и предписывающими надписями типа «Работать в противогаза!» и т.п.

Аптечка на рабочем месте должна содержать, наряду с вспомогательными элементами (бинт, вата, ножницы, пипетка и др.), также 0,5 л дистиллированной воды, йод (несколько ампул 5% раствора), водный раствор аммиака (несколько ампул 10% раствора), капли для глаз (раствор дикаина или 0,55 борной кислоты). Кроме того, в зависимости от типа КРТ аптечка включает:

- при работе с азотными окислителями – питьевую соду (10 г), масло вазелиновое (100 г);

- при работе с горючим – 2% раствор борной кислоты (0,5 л), мыло зеленое (0,2...0,3 кг), спиртовой раствор ментола (5%, 50-100 мл).

Все лица, работающие с КРТ, условно могут быть подразделены на три группы:

- систематически работающие со всеми видами КРТ;

- периодически, не часто работающие с чрезвычайно опасными и высоко опасными компонентами;

- работающие с умеренно и мало опасными продуктами.

Списки этих групп формируются с участием медицинской службы.

К работе с КРТ допускаются только здоровые люди, не страдающие хроническими заболеваниями. Перед назначением на должность все лица, работающие с КРТ, проходят медицинское освидетельствование – углубленную оценку состояния здоровья врачебной комиссией, о чём делается специальная отметка в медицинской книжке и оформляется справка – постановление комиссии.

В дальнейшем, лица 1 и 2 групп проходят медицинское освидетельствование ежегодно, а лица 3 группы один раз в 3 года; кроме того, 1 раз в полгода все подвергаются медицинскому обследованию, а лица 1 группы – и ежеквартальному осмотру врачом.

Наряду с этим освидетельствованием проводятся:

- при ухудшении состояния здоровья;
- после нахождения на лечении – в зависимости от характера перенесённой болезни;
- после временного отстранения, по решению врачебной комиссии, от работы с КРТ или отпуска по болезни.

Лица 1 группы 1 раз в два года подвергаются контрольно-стационарному обследованию

Перед выполнением работ с КРТ проверяется готовность заправочной техники и индивидуальных средств защиты, наличие средств первой помощи и нейтрализации, предупреждающих знаков безопасности; проводится инструктаж лиц, участвующих в работах.

До начала работ в помещениях хранилища компонента химиком-дозиметристом проверяется их «загазованность», и делается соответствующая запись в специальном журнале и на доске информации у входа в помещение.

Во время выполнения работ также производятся периодические измерения концентрации продукта в атмосфере, и по необходимости включается приточно-вытяжная вентиляция.

Перед началом работ проверяется также состояние средств нейтрализации, систем водоснабжения, пожаротушения и заземления. Под стыковочные разъёмы коммуникаций устанавливаются противни для сбора остатков продукта при расстыковке коммуникаций.

Все работы ведутся в установленных средствах защиты, в зависимости от типа компонента и вероятности поражения им. Ведётся учёт наработки коробки фильтрующего противогаса, т.е. степени её использования, в зависимости от концентрации продукта в воздухе и продолжительности дыхания в противогазе.

Во время перекачки продукта на открытой площадке рекомендуется находиться с наветренной стороны от объекта.

По окончании работ предусматривается помывка участников со сменой рабочего белья и одежды на повседневные.

Проливы компонентов во время работ немедленно нейтрализуются или смываются в техническую канализацию, а при появлении течи продукта во время перекачки работа немедленно прекращается.

Недопустимы слив КРТ на грунт и работа на не исправном оборудовании.

Для предотвращения выбросов в атмосферу паров компонентов газовые полости емкостей, выдающей и принимающей, соединяются между собой (система «закольцовывается»), а при отсутствии такой возможности дренаж заправляемой емкости выводится на станцию нейтрализации (химической или термохимической) паров продукта.

Одним из наиболее ответственных, в отношении опасности выполнения, видов работ с КРТ является зачистка ёмкости. В данной операции заключительным этапом является работа непосредственно в емкости, после удаления из нее остатков компонента (давлением газа или ручным насосом) и нейтрализации газовой полости и стенок распыленным раствором нейтрализующего вещества. При этом выполняются следующие правила:

- работа ведется только в светлое время суток. В ней непосредственно участвует не менее трех человек, из которых двое попеременно, с целью

обеспечения отдыха, работают в емкости, а третий - поддерживает непрерывную страховочную связь с работающим;

- работа в емкости (очистка от загрязнений и удаление их, протирка ветошью после промывки и т.п.) ведется в изолирующем комплекте одежды, со страховочным поясом, с использованием шлангового противогаса и только после того, как проведена нейтрализация и проконтролирован уровень загазованности внутри емкости (контролирует химик-дозиметрист).

Любые проливы токсичных и агрессивных компонентов топлива опасны для работающих и окружающей среды. Они требуют быстрой их ликвидации, обычно путем смыва водой и последующей нейтрализации остатков продукта на поверхности и в удаленном промстоке. Подобной операции подвергаются также технические агрегаты и системы при длительном перерыве в заправочной работе, при необходимости замены или ремонта агрегата, после разборки заправочной магистрали, при зачистке емкостей и т.д. Во всех таких случаях присутствует схема: смыв (или промывка) водой - химическая нейтрализация поверхности - промывка и просушка ее - нейтрализация продукта в промстоках.

Нередко, для краткости, термин «нейтрализация» переносят с компонента топлива на объект, с которым связано наличие компонента, подвергающегося нейтрализации.

Из числа возможных средств нейтрализации объектов с остатками КРТ выбирают наиболее удобные для применения в конкретном случае.

Компоненты обязаны герметично переливать, но в случае пролива вне рабочей части, существуют промстоки, по которым топливо смывается в специальную техническую канализацию водой, после чего всё, что касалось компонента в срочном порядке подвергается нейтрализации специальными растворами. С окислителем удобнее справляться водным раствором аммиака, но для горючего использовать нужно водную смесь из ДГС-ГК или хлорную известь с выдержкой и последующей нейтрализацией. Подобное работает в том, случае, если горючее пролилось в небольшом объёме, в остальном

придётся полагаться на сжигание на открытом воздухе, а при проливе в почву, её следует перековать основательно

Во всех случаях заключительная операция состоит в проверке концентрации продукта в воздухе над поверхностью нейтрализации.

При нормальных условиях кислород представляет собой бесцветный газ, не обладающий запахом и вкусом. При охлаждении до $-182,98^{\circ}\text{C}$ он сжижается в бледно-синюю жидкость, которая затвердевает при $-218,7^{\circ}\text{C}$, с образованием синих кристаллов.

Основная опасность при работе с жидким кислородом связана с образованием взрывоопасных смесей его с некоторыми органическими соединениями, а также с низкими температурами, свойственными сжиженным газам.

Практически все материалы, которые горят в обычных условиях, образуют с жидким кислородом взрывоопасные смеси. Они могут взрываться от статического электричества, удара, электрической искры и других источников. Даже резкое сжатие органического материала, пропитанного кислородом (например, при падении тяжелого предмета на асфальт, облитый жидким кислородом), может вызвать возгорание и взрыв.

Газообразный кислород, образующийся при испарении пролитой жидкости или в других случаях, образует с горючими веществами смеси паров, которые также могут взрываться от постороннего источника энергии. Если жидкий кислород остается в замкнутом пространстве, не имеющем достаточной изоляции (участки трубопроводов, арматура и др.), в результате его испарения может развиваться разрушительное давление. Недопустимое нарастание давления возможно и в резервуаре при ухудшении его изоляции (например, при уменьшении вакуума в изолирующем пространстве, обводнении или разрушении изоляции).

Для предотвращения взрывов исключают непосредственный контакт жидкого кислорода с горючими веществами. Внутренняя поверхность

технических средств перед заливом жидкого кислорода подвергается тщательной очистке и обезжириванию. Из зоны работы с окислителем удаляют все горючие материалы. При проливе жидкого кислорода необходимо остановить приток жидкости и дать ей возможность испариться. В это время следует исключить образование искр и пламени (не передвигать и не катать оборудование). Разрушение оборудования при нарастании давления можно предотвратить тщательным контролем за всей системой, содержащей окислитель. Закрытые участки должны иметь защиту в виде разрывных мембран или предохранительных клапанов.

При контакте с маслами кислород может образовывать с некоторыми их компонентами активные эндо-термические перекисные соединения, накопление которых может приводить к взрыву, поэтому контакт кислорода с такими веществами в любых вариантах (работа в промасленной одежде, замасленными руками или инструментом и т.п.) недопустим.

При перекачке жидкого кислорода производится предварительное "захолаживание" системы малым расходом продукта. Без этого в "горячей" системе образуется интенсивный поток газифицированного кислорода, который при наличии резких поворотов и перепадов давления на элементах системы (вентили и т.п.) может вызвать возгорание металла.

Жидкий кислород не горит, но энергично поддерживает горение. Образующиеся при смешении кислорода с горючими смеси обычно не самовоспламеняются, но они, как уже указывалось, представляют большую взрывоопасность. Газообразный кислород может насыщать обычную одежду и делать ее легко возгорающей. Для предотвращения пожаров в зоне работы с жидким кислородом запрещаются все работы, связанные с возникновением источника воспламенения (разведение огня, курение и др.); одежду после работы с кислородом выветривают не менее 1 ч.

Сварочные и ремонтные работы в емкостях и помещениях, где хранится жидкий кислород, должны производиться только после двух- трехчасового

проветривания их теплым воздухом (70-80°C). Перед заливкой кислорода в новую емкость последняя обезжиривается.

При возникновении пожара прекращают по возможности приток окислителя и горючего материала. Жидкому кислороду дают возможность испариться. При горении водорастворимого горючего для тушения пожара используют воду, в других случаях - пожаротушительные смеси.

Чистый газообразный кислород нетоксичен. При кратковременном вдыхании он не оказывает на организм человека какого-либо вредного действия, за исключением случаев вдыхания очень холодного газа, что может вызвать раздражение дыхательного пути.

При попадании жидкого кислорода на кожу могут быть тяжелые ожоги. Кратковременный контакт с ним проходит без заметных последствий вследствие образования между жидкостью и кожей защитной газовой прослойки. Причиной обморожения может быть также контакт с металлами, охлажденными жидким кислородом. При небольшом обморожении пораженное место погружают в теплую воду. Значительные обморожения требуют специальной медицинской помощи и лечатся как обычные ожоги. Для предохранения персонала от обморожения используют перчатки из асбеста или хромовой кожи с отделкой внутри из непроницаемых материалов (поливинилхлорида, полиэтилена, неопрена), специальную одежду, кожаные сапоги, очки или маску. Органы дыхания обычно не защищают. Керосин - слабозелтая жидкость с характерным запахом нефтепродуктов. Пары продукта могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Предельно-допустимая (взрывобезопасная) концентрация паров продукта Т-1 в воздухе 0,3мг/л. Нижний предел взрываемости (об. %) паров продукта Т-1 с воздухом 1,4; верхний – 7,5.

1) Горючее РГ-1 бывает двух типов: самовоспламеняющееся и не самовоспламеняющееся, которое идет как более предпочтительное, так как является намного удобнее в эксплуатации в сочетании с окислителем и пусковыми устройствами.

2) В связи с тем, что в горючем, несмотря на очистку, все же содержится некоторое количество соединений, содержащих серу кислород, азот, имеется некоторое количество олефинов и довольно значительное - ароматиков, при использовании продукта для охлаждения стенок сопла, где тепловые потоки очень велики, возможно образование твердых отложений на стенке. Это ведет к резкому, на несколько сотен градусов, перегреву стенки и возможности ее прогара. Мерой борьбы против данного обстоятельства в условиях эксплуатации является хранение горючего при максимальной степени заполнения емкости и ограничении обмена воздуха в газовой подушке ее с внешней средой.

3) Горючее Т-1 не агрессивно к конструкционным материалам; углеродистая сталь, алюминиевые сплавы являются весьма стойкими материалами. Емкости для хранения и транспортировки горючего изготавливаются из углеродистой стали. Достаточно широк выбор пластических материалов, стойких в контакте с горючим: специальные сорта резины, полиэтилен, поливинилхлорид и др.

4) Токсическое действие горючего Т-1 выражено слабо, что характерно для нефтепродуктов вообще. Но при большой концентрации паров в воздухе могут ощущаться головная боль, тошнота, а при хроническом вдыхании паров могут развиваться расстройства нервной системы, сердечной деятельности. Предельно допустимая концентрация паров в воздухе равна 0,3 мг/л.

При отравлении парами горючего рекомендуется вдыхание нашатырного спирта, кислорода, применение успокоительных средств.

5) Горючее обладает сравнительно низкой температурой вспышки (на уровне 30°С) и, следовательно, пожар опасно Исходные данные:

$I_{\text{мн}}$ — интенсивность тушения пожара, $I_{\text{мн}} = 0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$;

$t_{\text{рп}}$ - время развития пожара, $t_{\text{рп}} = 20 \text{ мин}$;

L — путь, пройденный огнем, $L = 10 \text{ м}$;

$q_{\text{стА}}$ — расход ствола «А», $q_{\text{стА}} = 8 \text{ л/с}$;

$q_{\text{стБ}}$ — расход ствола «Б», $q_{\text{стБ}} = 4 \text{ л/с}$.

Согласно «СП 9.13130.2009. Свод правил. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации» [19] определяем площадь пожара:

$$S_n = 3,14 \cdot L^2, \quad (4.1)$$

$$S_n = 3,14 \cdot 10^2 = 314 \text{ [м}^2\text{]} .$$

Определяем площадь тушения

$$S_M = S_n = 314 \text{ [м}^2\text{]}. \quad (4.2)$$

Определяем требуемый расход

$$Q_{тр} = S_M \cdot I_{mn}, \quad (4.3)$$

$$Q_{тр} = 314 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ [л/с]}$$

Определяем требуемое количество стволов

$$N_{ст} = Q_{ст} / q_{ст}, \quad (4.4)$$

$$N_{стА} = 31,4 / 8 = 4 \text{ [ст]},$$

$$N_{стБ} = 31,4 / 4 = 8 \text{ [ст]}$$

На тушение требуется четыре ствола «А», либо восемь стволов «Б».

Определяем фактический расход воды

$$Q_{ф} = N_{ст} q_{стА} + N_{стБ} \cdot q_{стБ}, \quad (4.5)$$

$$Q_{ф} = 4 \cdot 8 + 8 \cdot 4 = 64 \text{ [л/с]}.$$

Определяем требуемую численность личного состава

$$N_{л/с} = N_{стА} \cdot 3 + N_{стБ} \cdot 3, \quad (4.6)$$

$$N_{л/с} = 4 \cdot 3 + 8 \cdot 3 = 36 [\text{чел.}].$$

Определяем требуемое количество пожарных подразделений на основных пожарных автомобилях

$$N_{отд} = N_{л/с} / 6, \quad (4.7)$$

$$N_{отд} = 36 / 6 = 6 [\text{отделения}].$$

Вывод. В данном разделе были рассмотрены вопросы по безопасности жизнедеятельности при работе с КРТ:

- обеспечение безопасной работы с КРТ;
- организационно-техническое обеспечение безопасности;
- общая организация работ с КРТ;
- расчет средств пожаротушения при возгорании КРТ.

А, так же, рассчитали количество средств пожаротушения я при возгорании КРТ.

5 СТОИМОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

В данной работе была спроектированная пневмогидравлическая система, связующие и управляющие элементы.

Для начального расчёта суммы, затраченной в производстве, нужно определить конкретные размеры основного и второстепенных материалов. После чего обозначить их массу и выяснить цену за килограмм.

$$M = M_1 + M_2 + 3 * M_3 + 4 * M_4 + 4 * M_5 + 2 * M_6 + 2 * M_7 \quad (5.1)$$

где M_1 – обечайка бака окислителя;

M_2 – обечайка бака горючего;

M_3 – внутренние шпангоуты;

M_4 – распорные шпангоуты;

M_5 – опорные шпангоуты;

M_6 – верхнее днище;

M_7 – нижнее днище.

$$M_{1,2,3,4,5,6,7} = N_{\text{РАСХ}} * Ц_{\text{О.М.}} \quad (5.2)$$

где $N_{\text{РАСХ}}$ – норма расходов материалов;

$Ц_{\text{О.М.}}$ – цена основных материалов = 296 рублей за килограмм.

Основным элементом, как было расписано ранее, выступает АМгбН и в меньшей степени нержавеющей сталь (20Х13).

Первым делом нужно рассчитать несущую часть бака окислителя размеры, которого составляют 12 метров в длину, 2,5 метров в диаметре и 5 мм в толщину.

Материал производят пластинами, так что диаметр пересчитывается в длину окружности.

$$C = \pi * D = 7,85 \text{ метров}, \quad (5.3)$$

где C – длина окружности; D – её диаметр.

Таким образом получаем заготовку для несущей части бака окислителя с габаритами $5 \times 12000 \times 7850$. $V_1 = 0,471 \text{ м}^3$.

Плотность АМгбН 2640 кг/м^3 , а цена за килограмм 296 рублей по московским ценам.

$$N_{\text{РАСХ1}} = 2640 * 0,471 = 1243,44 \text{ кг.}$$

В таком случае цена обечайки бака окислителя составляет $M_1 = 1243,44 * 296 = 368\,058$ рублей.

По тем же параметрам определяем цену обечайки бака горючего, с учётом меньшей длины.

$$M_2 = 184\,029 \text{ рублей};$$

$$M_3 = 600 \text{ рублей};$$

$$M_4 = 18\,402 \text{ рублей};$$

$$M_5 = 300 \text{ рублей};$$

$$M_6 = 23\,794 \text{ рублей};$$

$$M_7 = 24\,344 \text{ рублей.}$$

Следовательно, сумма затрат на обшивку, днища и шпангоуты будет составлять $724\,971$ рублей.

Оставшиеся компоненты (арматура бака) являются покупными. Сильфон в пределах 10 тысяч рублей, воронко гаситель 1 тысяча рублей, люк стоимостью 10 тысяч рублей и тоннельная труба с зигами 92 тысячи рублей, два ресивера на полтора и три кубических метра за 15 тысяч каждый в среднем. Сумма таких расходов обозначается буквой B и равна 143 тысячам рублей.

Так же в сумме создания изделия учитываются заработные платы рабочим, которые определяются по формуле:

$$Z_{\text{ПР}} = I * t, \quad (5.4)$$

где $I = 100$ руб/ч – средняя часовая ставка производственного рабочего;

$t = 0,95$ ч – трудоёмкость одного изделия.

Таким образом заработная плата рабочему будет равна

$$Z_{\text{ПР}} = 0,95 * 100 = 95 \text{ рублей.}$$

К основной заработной плате рабочему предоставляется дополнительная в размере 30% от основной.

$$Z_{\text{ДОП}} = 30\% * Z_{\text{ПР}}. \quad (5.5)$$

$$\text{Получается } Z_{\text{ДОП}} = 0,30 * 95 = 28,5.$$

Отчисления определяются по следующей формуле

$$C_{\text{ОТЧ}} = 37,5\% * (Z_{\text{ПР}} + Z_{\text{ДОП}}) \quad (5.6)$$

$$C_{\text{ОТЧ}} = 0,375 * (28,5 + 95) = 46,30.$$

Расходы на эксплуатацию и содержание оборудования $R_{\text{С.Е}}$ вычислим по формуле:

$$R_{\text{С.Е}} = X_{\text{Р.С.З.О}} * \frac{Z_{\text{ПР}}}{100}, \quad (5.7)$$

где $X_{\text{Р.С.З.О}} = 120$ - расходы на эксплуатацию и содержание оборудования.

$$R_{\text{С.Е}} = 120 * \frac{95}{100} = 114 \text{ руб.}$$

Расходы по цеху на производство рассчитываются как

$$R_{\text{ЦЕХ}} = X_{\text{Ц.Р}} * \frac{Z_{\text{ПР}}}{100}, \quad (5.8)$$

где $X_{\text{Ц.Р}} = 90$ – ставка расходов цеха.

$$R_{\text{ЦЕХ}} = 90 * \frac{95}{100} = 85,5.$$

Тогда себестоимость цеховая:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = M + B + Z_{\text{ПР}} + Z_{\text{ДОП}} + C_{\text{ОТЧ}} + P_{\text{С.Е}} + P_{\text{ЦЕХ}}, \quad (5.9)$$

С учётом закупки всех составляющих компонентов и часа работы одного рабочего выходит суммарно 725 483,3 рубля. Последующие расходы только на использования цеха и рабочего часа будет обходиться в 369,3 рубля в час.

Также существуют затраты на разработку и освоение новых технологий для создания изделий и их эксплуатации. На подобные меры так же приходится откладывать определённую сумму, которая просчитывается по формуле:

$$P_{\text{ОСВ}} = 3...6\% * (M + Z_{\text{ПР}}), \quad (5.10)$$

$$P_{\text{ОСВ}} = 0,06 * 725\ 066 = 43\ 503,96 \text{ рублей.}$$

Помимо выплат рабочим и цеху, определяется так же цена на общезаводские расходы:

$$P_{\text{ОЗ}} = Z_{\text{ПР}} * X_{\text{Р.З}}, \quad (5.11)$$

где $X_{\text{Р.З}} = 70\%$ - процент расходов по заводу.

$$\text{В таком случае } P_{\text{ОЗ}} = 0,7 * 95 = 66,5 \text{ руб.}$$

Теперь можно выявить заводскую себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ОСВ}} + P_{\text{ОЗ}}, \quad (5.12)$$

$$C_{\text{ЗАВ}} = 769\ 053,76 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы высчитываются по формуле:

$$P_{\text{ВНЕПР}} = 3\% * C_{\text{ЗАВ}}, \quad (5.13)$$

$$P_{\text{ВНЕПР}} = 0,03 * 769\,053,76 = 23\,071,62 \text{ руб.}$$

Итого полная себестоимость будет составлять $C_{\text{ПОЛН}} = 23\,071,62 + 769\,053,76 = 792\,125,38$ руб.

Прибыль в таком случае получается:

$$P = 20\% * C_{\text{ПОЛН}}, \quad (5.14)$$

$$P = 0,20 * 792\,125,38 = 158\,425,08 \text{ руб.}$$

Порядок формирования и вид цен устанавливает государство и определяется следующим образом:

а) оптовая цена

$$C_{\text{ОПТ}} = C_{\text{ПОЛН}} + P, \quad (5.15)$$

$$C_{\text{ОПТ}} = 158\,425,08 + 792\,125,38 = 950\,550,46 \text{ руб.}$$

б) отпускная цена детали

$$C_{\text{ОТП}} = C_{\text{ОПТ}} + \text{НДС}, \quad (5.16)$$

где НДС = 20% от $C_{\text{ОПТ}}$.

$$\text{НДС} = 0,20 * 950\,550,46 = 190\,110,09 \text{ руб.}$$

$$\text{В таком случае } C_{\text{ОТП}} = 190\,110,09 + 950\,550,46 = 1\,140\,660,55 \text{ руб.}$$

Так же должны учитываться предпочтения и цены посредников, используемых в производстве или любом другом звене цепи производства-потребления.

$$C_{\text{ОТП}}^{\text{ПОСРЕД}} = C_{\text{ОТП}} + 25\% * C_{\text{ОПТ}}, \quad (5.17)$$

$$C_{\text{ОТП}}^{\text{ПОСРЕД}} = 1\,140\,660,55 + 0,25 * 950\,550,46 = 1\,378\,298,165 \text{ руб.}$$

Для стимулирования качества произведённой продукции свободные оптовые цены могут дифференцироваться, давая скидки и доплаты за повышение качества продукции. Они формируются из отпускной цены с НДС и торговой надбавки:

$$C_{\text{РОЗН}}^{\text{ТНП}} = C_{\text{ОПТ}} + N_{\text{ТОРГ}}, \quad (5.18)$$

где $N_{\text{ТОРГ}}$ – надбавка с издержками торговли, НДС и прибыли

$$N_{\text{ТОРГ}} = 25\% * C_{\text{ОПТ}}, \quad (5.19)$$

$$N_{\text{ТОРГ}} = 0,25 * 1\,140\,660,55 = 285\,165,14 \text{ руб.}$$

$$\text{Тогда } C_{\text{РОЗН}}^{\text{ТНП}} = 285\,165,14 + 950\,550,46 = 1\,235\,715,60 \text{ руб.}$$

Вывод. В ходе проведения экономической части была рассчитана минимальная стоимости изготовления первой ступени на заводе изготовителе с учётом НДС, заработной платы, транспортировки, стоимости материалов и закупки уже готовых изделий. В итоге сумма составила 1 235 715,60 рублей, учитывая налоги, доплаты, сумму, потраченную на материалы, расходы посредников, выплаты цеху.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа существующих систем, агрегатов и РН спроектирована пневмогидравлическая система первой ступени лёгкого класса с вытеснительной подачей компонентов топлива работающая на жидком кислороде и керосине. Выдаёт тягу в 160 тонн за 200 секунд от начала старта.

2. Проведен расчет количества топлива и на его основе получены основные режимные параметры работы двигателя: $I_{\text{уд.пуст.}} = 3288,3$ м/с, $m_{\text{ок}} = 368,65$ кг/с и $m_{\text{г}} = 133,47$ кг/с. Так же были приняты основные материалы, а именно сплав алюминия АМгбН и нержавеющей сталь 20Х13.

3. Выбраны элементы арматуры баков и их габаритные параметры, форма, крепёжные элементы, взаимосвязь и расположение. Выбраны виды шпангоутов, воронко гасителя, зиг, тоннельной трубы, днищ, люка, штуцера и сильфона. Подготовлена система пневмоиспытаний.

4. Проведён статистический расчёт в программе Solid Works Simulation модели окислительного бака с применением усилий в виде внутреннего давления топлива и топливной подушки с внешними усилиями от последующих ступеней.

5. В разделе «Безопасность жизнедеятельности» разработаны мероприятия по обеспечению безопасности при работе с компонентами ракетного топлива и расчёт средств пожаротушения при возгорании КРТ.

6. В экономической части проведён расчёт минимальной стоимости изготовления первой ступени РН. В итоге сумма составила 1 235 715,60 у.е., учитывая налоги, доплаты, сумму, потраченную на материалы, расходы посредников, выплаты цеху.

7. Кроме того, были выполнены графические материалы: чертёж пневмогидравлической системы, общий, ПГС стенда, сетевой график процесса пневмоиспытаний, редуктор и пневмоклапан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: Справочник / Под ред. В.П.Глушко -т.5.- М.: АН СССР, 1971-1979.
2. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. Камеры/ Д.И.Завистовский, В.В.Спесивцев. – Учеб. пособие - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “ХАИ”, 2006.- 122с.
3. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / Под ред. В.М. Кудрявцева. – М.: Высшая школа, 1983. – 703 с.
4. М.В.Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Издательство ‘машиностроение’, М., 1968.- 391с.
5. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. Под общей редакцией проф. Г. Гахуна. – М.: Машиностроение, 1989.
- 6 Методическое пособие по дипломному проектированию по курсу Конструкция и проектирование ЛА. – М.: МАИ, 1983. – 85 с.
- 7 Под общей редакцией А.В. Солодова. Инженерный справочник по космической технике - М.: Воениздат, 1969. – 696 с.
- 8 Лизин В.Т. Проектирование тонкостенных конструкций: Учеб. Пособие для студентов вузов. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 2003.-448 с.
- 9 Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: Учебник для вузов. – 2-е изд. Под ред. Д.А. Ягодникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 488 с.
- 10 Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями. Под ред. Академика В.Н. Челомея.
- 11 Ракеты-носители. Под ред. С.О.Осипова – М.: Воениздат, 1981.–315с
- 12 Под общей ред. Арзамасова Б.Н. Материаловедение – М.: Наука, 1986. – 383 с.

- 13 Конструкция и проектирование ЖРД. Пол общей ред. Г.Г.Гахуна – М.: Машиностроение, 1989. – 420 с.
- 14 Пономаренко В.К. Ракетные топлива. – С-П.: ВИККА, 1995.– 607 с.
- 15 Сибиряков В.А. «Расчет на прочность» (конспект лекций), изд. МАИ, 1971., часть I – 104 с.
- 16 Уманский С.П. Ракеты-носители. Космодромы. – М.: Рестарт 2001 – 216 с.
- 17 Под ред. Барвинка В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве ЛА. – М.: Машиностроение, 1996. – 286 с.
18. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
19. СП 9.13130.2009. Свод правил. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации