

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: Проектная разработка системы заправки криогенных ракет-носителей
среднего класса

Исполнитель
студент группы 817-об

Кав 08.06.2022
(подпись, дата)

Е.А. Кавецкая

Руководитель
канд. тех. наук, доцент

Козырь 08.06.22 г.
(подпись, дата)

А.В. Козырь

Консультант по БЖД:
канд. тех. наук, доцент

Козырь 08.06.22 г.
(подпись, дата)

А.В. Козырь

Консультант

Насуленко 08.06.22
(подпись, дата)

К. А. Насуленко

Нормоконтроль
ассистент кафедры СиТРК

Аревков 08.06.2022
(подпись, дата)

М.А. Аревков

Благовещенск 2022

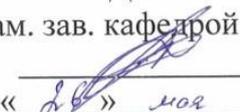
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Факультет: Инженерно-Физический

Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой

 В. В. Соловьев

« 08 » мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

к выпускной квалификационной работе студента Кавецкой Екатерины Александровны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектная разработка системы заправки криогенных ракет – носителей среднего класса

учреждена приказом от 05.04.2022 № 679-уч

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 08.06.2022г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: система заправки для ракет – носителей среднего класса сжиженным природным газом.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): основные проектные параметры, описание конструкции, исследовательская часть, технологическая часть, охрана труда и экология, организационно-экономическая часть.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): сборочный чертеж емкости, габаритный чертеж, элементы заправочной системы, пневмогидравлическая схема ППЦ 50/0.7, пневмогидравлическая схема заправочной системы.

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

7. Дата выдачи задания 26.05.2022г.

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

Задание принял к исполнению (дата) 16.05.2021 *Коз*

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 68 страниц, 19 рисунков, 19 таблиц, 18 источников.

ЗАПРАВКА РКН, СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ППЦ-50/0,7,
НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАПРАВКА, ЗАХОЛАЖИВАНИЕ

Объектом разработки является система заправки сжиженным природным газом ракетносителя космического назначения «Союз 5.1».

Цель работы – создание принципиально новой мобильной системы заправки.

Поставленная цель достигается использованием современных технологий и разработок, в области транспортировки криогенных компонентов топлива.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1. Конструкторская часть	9
1.1 Техническое задание на дипломное проектирование	9
1.2 Предварительный расчет системы заправки	9
1.3 Расчет диаметра труб напорной магистрали	11
1.4 Схема системы заправки	13
1.5 Расчет объема СПГ необходимого для всех циклов подготовки РН к пуск	14
1.5.1 Объем, теряющийся в ходе захолаживания трубопроводов	15
1.5.2 Объем, теряющийся при заправке за счет внешнего стационарного теплового потока	16
1.5.3 Объем продукта, теряющийся на трение	18
1.6 Гидравлический расчет заправки баков РН»	21
1.7 Расчет характеристики заправочных магистралей	23
1.8 Подбор насоса	24
1.9 Вывод	25
2 Исследовательская часть	27
2.1 Создание и расчет математической модели заправляемого сосуда	28
2.1.1 Определение температуры при контакте стенка-жидкость	29
2.1.2 Определение температуры при контакте стенка-пар	30
2.2 Создание и расчет САД модели заправляемого сосуда в среде SolidWork	31
2.2.1 Граничные условия	33
2.2.2 Анализ полученных результатов	35
2.3 Вывод	39
3 Технологическая часть	40
3.1 Назначение изделия	40
3.2 Анализ технических требований и выявление технологических задач	40
3.3 Оценка технологичности конструкции	41

3.3.1 Количественная оценка технологичности	42
3.4 Нормы времени	42
3.5 Установка для автоматической сварки обечаек под флюсом ПКТБА-УСФ-1800-35000-КПНВ	44
3.6 Вывод	45
4 Организационно-экономическая часть	47
4.1 Постановка задачи	47
4.2 Обоснование сметы затрат	47
4.2.1 Затраты на проектно – конструкторские и другие инженерные работы	47
4.2.2 Затраты на изготовление опытного образца	48
4.3 Вывод	51
5 Охрана труда и экология	52
5.1 Анализ опасных и вредных факторов, возникающих при сборке емкости ПЩ-50/0,7	52
5.2 Расчет местной вытяжной вентиляции при проведении сварочно-сборочных операций при сборке сосуда	57
5.3 Подбор вентилятора	63
5.4 Выводы	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

СПГ – сжиженный природный газ;

РН – ракетоноситель;

ЗИП – запасные части и принадлежности;

ППЦ – передвижная полуприцеп цистерна;

ПГС – пневмогидросхема;

КТ – компоненты топлива;

ПУ – пусковая установка;

МР – металлорукав;

ТЗ – техническое задание;

ТО – технологическая операция.

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы заправки СПГ для ракет среднего класса.

Изучение и анализ возможностей производства и применения альтернативных видов топлива показали, что наиболее перспективным является криогенное топливо – сжиженный природный газ, состоящий главным образом из метана и жидкий водород. Его минусом является меньшая по сравнению с керосином плотность, но зато он обладает высокой энергоэффективностью, что обеспечивает более полное превращение тепловой энергии в механическую.

При выполнении выпускной квалификационной работы была разработана принципиальная схема заправки, рассчитаны все необходимые параметры элементов ПГС. На основе расчетов элементов ПГС был создан общий вид всего заправочного комплекса в целом. Рассчитано необходимое количество ППЦ для выполнения всех ТО по заправке РН. Так же был произведен прочностной расчет емкости при заправке компонентом СПГ без предварительного захолаживания.

Была разработана технология сборки сосуда ППЦ-50/0,7. Также была разработана система местной вентиляции для операций, предполагающих сварочные работы в условиях изолированных помещениях.

1 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Техническое задание на дипломное проектирование

Разработать систему заправки сжиженным природным газом для ракет-носителя среднего класса со следующими техническими характеристиками, представленными в таблице 1.1.

Таблица 1.1– Технические характеристики заправочной системы

Наименование параметра	Значение параметра
1. Горючее	СПГ
2. Доза заправки, т: бака первой ступени бака второй ступени	46 12,5
3. Потери на испарения: При заправке, кг При стоянке, кг/ч	660...990 300...840
4. Стационарный внешний тепловой поток, ккал/ч (кДж/ч)	16000...66000()
Время заправки не более, ч	1,5
5. Расходы при подпитке, л/мин	30...50
6. Состояние компонента в баке изделия	Кипящий
7. Давление в баке изделия (избыточное), МПа	0,3...0,4
8. Время нахождения блока в заправленном состоянии с подпиткой	1ч
9. Кол-во заправок	1
10. Начальная концентрация метана в горючем	98%
11. Минимально допустимая концентрация метана в горючем	97%
12. Температура горючего на входе в блок, К: при заправке при подпитке	112...114 112...114

1.2 Предварительный расчет системы заправки

Стартовый комплекс состоит из стартового стола, и двумя сливными площадками, откуда осуществляется заправка РН горючим (сжиженным природным газом) и окислителем (кислородом). Длина напорной магистрали

будет определяться исходя из расчета безопасного расстояния, на котором должны находиться заправочная площадка криогенного топлива от стартового стола. Необходимо произвести оценку мощности и параметров воздушной ударной волны возможного аварийного взрыва в процессе подготовки и пуска РН "Союз - 5.1".

Так как формулы для определения безопасных расстояний для CH_4+O_2 отсутствуют, то определим во сколько раз CH_4+O_2 опаснее $\text{РГ1}+\text{O}_2$, но перед этим убедимся в правильности решения проверив во сколько раз H_2+O_2 опаснее $\text{РГ1}+\text{O}_2$.

Воспользуемся формулами для определения безопасного расстояния от ПУ до башни обслуживания [1]:

$$L_{\text{РГ1}+\text{O}_2} = 58,5\sqrt[3]{M_0}, \quad (1.1)$$

$$L_{\text{H}_2+\text{O}_2} = 94,6\sqrt[3]{M_0}, \quad (1.2)$$

где M_0 – стартовая масса ракеты.

Найдем безопасное расстояние от ПУ до башни обслуживания при использовании КТ метан:

$$L_{\text{CH}_4+\text{O}_2} = 62,6\sqrt[3]{M_0}. \quad (1.3)$$

Из формулы, представленной выше видим, что CH_4 опаснее РГ1 в $n=1,07$, тогда оптимальное расстояние между ПУ и заглубленной насосной станцией будет определяется по формуле:

$$L = \frac{1,023 \cdot \sqrt[3]{M_T}}{\Delta P_\phi^{0,575}}, \quad (1.4)$$

где M_T – тротильный эквивалент взрыва, кг;

ΔP_ϕ – допустимое давление (МПа), при котором данный вид сооружения или оборудования остается не разрушенным и работоспособным.

Безопасное расстояние от стартового стола до башни обслуживания:

$$L_{\text{CH}_4+\text{O}_2} = 62,6 \sqrt[3]{M_0} = 404,1 \text{ м.} \quad (1.5)$$

Тогда зная ΔP_ϕ , для башни обслуживания, получим следующее значение:

$$L_{\text{ПУ-БО}} = \frac{1,023 \cdot \sqrt[3]{M_T}}{\Delta P_\phi^{0,575}} \quad (1.6)$$

$$\sqrt[3]{M_T} = \frac{\Delta P_\phi^{0,575} \cdot L_{\text{CH}_4+\text{O}_2}}{1,023} = \frac{0,03^{0,575} \cdot 404,1}{1,023} = 52,6 \quad (1.7)$$

Получим оптимальное расстояние между ПУ и заглубленной насосной станцией:

$$L = \frac{1,023 \cdot \sqrt[3]{M_T}}{\Delta P_\phi^{0,575}} = \frac{1,023 \cdot 52,6}{0,3^{0,575}} = 108 \text{ м.} \quad (1.8)$$

1.3 Расчет диаметра труб напорной магистрали

Исходя из технического задания, всасывающий трубопровод емкости ПЩ-50/0,7 имеет диаметр $D = 70$ мм; можно рассчитать внутренний диаметр трубы напорной магистрали, воспользовавшись тем, что скорость течения компонента СПГ во всасывающей магистрали не должна превышать 2 м/с, а в напорной 5 м/с.

Время заправки РН будет составлять [2]:

$$\tau_{\text{зап}} = \frac{V}{Fv_{\text{всас}}} = \frac{139,3}{0,0038 \cdot 2} = 14070 \text{ сек} \approx 233 \text{ мин}; \quad (1.9)$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} = 0,0038 \text{ м}^2; \quad (1.10)$$

$$V = \frac{M_{\text{д}}}{\rho_{\text{ком}}} = \frac{58500}{420} = 139,3 \text{ м}^3; \quad (1.11)$$

где F - поперечное сечение трубопровода, м^2 ;

V - объем требуемой дозы заправки, м^3 ;

v - скорость течения компонента $\text{м}/\text{с}$;

$M_{\text{д}}$ - масса требуемой дозы заправки, кг ;

$\rho_{\text{ком}}$ - плотность компонента, при его кипении под давлением $\text{кг}/\text{м}^3$.

В результате проведенного расчета видно, что необходимо производить параллельный слив из четырех емкостей одновременно. Но дальнейшие расчеты по подбору насоса показывают, что рациональнее установить два насоса которые будут производить заправку компонента СПГ, каждый по своей независимой магистрали. Так как скорость потока в напорной магистрали $v_{\text{нап}} = 4 \text{ м}/\text{с}$ в два раза превышает скорость во всасывающей магистрали $v_{\text{всас}} = 2 \text{ м}/\text{с}$, то диаметр напорной магистрали будет составлять $D = 70 \text{ мм}$.

При параллельном сливе из четырех емкостей время заправки будет составлять:

$$\tau_{\text{зап}} = \frac{V}{4Fv_{\text{всас}}} = \frac{139,3}{4 \cdot 0,0038 \cdot 2} = 4582 \text{ сек} \approx 76 \text{ мин}. \quad (1.12)$$

В данном расчете не учитывались потери компонента, поэтому стоит взять следующий стандартный типоразмер трубопровода для проведения в дальнейшем полного гидравлического расчета системы. Таким образом диаметр

напорной магистрали будет составлять Ду 80мм; выполненный из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

1.4 Схема системы заправки

Система заправки состоит из следующих основных элементов:

1. Станции слива компонента СПГ;
2. Напорная магистрали;
3. Распределительного узла;
4. Кабель-заправочной мачты;
5. Автоматического стыковочного устройства;
6. Бассейна аварийного слива.

Данная система заправки сжиженным природным газом предназначена для заправки РН "Союз - 5.1" и обеспечивает выполнение следующих технологических операций:

- стыковку магистралей системы к горловинам баков первой и второй ступени;
- подготовку магистралей к заправке баков РН;
- заправку баков первой и второй ступени;
- подпитку баков при стоянке, заправленной РН;
- слив СПГ из баков РН в бассейн аварийного слива;
- продувку магистралей перед расстыковкой;
- прием паров сжиженного природного газа с последующим испарением;
- отбор проб СПГ и анализ.

Заправка сжиженного природного газа из ППЦ-50/0,7 в баки РН осуществляется двумя насосами.

Избыточное давление в емкостях создается за счет испарения части сжиженного природного газа внутри испарителя наддува, входящего в комплектацию каждой цистерны.

Баки первой и второй ступени имеют три уровня заполнения компонента топлива:

- «предварительный»;
- «нормальный»;
- «перелив»;

Заправка осуществляется большим напором до достижения «нормального» уровня в баках РН. После этого система переходит на малый расход подпитки. Из-за внешних теплопритоков компонент в баке испаряется быстрее, чем количество сжиженного природного газа, поступающего малым расходом подпитки и в момент падения уровня до «предварительного», происходит включение подпитки с большим расходом. Переход на малый расход осуществляется при достижении «нормального» уровня. Таким образом, осуществляется поддержание дозы в заданном диапазоне.

Слив компонента топлива осуществляется на землю, в бассейн аварийного слива, расположенного в 300 м; от стартового стола. Такое решение было принято по причине того, что СПГ является достаточно дешевым компонентом, и смысла усложнения системы заправки нет. Потому что это приведет к увеличению стоимости системы в целом и снижению надежности.

1.5 Расчет объема СПГ необходимого для всех циклов подготовки РН к пуску

Объем СПГ необходимого для проведения всех основных циклов подготовки РН к пуску складывается из следующих параметров:

- объем дозы заправки баков первой и второй ступени;
- объем заполнения заправочных трубопроводов от емкостей до баков РН;
- объем, теряющийся в ходе захолаживания трубопроводов, баков РН и оборудования системы до температуры кипения;
- объем, теряющийся при заправке и подпитки баков первой и второй ступени за счет внешнего стационарного теплового потока;

- объем продукта, теряющийся в баке;
- объем продукта, теряющийся на трение.

Произведем расчет каждого из пунктов по отдельности.

Массы дозы заправки баков первой и второй ступени заданы в техническом задании, тогда объем необходимой дозы заправки [3]:

$$V_{\text{бак}} = \frac{M_{\text{д1}} + M_{\text{д2}}}{\rho_{\text{ср.ком}}} = \frac{46000 + 12500}{420} = 139,3 \text{ м}^3. \quad (1.13)$$

Объем заправочных трубопроводов определяется из выше рассчитанной геометрии трубопровода:

$$V_{\text{труб}} = L \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} = 297,3 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 1,49 \text{ м}^3. \quad (1.14)$$

1.5.1 Объем, теряющийся в ходе захолаживания трубопроводов

Масса продукта на захолаживание трубопроводов определяется как:

$$M_3 = \frac{(M^{\text{Мет}} + M^{\text{Арм}}) \cdot C_{\text{р}}^{\text{Мет}} \Delta T}{r + \varphi C_{\text{р}}^{\text{Газ}} \Delta T}, \quad (1.15)$$

где $M^{\text{Мет}}$ - масса металла трубопровода, кг;

$M^{\text{Арм}}$ - масса металла арматуры, кг;

$C_{\text{р}}^{\text{Мет}}$ - теплоемкость металлоконструкции $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

$C_{\text{р}}^{\text{Газ}}$ - теплоемкость газа, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

r - теплота испарения продукта при температуре кипения, Дж/кг;

φ - коэффициент использования тепла паров продукта.

Масса трубопровода определяется как:

$$\begin{aligned}
 M^{\text{Мет}} &= \pi(d_{\text{вн}} + \delta)\delta L\rho_{\text{Ст}} = \\
 &= \pi(0,08 + 0,006) \cdot 0,006 \cdot 297,3 \cdot 7800 = 3757 \text{ кг};
 \end{aligned}
 \tag{1.16}$$

где δ - толщина стенки трубы, м;

$\rho_{\text{Ст}}$ - плотность трубопровода, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Масса арматуры определяется как:

$$M^{\text{Арм}} = \sum N \cdot M_{\text{шт}}^{\text{Арм}} \approx 21 \cdot 30 = 630 \text{ кг}; \tag{1.17}$$

где N - количество единиц арматуры, шт;

$M_{\text{шт}}^{\text{Арм}}$ - средняя масса единицы арматуры, кг.

Получаем:

$$M_3 = \frac{(3757 + 630) \cdot 312 \cdot (298 - 110)}{510227 + 0,85 \cdot 2237 \cdot (298 - 110)} = 296,6 \text{ кг}; \tag{1.18}$$

Или:

$$V_3 = \frac{M_3}{\rho_{\text{ср.ком}}} = \frac{296,6}{420} = 0,7 \text{ м}^3. \tag{1.19}$$

1.5.2 Объем, теряющийся при заправке за счет внешнего стационарного теплового потока

Для определения объема компонента, теряющегося при заправке, определим стационарный тепловой поток к изолированным трубопроводам.

Поскольку это приблизительный расчет, примем что основной стационарный теплоприток подходит только к трубопроводу.

Трубопроводы напорной магистрали покрыты изоляцией К - FLEX. Вокруг изоляции залит слоем пенополиуретана, и засыпан насыпным грунтом [4]. Все остальные трубопроводы покрыты изоляцией К - FLEX.

Рассчитаем теплоприток через многослойную цилиндрическую стенку на 1 метр длины, пренебрегая тепловым сопротивлением самой трубы и сопротивлением теплоотдачи от трубы к СПГ [5]:

$$q_{\text{труб}} = \frac{\pi \Delta T}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d}}, \quad (1.20)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

α_n - коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$;

D - внешний диаметр теплоизоляции, мм;

d - внешний диаметр трубопровода, мм.

Коэффициент теплопередачи:

$$\alpha_n = 10,3 + 0,052 \cdot \Delta T = 10,3 + 0,052 \cdot 188 = 21,2 \quad (1.21)$$

Тогда:

$$q_{\text{труб}} = \frac{\pi \cdot 188}{\frac{1}{21,2} + \frac{1}{2 \cdot 0,024} \cdot \ln \frac{114,5}{88,5}} = 21,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}. \quad (1.22)$$

Теплота, подводимая к напорной магистрали [4]: $q_{\text{маг}} = 5,3 \text{Вт/м}$.

Тогда потери компонента будут следующими:

$$Q = q_{\text{труб}} L_{\text{труб}} + q_{\text{маг}} L_{\text{маг}} = 21,3 \cdot 81,3 + 5,3 \cdot 216 = 2874 \text{ Вт}; \quad (1.23)$$

$$V_{\text{исп}} = \frac{tQ}{r\rho} = \frac{(76 + 120) \cdot 60 \cdot 2874}{510227 \cdot 420} = 0,16 \text{ м}^3. \quad (1.24)$$

Объем продукта, теряющийся в баке определено техническим заданием, поэтому:

$$V_{\text{Б}} = \frac{V_{\text{зап}} + Q_{\text{подпит}} \cdot t_{\text{подпит}}}{\rho} = \frac{990 + 840 \cdot 2}{420} = 6,4 \text{ м}^3. \quad (1.25)$$

1.5.3 Объем продукта, теряющийся на трение

Определим линейную плотность теплового потока, подводимого к топливу за счет трения о внутреннюю поверхность напорной магистрали:

$$q_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{L}, \quad (1.26)$$

где $Q_{\text{тр}}$ – тепловой поток, подводимый к топливу за счет трения, Вт;

L – длина напорной магистрали, м.

При этом:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{местн}} \cdot \Delta P_{\text{тр}}}{\rho_{\text{местн}}}, \quad (1.27)$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – потери давления на преодоление сил трения;

$G_{\text{местн}}$ – массовый расход СПГ;

$\rho_{\text{местн}}$ – плотность СПГ.

$$\Delta P_{\text{тр}} = \varepsilon \frac{L}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_{\text{местн}} \cdot \omega_{\text{ср}}^2}{2}, \quad (1.28)$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода;

$\omega_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения СПГ по трубопроводу;

ε – гидравлический коэффициент трения.

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{4G_{\text{местн}}}{\rho_{\text{местн}} \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2}, \quad (1.29)$$

$$G_{\text{местн}} = Q \cdot \rho_{\text{местн}} = 0,03 \cdot 420 = 12,6 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad (1.30)$$

Для нахождения гидравлического коэффициента трения СПГ о поверхность трубопровода из-за шероховатости необходимо определить значение числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{1}{2} \cdot \frac{\vartheta_{\text{нап}} \cdot d_{\text{вн}}}{\gamma} = \frac{4 \cdot 0,08}{0,22 \cdot 10^{-6}} = 854545, \quad (1.31)$$

где γ – средний коэффициент кинематической вязкости СПГ, $\text{м}^2/\text{с}$.

Как видно значение числа Рейнольдса значительно выше критического равного 2300, следовательно, режим течения СПГ в напорной магистрали будет турбулентным.

Тогда коэффициент трения, для гидравлически гладких труб и турбулентного режима движения топлива в диапазоне значений числа Рейнольдса ($3 \cdot 10^3 \dots 10^8$) рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg Re - 1,64)^2}. \quad (1.32)$$

С учетом всех уравнений линейная плотность теплового потока, подводимого к топливу за счет трения о внутреннюю поверхность трубопровода, может быть определена соотношением:

$$q_{\text{тр}} = \frac{8 \cdot G_{\text{мест}}^3}{(1,82 \cdot \lg Re - 1,64)^2 \cdot \rho_{\text{мест}}^2 \cdot \pi^2 \cdot d_{\text{вн}}^5} =$$

$$= \frac{8 \cdot 12,6^3}{(1,82 \cdot \lg(854545) - 1,64)^2 \cdot 420^2 \cdot \pi^2 \cdot 0,08^5} = 11 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}. \quad (1.33)$$

Тогда, приняв расход СПГ постоянный за все время заправки и подпитки:

$$V_{\text{тр}} = \frac{t q_{\text{тр}} L_{\text{маг}}}{r \rho} = \frac{(76 + 120) \cdot 11 \cdot 216}{510227 \cdot 420} = 0,13 \text{ м}^3. \quad (1.34)$$

Необходимое объем СПГ достаточного для обеспечения одного РН:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{бак}} + V_{\text{труб}} + V_{\text{з}} + V_{\text{исп}} + V_{\text{Б}} + V_{\text{тр}} =$$

$$= 139,3 + 1,49 + 0,7 + 0,16 + 6,4 + 0,13 = 148,6 \text{ м}^3. \quad (1.35)$$

Коэффициент заполнения ППЦ-50/0,7 составляет $k_{\text{зап}} = 0,86$, тогда объем хранимый и перевозимый одной цистерной составляет:

$$V_{\text{ппц}} = 50 \cdot k_{\text{зап}} = 50 \cdot 0,86 = 43 \text{ м}^3. \quad (1.36)$$

Количество емкостей для необходимого для обеспечения заправки одного РН:

$$K_{\text{ппц}} = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{ппц}}} = \frac{148,6}{43} = 3,44 \text{ шт.} \quad (1.37)$$

Следовательно, предположение, что необходимое количество емкостей составляет четыре единицы верно и объема СПГ достаточно для выполнения заправки РН.

1.6 Гидравлический расчет заправки баков РН

Гидравлический расчет сопротивлений магистрали проводится согласно гидравлической схеме для отдельных участков и различных режимах работы системы. Сопротивления S_i участков магистрали определяются по формуле [6]:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m1} S_{\text{тр}ij} + \sum_{j=1}^{m2} S_{\text{м}ij}, \quad (1.38)$$

где $S_{\text{тр}ij}$ – сопротивление трения по длинам j -х трубопроводов или металлорукавов МР, $\text{с}^2/\text{м}^5$ на i -м участке;

$S_{\text{м}ij}$ – местные сопротивления j -ого вида на i -м участке, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Для определения $S_{\text{тр}}$ и $S_{\text{м}}$ используются соотношения общего вида:

$$S_{\text{тр}} = 0,0827 \frac{\lambda l}{d_{\text{вн}}^5}, \quad (1.39)$$

$$S_{\text{м}} = 0,0827 \frac{\xi}{d_{\text{вн}}^4}, \quad (1.40)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения трубопровода;

l – длина трубопровода, м;

$d_{\text{вн}}$ – проходной диаметр магистрали, мм;

ξ – коэффициент местного сопротивления.

Исходя из спроектированной схемы, составим таблицу местных сопротивлений:

- напорной магистрали 1 до бака первой ступени (таблица 1.2);
- напорной магистрали 2 до бака второй ступени (таблица 1.3);
- напорной магистрали 1 и 2 при совместной заправки бака первой ступени (таблица 1.4)

Таблица 1.2 – Местные сопротивления напорной магистрали 1 до бака первой ступени

Вид сопротивления	$d_{вн}$, мм	Количество однотипных сопротивлений m , шт.	Коэффициент сопротивления ξ или λ	$m \cdot \xi$	Гидросопротивление $S \cdot 10^{-3}$, c^2/m^5
МР $l=10m$	80	-	0,08	-	20,2
МР $l=3,2m$	100	-	0,08	-	8,1
Плавный поворот на 90°	80	8	1,1	8,8	17,7
Плавный поворот на 90°	100	6	1,1	6,6	5,4
Проходной тройник	100	3	0,1	0,3	0,2
Поворот в тройнике	100	4	1,32	5,28	4,4
Клапан	100	1	5	5	4,1
Клапан	80	2	5	10	20,1
Трубопровод $l=137m$	80	-	0,02	-	69,1
Трубопровод $l=21,1m$	100	-	0,02	-	3,5
Итого S_1					273,1

Таблица 1.3 – Местные сопротивления напорной магистрали 2 до бака второй ступени

Вид сопротивления	$d_{вн}$, мм	Количество однотипных сопротивлений m , шт.	Коэффициент сопротивления ξ или λ	$m \cdot \xi$	Гидросопротивление $S \cdot 10^{-3}$, c^2/m^5
МР $l=10m$	80	-	0,08	-	20,2
МР $l=26,8m$	80	-	0,08	-	54
Вход в трубу с экраном	80	2	1,37	2,74	5,5
Плавный поворот на 90°	80	10	1,1	11	22,2
Плавный поворот на 90°	100	4	1,1	4,4	3,6
Проходной тройник	100	2	0,1	0,2	0,2
Проходной тройник	80	3	0,1	0,3	0,6
Поворот в тройнике	100	1	1,32	1,32	1,1
Поворот в тройнике	80	1	1,32	1,32	2,7
Клапан	80	3	5	15	30,2
Трубопровод $l=1,5m$	100	-	0,02	-	0,2
Трубопровод $l=139,1m$	80	-	0,02	-	70,2
Итого S_2					334,2

Таблица 1.4 – Местные сопротивления напорной магистрали 1 и 2 при совместной заправки бака первой ступени

Вид сопротивления	$d_{вн}$, мм	Количество однотипных сопротивлений m , шт.	Коэффициент сопротивления ξ или λ	$m \cdot \xi$	Гидросопротивление $S \cdot 10^{-3}$, c^2/m^5
МР $l=20m$	80	-	0,08	-	40,4

Продолжение таблицы 1.4

Вид сопротивления	$d_{вн}$, мм	Количество однотипных сопротивлений m , шт.	Коэффициент сопротивления ξ или λ	$m \cdot \xi$	Гидросопротивление $S \cdot 10^{-3}$, c^2/m^5
МР $l=3,2m$	80	-	0,08	-	6,4
Вход в трубу с экраном	80	4	1,37	5,48	11,1
Плавный поворот на 90°	80	14	1,1	15,4	31,1
Проходной тройник	100	4	0,1	0,4	0,3
Проходной тройник	80	5	0,1	0,5	1
Поворот в тройнике	100	3	1,32	3,96	3,3
Поворот в тройнике	80	3	1,32	3,96	7,9
Клапан	80	6	5	30	60,8
Трубопровод $l=22,6m$	100	-	0,02	-	3,7
Трубопровод $l=234m$	80	-	0,02	-	118,1
Итого S_3					520,1

1.7 Расчет характеристики заправочных магистралей

Потери напора в напорной магистрали 1 до бака первой ступени:

$$\Delta H_{\text{маг } 1} = S_1 Q_{1,2}^2 + \Delta H_{\text{доз}} + \Delta H_{\text{изб}} + \Delta H_{\text{ст1}}, \quad (1.41)$$

где $Q_{1,2}$ – расход СПГ бака первой и второй ступени, m^3/c ;

$\Delta H_{\text{доз}}$ – потери напора в расходомере, м;

$\Delta H_{\text{изб}}$ – потери напора для создания избыточного давления в баках РН, м;

$\Delta H_{\text{ст1}}$ – разница уровня между минимальным уровнем СПГ в емкости и максимальным уровнем заправки бака первой ступени, м;

Расход компонента в баки РН:

$$Q_{1,2} = \frac{V}{2 \cdot t} = \frac{139,3}{2 \cdot 4582} = 0,015 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.42)$$

Потери напора в расходомере:

$$\Delta H_{\text{доз}} = 280 \cdot Q_{1,2}^2 = 2800 \cdot 0,015^2 = 0,63 \text{ м}. \quad (1.43)$$

Потери напора для создания избыточного давления в 4 атмосферы:

$$\Delta H_{\text{изб}} = \frac{P}{\rho \cdot g} = \frac{4 \cdot 10^5}{420 \cdot 9,81} = 97,1 \text{ м.} \quad (1.44)$$

Таким образом:

$$\Delta H_{\text{маг } 1} = 273,1 \cdot 10^3 \cdot 0,015^2 + 0,63 + 97,1 + 19,1 = 178,3 \text{ м.} \quad (1.45)$$

Потери напора в напорной магистрали 2 до бака второй ступени:

$$\Delta H_{\text{маг } 2} = S_2 Q_{1,2}^2 + \Delta H_{\text{доз}} + \Delta H_{\text{изб}} + \Delta H_{\text{ст}2}, \quad (1.46)$$

где $\Delta H_{\text{ст}2}$ – разница уровня между минимальным уровнем СПГ в емкости и максимальным уровнем заправки бака второй ступени, м;

Таким образом:

$$\Delta H_{\text{маг } 2} = 334,2 \cdot 10^3 \cdot 0,015^2 + 0,63 + 97,1 + 28,9 = 201,8 \text{ м.} \quad (1.47)$$

Потери напора в напорной магистрали 1 и 2 при совместной заправки бака первой ступени:

$$\Delta H_{1,2} = S_3 (2Q_{1,2})^2 + \Delta H_{\text{доз}} + \Delta H_{\text{изб}} + \Delta H_{\text{ст}1}. \quad (1.48)$$

Таким образом:

$$\Delta H_{1,2} = 520,1 \cdot 10^3 \cdot 0,03^2 + 0,63 + 24,3 + 19,1 = 397,2 \text{ м.} \quad (1.49)$$

Получаем что:

$$\Delta H_{\text{маг 1}} < \frac{\Delta H_{1,2}}{2} < \Delta H_{\text{маг 2}}$$

Следовательно, подбор насоса следует подбирать по максимальные потери напора, которая равна 202 м.

1.8 Подбор насоса

Среди криогенных центробежных насосов наиболее применимым является насос VLT Cryogenic, который создаст необходимый напор 202 метров с заданным расходом 55 м³/ч. Принимаем решение установить именно этот центробежный насос. Крионасосы серии VLT Cryogenic выпускаются в стандартном и плоском исполнении корпуса, с различными типами фланцев, с ручным или автоматическим управлением.

Таблица 1.5 – характеристики насоса VLT Cryogenic

Производитель	RUHRUMPEN
Тип насоса	Центробежный вертикальный
Давление на входе в насос	0,1-0,2МПа
Давление на выходе из насоса	0,81 МПа
Максимальное давление на выходе	1,64 МПа
Рабочий расход	6-600 м ³ /ч
Минимально возможный расход	4 м ³ /ч
% минимального расхода от номинального	7,3%

1.9 Вывод

В данной части дипломного проекта разработана система заправки сжиженным природным газом для ракет – носителя среднего класса с техническими характеристиками заправочной системы. Был произведен предварительный расчет системы заправки, безопасного расстояния, на котором должны находиться заправочная площадка криогенного топлива от стартового стола и внутренний диаметр трубы напорной магистрали.

В результате проведенного расчета видно, что необходимо производить параллельный слив из четырех емкостей одновременно. Но расчеты по подбору насоса показывают, что рациональнее установить два насоса которые будут

производить заправку компонента СПГ, каждый по своей независимой магистрали.

2 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

В данной части дипломного проекта исследуется возможность заправки сжиженным природным газом емкости ППЦ-50/0,7 без предварительного захолаживания. СПГ это криогенный компонент с температурой кипения при нормальных условиях 111°K . Проблема возникает в том, что, при заправке «теплой» емкости, у которой температура 300°K ., возникает неравномерное температурное поле, где разница между минимальным и максимальным значениями составляет примерно 189°K . Во время заправки неравномерное распределение температуры, приводит к пластическим деформациям внутреннего сосуда, которые могут привести к разрушению конструкции.

Согласно ГОСТ 21957-76 захолаживание оборудования является нестационарным процессом и требует соблюдения следующих предосторожностей:

1. Для оборудования, имеющего небольшую массу, и для трубопроводов внутренним диаметром менее 600 мм захолаживание производится прямым способом, и темп их заполнения СПГ лимитируется только общими механическими соображениями, изложенными ниже.

2. Для массивного оборудования захолаживание должно быть постепенным, рекомендуется градиент температуры порядка $3\text{-}5^{\circ}\text{C}$ в час для резервуаров и больших емкостей, а также для трубопроводов больших диаметров. Равномерное захолаживание реализуется с помощью пульверизаторов, распределяющих сжиженный природный газ – охладитель перед собственно наполнением системы СПГ.

В любом случае необходимо контролировать:

- деформации (перемещения) трубопроводов, сравнивая их с теоретическими значениями;
- свободу движения подвижных опор;
- захолаживание подвижных деталей, особенно в соединениях (неравномерное захолаживание подвижного фланца может вызвать утечки);

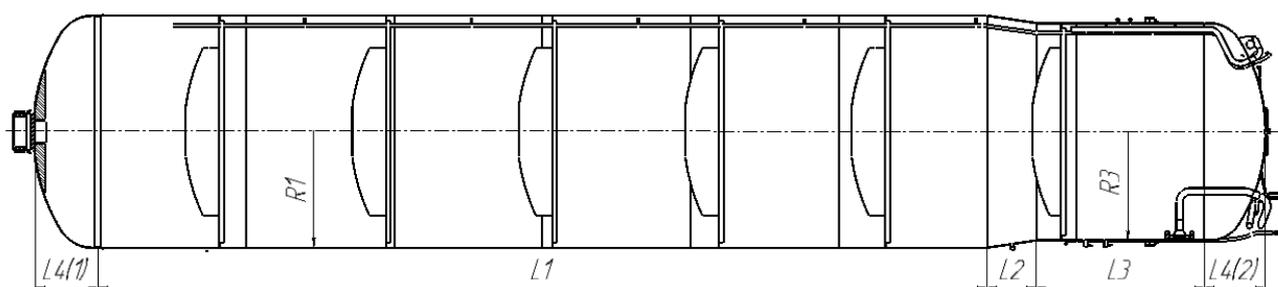
- общий объем испарений.

Таким образом можно сделать вывод о том, что, захлаживание довольно длительный процесс, требующий высокий уровень контроля, а соответственно несущий за собой экономические потери на его реализацию. Поэтому требуется провести исследование о возможности предотвращения этого процесса, и непосредственно сразу приступить к процессу заправки емкости.

2.1 Создание и расчет математической модели заправляемого сосуда

По исходным данным ППЦ-50/0,7 заправляется в течении двух часов при массе заполнения СПГ 18 тонн. Расчет будет включать десять этапов, то есть наблюдения за состоянием деформаций, перемещений и напряжений в сосуде каждые 12 минут.

Для задания термического поля необходимо определить уровень жидкости в сосуде при заправке емкости в течении двух часов каждые 12 минут. Соответственно требуется создать модель геометрии сосуда, которая будет описывать внутренней объем в зависимости от уровня заполнения. На рисунке 2.1 представлена реальная геометрия сосуда, необходимо создать математическо-функциональную модель, заправляемую постоянным расходом, для дальнейших расчетов в среде SolidWorks.



Рисунок–2.1 Заправляемый сосуд

Для задания температурного поля необходимо определить функцию объема материала сосуда которая контактирует с паром в зависимости от уровня заполнения СПГ.

2.1.1 Определение температуры при контакте стенка-жидкость

Определим время наступление теплового равновесия между стенкой сосуда и СПГ, при условии того что:

- расход постоянен;
- внешние теплопритоки отсутствуют;
- компонент полностью контактирует со стенкой сосуда;
- в сосуд входит однофазный поток жидкости;
- в области контакта жидкости со стенкой интенсивность теплообмена пропорциональна средне логарифмической разности температур между стенкой и жидкостью в нижнем сечении сосуда и на зеркале жидкости;
- в области жидкости аксиальную теплопроводность вдоль стенки не учитывается, то есть температура стенки в каждом сечении при контакте с жидкостью определяется из условий локального теплообмена.

При использовании допущений описанных выше получим функцию времени охлаждения стенки до равновесной температуры [7]:

$$\tau_Q = \frac{M_V C_{ст}}{C_{рг}} \cdot \left(1 + \frac{G \cdot C_{рг}}{\alpha \cdot F}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{\theta_{нач} - T_s + \frac{h_1 - h_{вх}}{C_{рг}}}{\frac{h_1 - h_{вх}}{C_{рг}} \cdot \left(\frac{G \cdot C_{рг}}{\alpha \cdot F}\right)}\right), \quad (2.1)$$

где T_s – температура насыщения, °К;

$\theta_{нач}$ – начальная температура стенки, °К;

$C_{ст}$ – теплоемкость стали, Дж/кг·К;

$C_{рг}$ – теплоемкость метана, Дж/кг·К;

$h_{вх}$ – энтальпия жидкой фазы метана, Дж/кг;

h_1 – энтальпия паровой фазы метана, Дж/кг;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К;

G – расход метана, кг/с;

F – площадь контакта, м²;

M_V – объем стали контактирующей с метаном, м^3 .

Также функцию температуры стенки при контакте жидкой фазы метана [7]:

$$\theta_\tau = \left(\theta_{\text{нач}} - T_S + \frac{h_1 - h_{\text{ВХ}}}{C_{\text{пр}}} \right) \cdot e^{\left(\frac{-G \cdot C_{\text{пр}} \cdot \tau}{M_V C_{\text{ст}} \cdot \left(1 + \frac{G \cdot C_{\text{пр}}}{\alpha \cdot F} \right)} \right)} + T_S - \frac{h_1 - h_{\text{ВХ}}}{C_{\text{пр}}}. \quad (2.2)$$

2.1.2 Определение температуры при контакте стенка-пар

Для определения температуры стенки в данном случае воспользуемся следующими допущениями:

- в процессе заполнения в сосуде имеются две области с четкой границей между ними: в нижней части сосуда находится жидкость, в верхней части пар;
- теплообмен между стенками сосуда и внешней средой отсутствует;
- теплообмен между стенками сосуда и газом идеальный, то есть температура газа на выходе из сосуда равна температуре стенки;
- скорость всплытия пузырей пара намного выше скорости движения зеркала жидкости, поэтому весь образующийся пар выходит через зеркало жидкости в свободное пространство, а паросодержание жидкости можно принять равным нулю.

Функция изменения температуры стенки, контактирующей с паром при учете допущений, указанных выше:

$$\theta_1 = T_S + (\theta_{\text{нач}} - T_S) \cdot e^{\left(\frac{-\alpha \cdot M_L \cdot C_{\text{пр}} \cdot (\theta_{\text{нач}} - T_S) \tau}{V \cdot C_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{пар}} \cdot h_1} \right)}, \quad (2.3)$$

где M_L – изменение массы метана на каждом этапе заправки, кг;

τ – время заправки, с;

V – объем стали контактирующий с паровой областью, м^3 ;

$\rho_{\text{пар}}$ – плотность пара, кг/м³;

2.2 Создание и расчет CAD модели заправляемого сосуда в среде SolidWorks

Решение данной задачи заключается в оптимизации разделения конечных элементов. Для этого необходимо создать каждый элемент внутреннего сосуда в отдельности, чтобы затем задать различные конечные элементы: пластинчатые и объемные. В программном комплексе SolidWorks 2017 созданы модели каждого несущего элемента рисунки 2.2, 2.3 внутреннего сосуда и объединены в сборку.

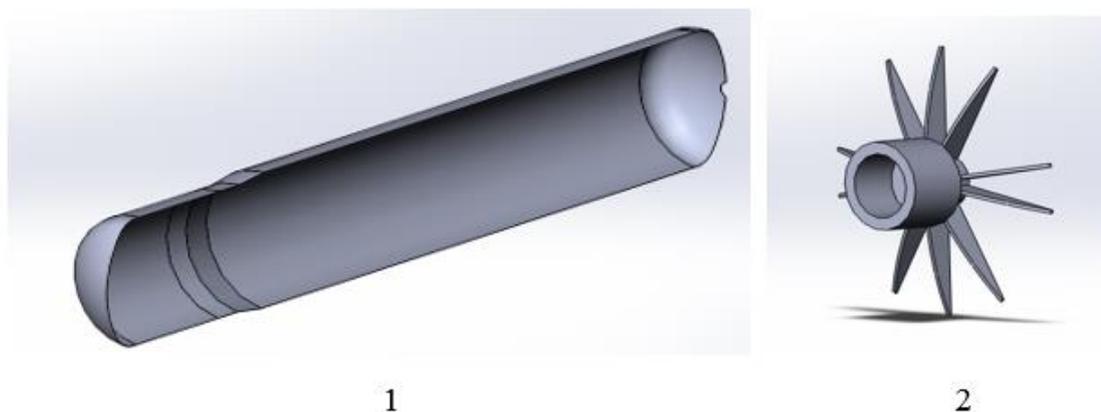


Рисунок 2.2 – Несущие элементы сосуда

1- сосуд; 2 – переднее крепление

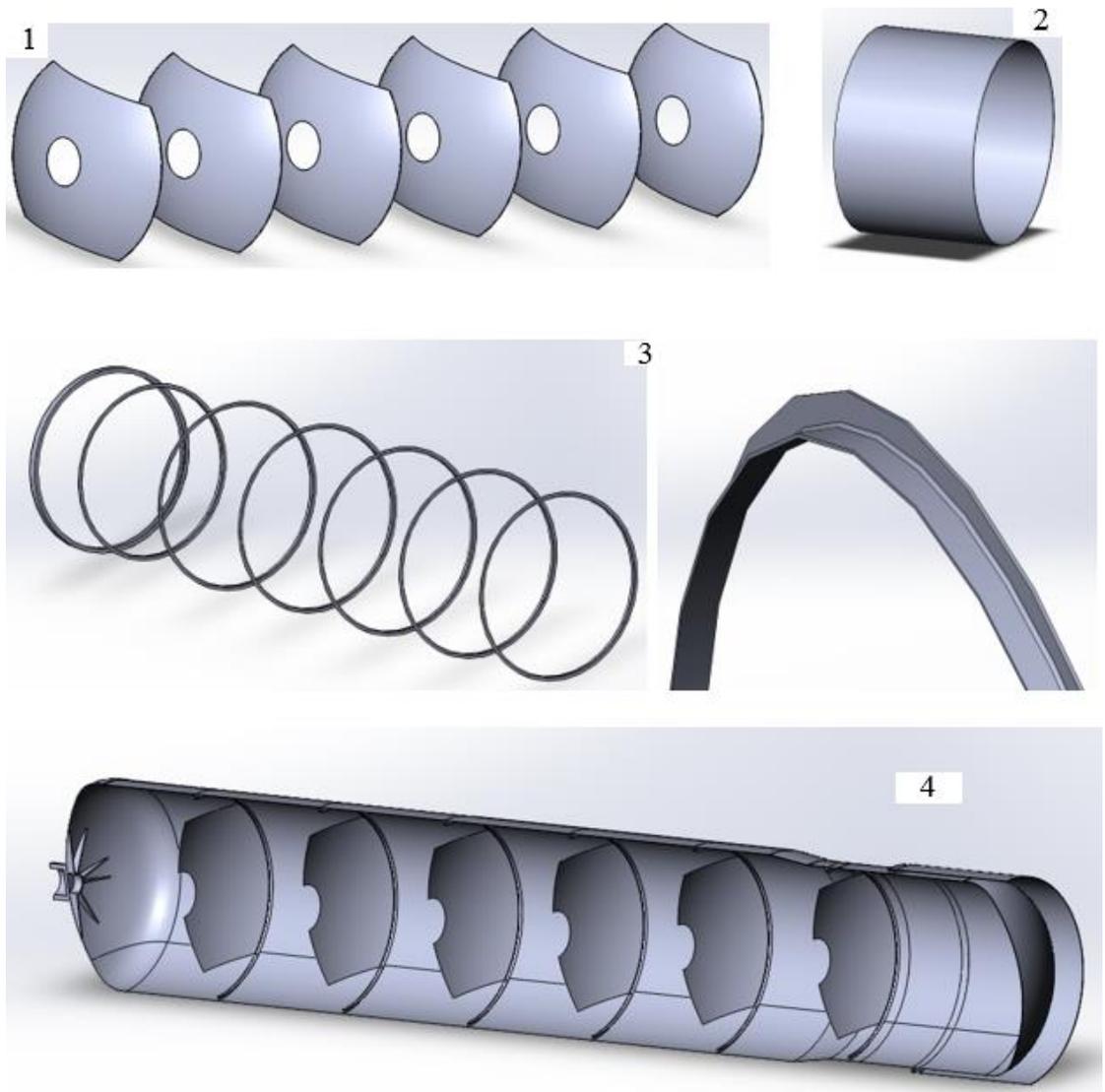


Рисунок 2.3 – Несущие элементы сосуда

1- шпангоуты; 2– заднее крепление; 3– уголки; 4– сосуд в сборе

Между всеми элементами сборки во вкладке Simulation вручную заданы контакты компонентов «связанные» рисунок 2.4, глобальный контакт установлен как «нет проникновения». Это требуется для того чтобы различные конечные элементы были связаны между собой, выбранные компоненты и тела ведут себя так, как будто они были сварены во время моделирования. Для связанного контакта программа создает совместимую сетку на изначально контактирующих областях. Если сетка совместима, программа объединяет совпадающие узлы по общему сопряжению.

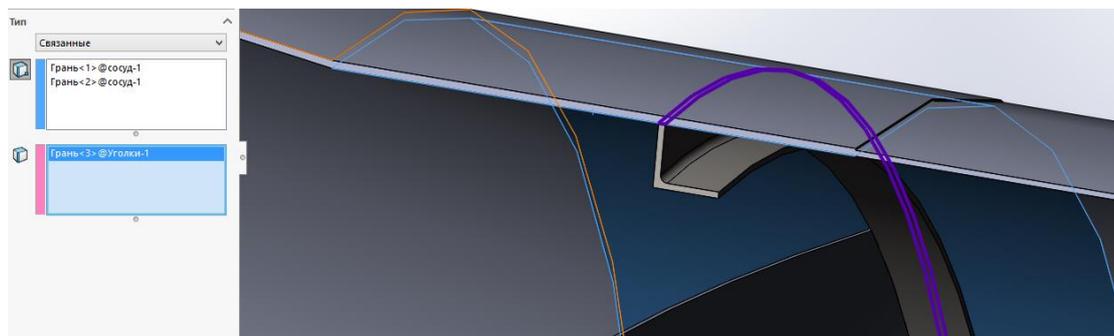


Рисунок 2.4 – Контакты компонентов сборки

2.2.1 Граничные условия

Внутренний сосуд закреплен с внешней оболочкой в передней и задней части. В задней части вид крепления "заделка" по торцевой части переднего крепления. В задней части это крепление на цилиндрических гранях, заднего крепления с ограничением движения в плоскости ZY рисунок 2.5. Заделка для твердых тел этот тип ограничения устанавливает все поступательные степени свободы на нуль. Для оболочек и балок он устанавливает поступательные степени свободы и вращения на нуль. Для стержневых соединений он устанавливает поступательные степени свободы на нуль. При использовании настоящего типа ограничения нет необходимости в справочной геометрии.

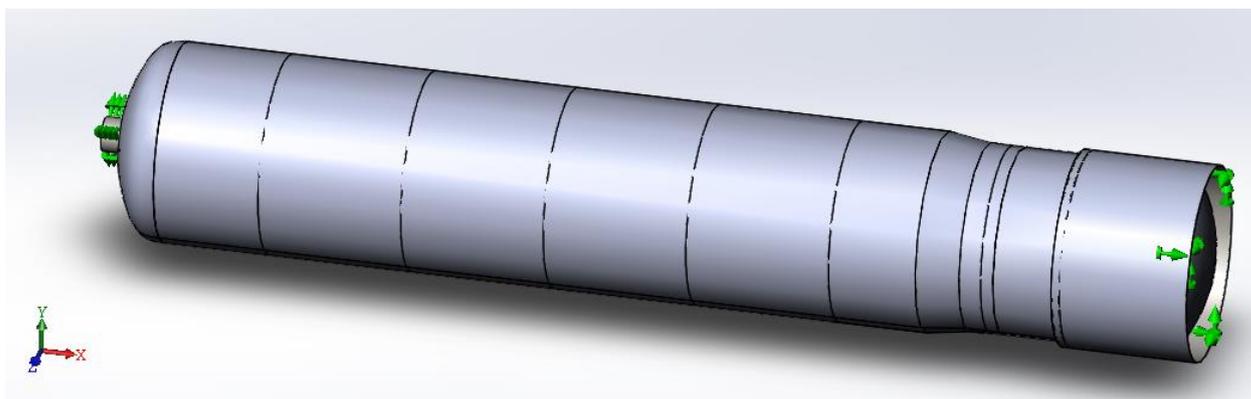


Рисунок 2.5 – Закрепления сосуда

При заправке на внутренний сосуд действуют четыре вида внешних нагрузок рисунок 2.6:

1. Сила тяжести;
2. Внутреннее давление 1 атм;

3. Гиостатическое давление со стороны СПГ;
4. Термические нагрузки.

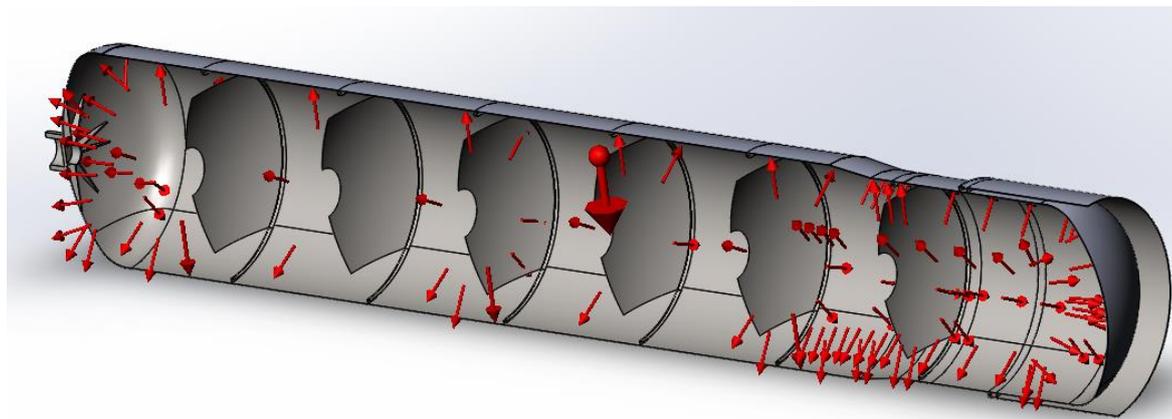


Рисунок 2.6 – Внешние нагрузки

В исследовании используется комбинированная сетка на основе кривизны поверхности рисунок 2.7. Сетка на основе кривизны требуется для того чтобы в местах соединения различных видов конечных элементов, деформация конструкции осуществлялась как единое целое.

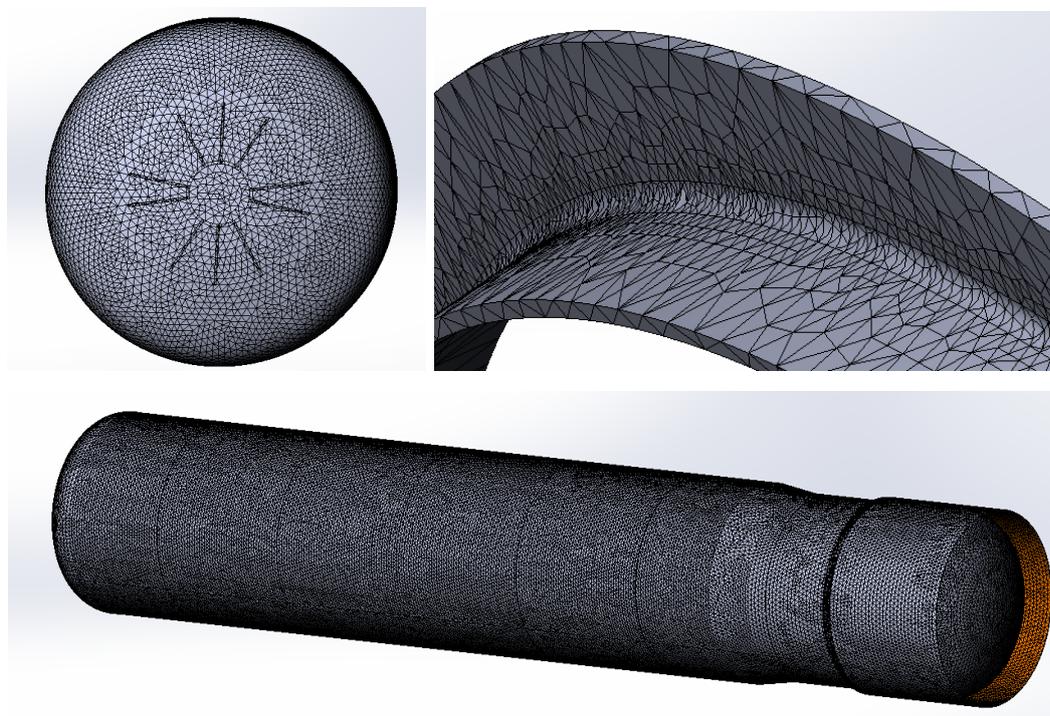


Рисунок 2.7 – Сетка

2.2.2 Анализ полученных результатов

Напряжения возрастают на протяжении всего заправочного процесса, связано это с понижением температуры и граничным условием закрепления. При снижении температуры объем материала уменьшается, а заданный вид крепления не позволяет этого сделать, из-за этого и наблюдается тенденция роста напряжений

На рисунке 2.8 показан упрощенный вид закрепления, который применяется в расчете, он описывает общее поведение конструкции. Для проверки отсутствия критических напряжений, строится дополнительный элемент, представленный на рисунке 2.9. На рисунках 2.10 и 2.11 показано температурное поле и напряжения, а на рисунке 2.12 показано эпюра напряжений.

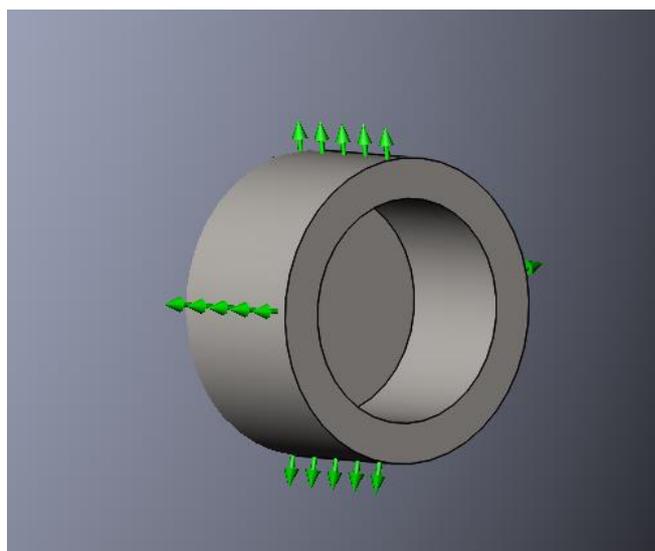


Рисунок 2.8 – Упрощенный вид закрепления

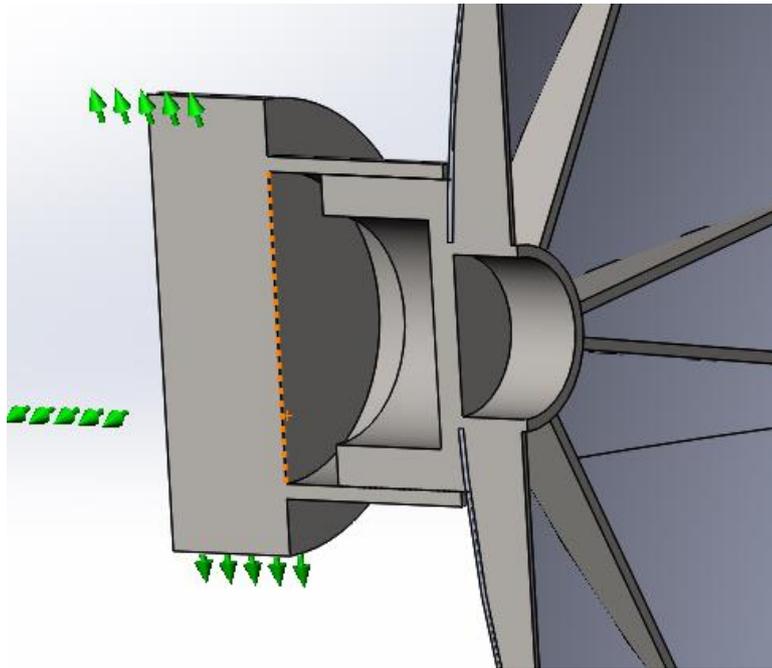


Рисунок 2.9 – Дополнительный элемент

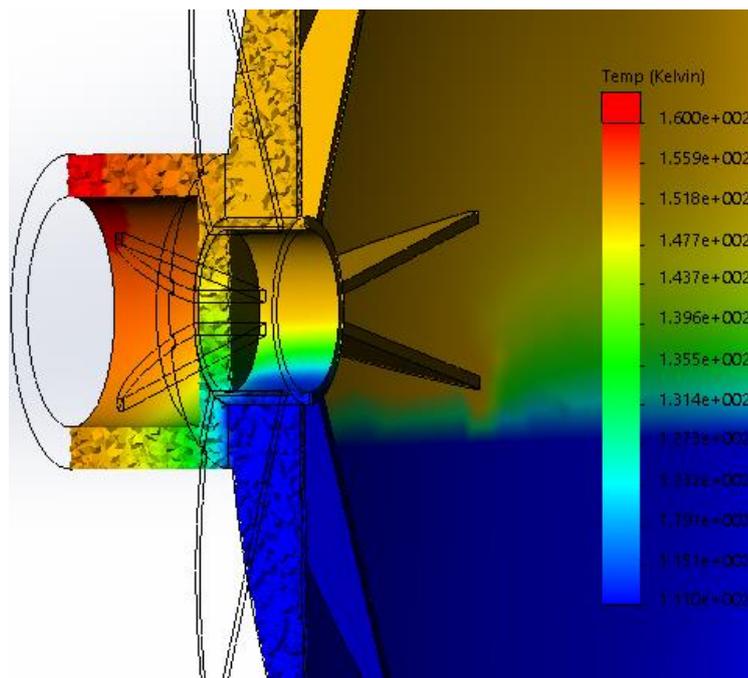


Рисунок 2.10 – Температурное поле

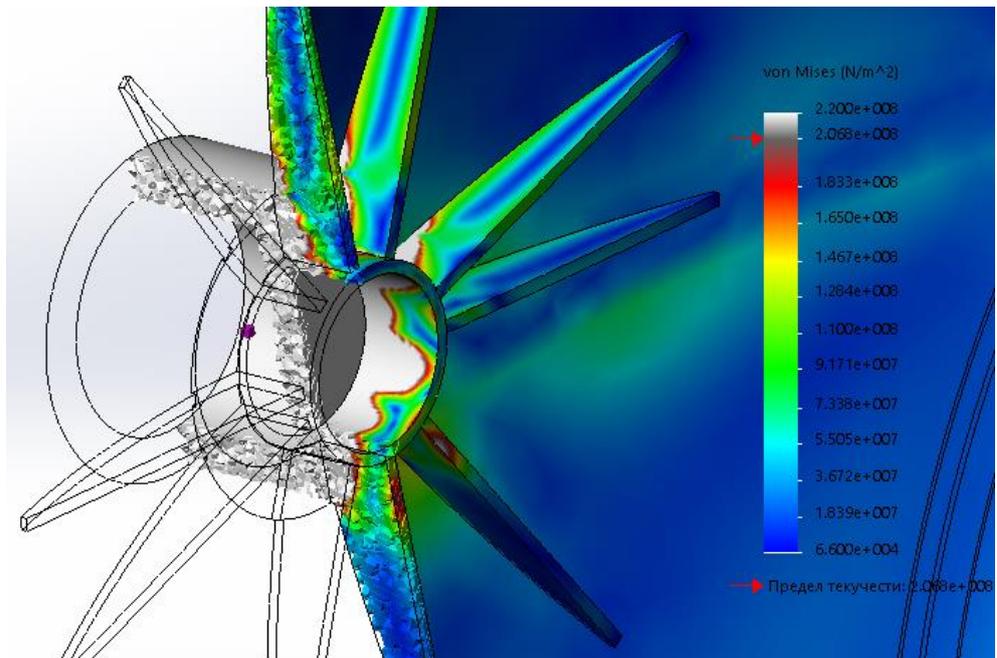


Рисунок 2.11 – Эпюра напряжений

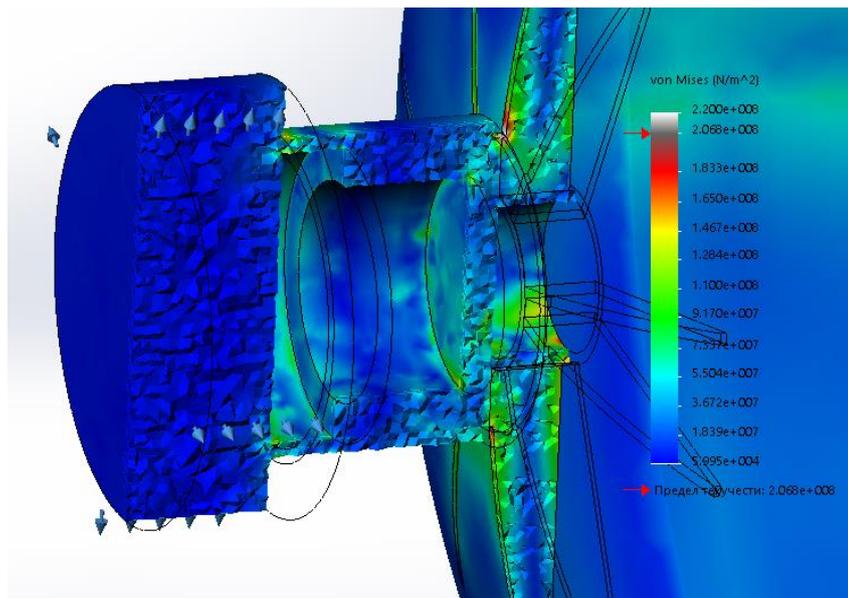


Рисунок 2.12 – Эпюра напряжений с дополнительным элементом

Напряжения в зоне достигают максимальных значений в начале заправки и снижаются в течении всего заправочного процесса. Связано это с большой разностью температуры стенки в области контакта с жидкостью и паром.

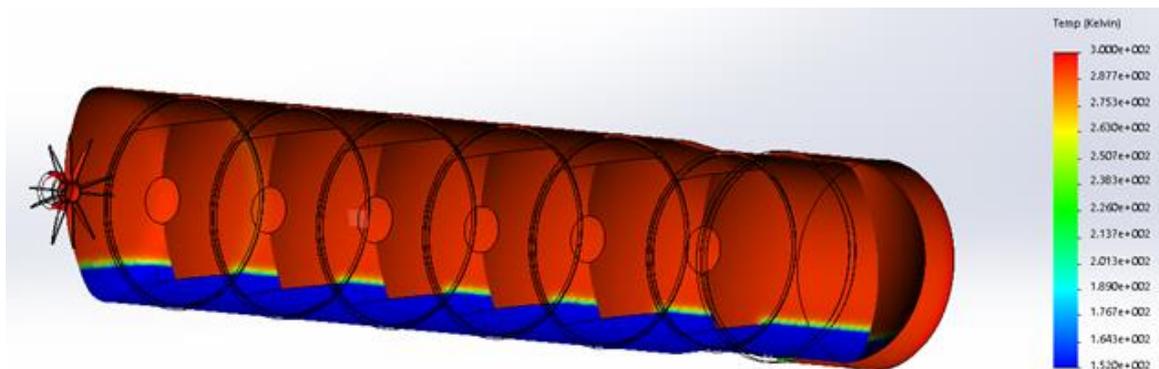


Рисунок 2.13 – Температурное поле время с начала заправки 720 секунд

Материал, который контактирует с жидким компонентом остывает в десятки раз быстрее и сужается, из-за этого емкость изгибается что приводит к огромным деформациям и ее разрушению. На рисунках 2.13, 2.14, 2.15 показано температурное поле и эпюры напряжений. Разница температур на 720 сек. будет составлять порядка 140°K .

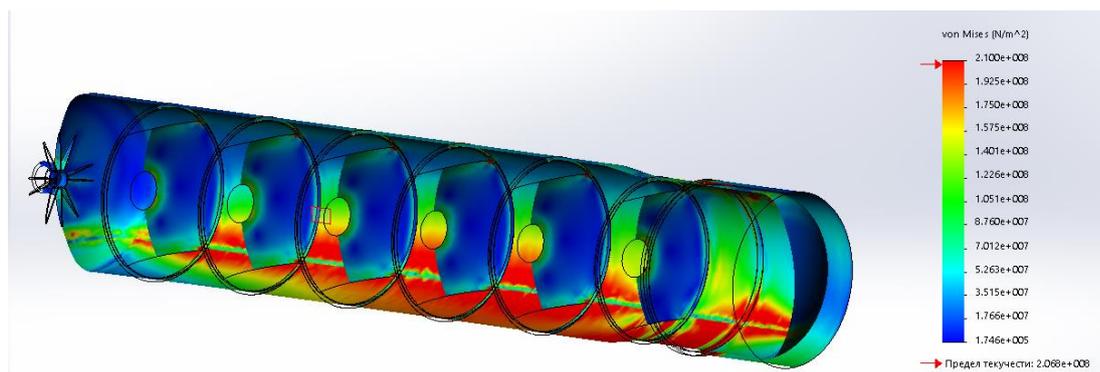


Рисунок 2.14 – Эпюра напряжений время с начала заправки 720 секунд

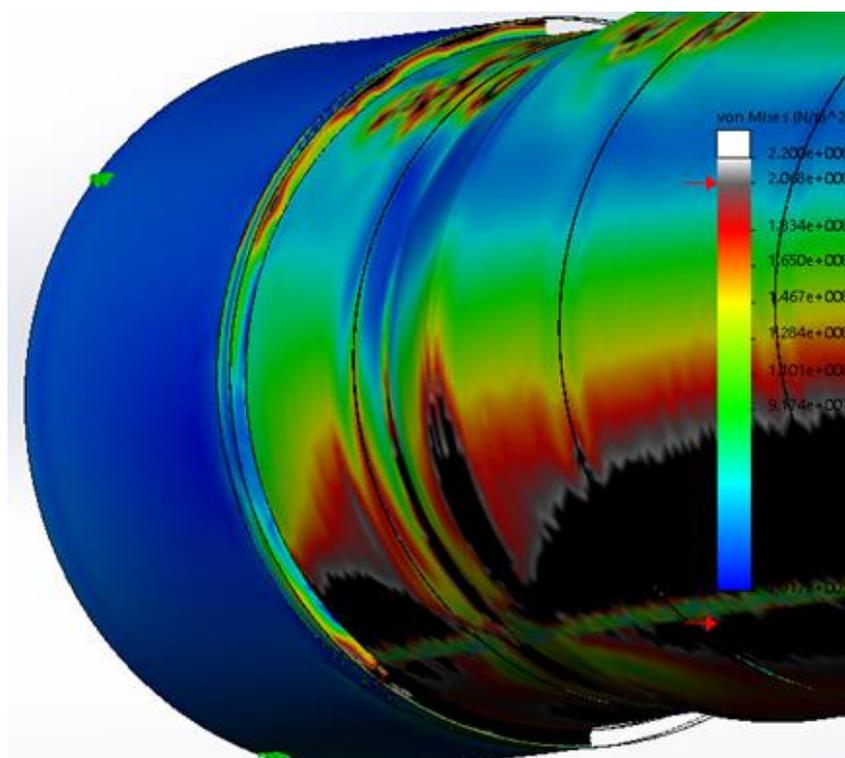


Рисунок 2.15 – Эпюра напряжений

2.3 Вывод

В данной части дипломного проекта проведено исследование возможности заправки СПГ емкости ППЦ-50/0,7 без предварительного захлаживания. Создана математическая модель заправляемого сосуда из которой видно, что время наступления теплового равновесия в зоне контакта стенки с жидкой средой в десятки раз превышает время в зоне контакта стенки с паром. Поэтому в начале заправки возникает большая разница температур в зоне зеркала жидкости, что приводит к пластическим деформациям внутреннего сосуда, которые и несут разрушение конструкции.

Данная полуприцеп цистерна создана для приема, перевозки и выдачи СПГ в хранилища. Так как испарение продукта составляет порядка 0,14% в сутки, то благодаря остаткам продукта в связи с геометрией емкости, время, когда емкость станет «теплой», будет занимать недели. Таким образом захлаживание необходимо проводить только при вводе в эксплуатацию или при очень редком использовании цистерны.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Назначение изделия

Полуприцеп цистерна представляет собой криогенный резервуар с высокоэффективной экранно-вакуумной изоляцией, оснащена арматурным шкафом с необходимым для выполнения технологических операций оборудованием и приборами. Полуприцеп цистерна состоит из двух основных частей: сосуда, выполненного из стали 12Х18Н10Т и кожуха выполненного из стали 09Г2С. Для уменьшения теплового потока сосуд обмотан слоями изоляции, а из полости между сосудом и кожухом откачен воздух.

ППЦ-50/0,7 представляет собой сварную металлоконструкцию из сборочных единиц и деталей. Из емкости выходят патрубки для подключения к системе заправки. Каждый выход является тепловым мостом, для уменьшения теплового потока воздуха.

3.2 Анализ технических требований и выявление технологических задач

Изделие в целом должно удовлетворять следующим требованиям:

- надежность;
- долговечность;
- использование стандартного и простого инструмента при проведении технического обслуживания;
- дешевизна и доступность материала.

При сборке сосуда используются следующие сварные швы

- по ГОСТ 5264-80 тавровые: Т1, Т3, Т6, Т8 и стыковой С20;
- по ГОСТ 8713-79 стыковые: С18, С19;
- по ГОСТ 14771-76 стыковые: С2, С19, С22.

При изготовлении нельзя допускать детали с вмятинами, выбоинами и другими дефектами, согласно соответствующему ГОСТ 34347-2017.

На всю сборку назначен квалитет точности 14.

Исходя из вышеперечисленных технических требований, можно выделить следующие технологические задачи:

1. Для сборки сосуда и его сборочных единиц применяется ручная дуговая сварка по ГОСТ 9466-75, сварка в среде инертных газов по ГОСТ 14771-76 и автоматическая сварка под флюсом по ГОСТ 8713-79. Сварка производится электродами типа ОЗЛ-8 по ГОСТ 9466-75 и для полуавтоматической сварки в среде инертных газов, автоматической под флюсом используется проволока Св-04Х19Н9 по ГОСТ 2246-70.

2. Для обеспечения простоты сборки количество сборочных операций должно быть минимальным;

3. Высокая надежность, долговечность должна достигаться простотой конструкции в целом;

4. Сварочные швы имеют различные категории проверки для того чтобы сосуд был герметичным, поэтому соблюдение требований к сварным швам напрямую связано с правилами техники безопасности;

5. Контрольное испытание сосуда позволяет определить брак на ранней стадии.

3.3 Оценка технологичности конструкции

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. представляют собой технологичность конструкции изделия (ТКИ).

Оценка уровня технологичности конструкции изделия имеет целью установить соответствие современному уровню развития техники, степень экономичности и удобство в эксплуатации, а также возможность использования наиболее экономичных и производительных технологических методов для ее изготовления. При оценке технологичности учитывается тип производства и метод выполнения сборочных работ. Конструкцию изделия принято считать технологичной, если она обеспечивает возможность изготовления изделия

наиболее простым и экономичным способом. Качественные показатели характеризуют конструкцию на основе опыта исполнителя и ранее изготавливаемых аналогичных конструкций.

3.3.1 Количественная оценка технологичности

Коэффициенты технологичности:

1) Коэффициент сборности:

$$K_{сб} = \frac{Q_{сб.ед}}{Q_{общ}} = \frac{2}{75} = 0,027, \quad (3.1)$$

где $Q_{сб.ед}$ – количество сборочных единиц;

$Q_{общ}$ – общее количество деталей.

2) Коэффициент стандартизации:

$$K_{ст} = \frac{Q_{станд}}{Q_{общ}} = \frac{47}{75} = 0,63, \quad (3.2)$$

где $Q_{станд}$ - количество стандартных деталей;

$Q_{общ}$ - общее количество деталей.

Проведенный анализ показывает, что конструкция данной сборочной единицы можно считать достаточно технологичной для условий мелкосерийного производства

3.4 Нормы времени

Сборка металлоконструкции производится ручной электродуговой сваркой и сваркой в среде инертных газов. Рассчитаем общую норму времени T_0 (время образования сварного шва путём наплавления электродного металла, то есть время горения дуги) для сварной сборочной операции по формуле [8]:

$$T_0 = \frac{60 \cdot F \cdot L \cdot \gamma}{K_{П} \cdot I_{св} \cdot \alpha_{н}}, \text{ мин}; \quad (3.3)$$

где F – площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, см^2 ;
 L – длина шва, см ;
 $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$ – плотность наплавленного металла;
 $K_{\text{п}} = 0,6 \dots 0,7$ – коэффициент использования сварочного поста (примем $K_{\text{п}} = 0,7$).
 $I_{\text{св}}$ – сварочный ток, А ;
 $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки.

При сварке в среде аргона сварочный ток:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot j}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 240 \text{ А}, \quad (3.4)$$

где $d_3 = 2 \text{ мм}$ – диаметр электродной проволоки;
 $j = 120 \text{ А/мм}^2$ – плотность тока в электродной проволоке;
 Коэффициент наплавки $\alpha_{\text{н}}$ находим по формуле:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot (1 - \gamma), \quad (3.5)$$

где $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления проволоки $\text{г/А} \cdot \text{ч}$;
 γ – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание (при сварке в CO_2 $\gamma = 0,1 \dots 0,15$. Примем значение $\psi = 0,1$).

Коэффициент расплавления проволоки $\alpha_{\text{р}}$ находим по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_3} = 3 + 0,08 \cdot \frac{377}{2} = 18,08 \text{ г/А} \cdot \text{ч}. \quad (3.6)$$

Тогда коэффициент наплавки: $\alpha_{\text{н}} = 16,272 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$.

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч , рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{\text{св}}}{\pi d_{\text{э}} j} = \frac{4 \cdot 18,08 \cdot 377}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 120} = 18,1 \text{ м/ч.} \quad (3.7)$$

Режимы сварки выбраны соответственно общемашиностроительным нормативам времени на автоматическую, полуавтоматическую и ручную электродугую сварку в среде защитных газов. Выбраны необходимые силы тока и напряжения сварки, количество ходов, определены нормы времени для каждого перехода и приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.1 – Нормы времени

№	Тип шва	Толщина свариваемого листа, мм	$d_{\text{э}}$, мм	I, А	U, В	$T_{\text{осн}}$, мин на 1 пог. м	Кол-во рабочих ходов
6	T3	15	5	377	16	32,1	3
7	T6	16	4	240	12	22,8	2
8	C22	8	2	240	12	52,4	4
10	C11	8	4	377	16	29,0	2

3.5 Установка для автоматической сварки обечаек под флюсом ПКТБА-УСФ-1800-35000-КПНВ

Данное изделие предназначено для односторонней сварки под слоем флюса наружных и внутренних кольцевых и продольных стыковых одно- и многопроходных швов цилиндрических обечаек в автоматическом режиме.

- установка позволяет проводить сварку внутренних и наружных кольцевых и продольных швов обечаек диаметром от 500 мм.
- жесткая конструкция колонны.
- продольные сварные швы выполняются горизонтальным перемещением консоли.
- механическая шнековая подача позволяет использовать все типы флюса.

- система датчиков контроля флюса автоматически регулирует работу шнекового механизма и блокирует начало сварки без флюса.

- механизм подачи проволоки включает в себя направляющий роликовый механизм и правильный механизм, что позволяет подавать проволоку равномерно и без рывков.

- наличие системы видеонаблюдения с двумя видеокамерами и двумя мониторами позволяет визуально контролировать перемещение сварочной головки при наладке и в процессе сварки кольцевых и продольных швов.

- холостая секция роликового вращателя перемещается по рельсовому пути, что позволяет устанавливать на него обечайки различной длины.

Таблица 3.2 – Технические характеристики ПКТБА - УСФ - 1800-35000 - КПНВ

Параметр	Значение
Максимальная масса свариваемого изделия, кг	35000
Максимальный наружный диаметр свариваемого изделия, мм.	2500
Минимальный наружный диаметр свариваемого изделия, мм.	500
Максимальная длина свариваемого изделия, мм.	20000
Величина вертикального перемещения консоли, мм.	2000
Скорость вертикального перемещения консоли, мм/мин.	2000
Величина горизонтального перемещения консоли, мм.	3000
Скорость горизонтального перемещения консоли, мм/мин.	2000
Скорость перемещения платформы, мм/мин.	1000
Величина смещения сварочной головки от точки зенита, мм.	±52,5
Скорость смещения сварочной головки от точки зенита, мм/мин.	200
Угол поворота колонны, град.	±180
Диаметр электродной проволоки, мм.	2,0; 3,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч.	50-500
Диапазон регулировки сварочного тока, А.	70-780
Потребляемая мощность, кВт.	50
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм:	23250х 9900х5700
Масса, кг.	11900

3.6 Вывод

В данной части ВКР был составлен анализ технических требований и выявление технологических задач, произведена оценка технологичности

конструкции, рассчитана количественная оценка технологичности и нормы времени.

4 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Постановка задачи

Необходимо спроектировать, изготовить и сдать в эксплуатацию передвижную полуприцеп цистерну для перевозки и заправки сжиженного природного газа, согласно полученному техническому заданию. Известно, что для этого необходимо выполнить следующие работы:

- провести анализ полученного задания от заказчика;
- разработать на основе задания от заказчика ТЗ на создание ППЦ;
- разработать принципиальную схему ППЦ;
- разработать методику испытаний;
- произвести расчет ППЦ;
- разработать конструкторскую документацию;
- произвести закупку необходимых материалов для изготовления ППЦ;
- изготовить ППЦ;
- провести контрольные испытания.

4.2 Обоснование сметы затрат

4.2.1 Затраты на проектно-конструкторские и другие инженерные работы

Суммарная трудоёмкость этих работ равна:

$$T_{\text{сум.инж}} = 2386 \text{ чел.дн.} = 19088 \text{ чел.ч.}$$

1. Затраты по основной зарплате инженерного персонала [10]:

$$S_{\text{з.п.осн}} = T_{\text{сум.инж}} \cdot C_{\text{ср.инж}} = 19088 \cdot 417 = 7\,959\,696 \text{ руб.} \quad (4.1)$$

где $C_{ср.инж} = 417 \text{ руб./ч}$ среднечасовая заработная плата инженерного персонала. Вычисляется, исходя из среднемесячной заработной платы инженерного персонала [11]:

$$C_{ср.инж} = 70\,000 \text{ руб./м}$$

2. Затраты по дополнительной зарплате инженерного персонала [10]:

$$S_{з.п.доп} = S_{з.п.осн} \cdot \alpha = 6\,895\,512 \cdot 0,14 = 1\,114\,757 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

3. Страховые взносы [1]:

$$\begin{aligned} S_{с.в} &= (S_{з.п.осн} + S_{з.п.доп}) \cdot k_c = (7\,959\,696 + 1\,114\,757) \cdot 0,3 = \\ &= 2\,722\,335 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.3)$$

4. Накладные расходы [10]:

$$S_{накл} = S_{з.п.осн} \cdot 0,4488 = 7\,959\,696 \cdot 0,4488 = 3\,572\,312 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

В итоге затраты по этапу 1 [10]:

$$\begin{aligned} S_{эт1} &= S_{з.п.осн} + S_{з.п.доп} + S_{с.в} + S_{накл} = 7\,959\,696 + 1\,114\,757 + \\ &+ 2\,722\,335 + 3\,572\,312 = 15\,369\,100 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.5)$$

4.2.2 Затраты на изготовление опытного образца

Затраты на основные материалы и покупные части, входящие в состав ППЦ. Стоимость стали 12Х18Н10Т составляет 229 000 руб/т. [12], стали 09Г2С составляет 51 000 руб/т.[13], а стали 10ХСНД 62 000 руб/т .[13].

Таблица 4.1 – Затраты на основные материалы при изготовлении ППЦ

Деталь	Материал	Чистая масса, т	Коэффициент использования материала, $k_{и.м}$	Норма расхода материала	Цена за 1 т, руб.	Стоимость материалов, руб
Кожух	Сталь листовая 09Г2С	3,375	0,95	3,55	51 000	181 050
	Уголок 09Г2С	0,74	0,95	0,78	51 000	39 780
Сосуд	Сталь листовая 12Х18Н10Т	3,1	0,8	3,88	229 000	888 520
	Уголок 12Х18Н10Т	0,26	0,95	0,27	229 000	61 830
Шасси	Сталь листовая 10ХСНД	1,4	0,54	2,59	62 000	160 580
Прочее	-	-	-	-	-	200 000

Итого затраты на основные материалы $M_{осн} = 1\,531\,760$ руб.

Таблица 4.2 – Затраты на покупные изделия при изготовлении ППЦ

Изделие	$M_{пок}$, руб.
Измерительная аппаратура	150 000
Электро и гидрооборудование	550 700
Прочее оборудование и комплектация ЗИП	250 000

Итого затраты на покупные части $M_{пок} = 950\,700$ руб.

Планируемая величина затрат [10]:

$$S_m = (M_{осн} + M_{пок}) \cdot (1 + k_{тр}) = (1\,531\,760 + 950\,700) \cdot (1 + 0,17) = 2\,904\,478 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

где $k_{тр} = 0,17$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Затраты по основной зарплате основных рабочих, занятых изготовлением и сборкой ППЦ [10]:

$$L_{осн} = C_{тар.ср} \cdot T_{изг}, \quad (4.7)$$

где $C_{тар.ср}$ – средняя часовая тарифная ставка рабочих, занятых изготовлением и сборкой ППЦ, руб./ч

$T_{изг}$ – трудоёмкость работ по изготовлению и сборке ППЦ, чел.ч.

$T_{изг} = 538 \text{ чел.дн.} = 4\,304 \text{ чел.ч.}$

$C_{тар.ср} = 387 \text{ руб./ч.}$ средняя часовая тарифная ставка рабочего занимающимся изготовлением и сборкой ППЦ. Вычисляется, исходя из среднемесячной заработной платы рабочего персонала [11]:

$$C_{тар.ср} = 65\,000 \text{ руб./м}$$

Тогда:

$$L_{осн} = 387 \cdot 4304 = 1\,665\,648 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты по этапу 2 $S_{эт2}$ могут быть определены по формуле [10]:

$$S_{эт2} = S_M + L_{осн} \cdot \left(1 + \frac{k_{ц} + k_{оп}}{100}\right) + L_{осн} \cdot \alpha_p + (L_{осн} + L_{осн} \cdot \alpha_p) \cdot k_c, \quad (4.8)$$

где $k_{ц}$ - цеховые расходы, %; $k_{ц}=145\%$;

$k_{оп}$ - общепроизводственные расходы, %; $k_{оп}=75,6\%$;

α_p – коэффициент, учитывающий затраты по дополнительной зарплате рабочих, %; $\alpha_p=0,16$;

$k_c=0,3$.

Тогда:

$$S_{\text{эт}2} = 1\,665\,648 + 1\,665\,648 \cdot \left(1 + \frac{145 + 75,6}{100}\right) + 1\,665\,648 \cdot 0,16 + (1\,665\,648 + 1\,665\,648 \cdot 0,16) \cdot 0,3 = 7\,779\,865 \text{ руб.}$$

Итог сметы затрат на проектирование и изготовление опытного образца ППЦ-50/0,7 [10]:

$$S_{\text{см}} = S_{\text{эт}1} + S_{\text{эт}2} = 15\,369\,100 + 7\,779\,865 = 23\,148\,965 \text{ руб} \quad (4.9)$$

4.3 Вывод

В процессе составления сметы затрат на проектирование системы перевозки и заправки сжиженным природным газом.

Продолжительность работ по созданию ППЦ составила 292 раб.дн, трудоемкость проекта составила 2973 чел.дн.

В ходе выполнения расчета были определены затраты на расходные материалы (2 904 478 руб.), затраты на основную заработную плату разработчиков (7 959 696 руб.), затраты на дополнительную заработную плату разработчиков (1 114 757 руб.), затраты на страховые взносы в пенсионный фонд и фонды социального страхования (2 722 335 руб.), накладные расходы (3 572 312 руб.). Таким образом, ориентировочные затраты на комплекс работ по разработке и созданию ППЦ составила 23 148 965 руб.

Поскольку экономический эффект нельзя подсчитать в денежных единицах, то для оценки заправочной системы с экономической точки зрения приводится описание косвенного экономического эффекта от его применения.

5.1 Анализ опасных и вредных факторов, возникающих при сборке емкости ППЦ-50/0,7

Сборка данной подсистемы представляет собой сложный технологический процесс, представленный в технологической части, для которого характерны следующие виды сборочных операций: сварка, пригоночные работы, очистка, сборка разъемных и неразъемных соединений и т.п.

При сборке ППЦ-50/0,7 преобладающей операцией является дуговая сварка. В процессе сварки сварщик подвергается воздействию целого комплекса опасных и вредных производственных факторов физической и химической природы: электромагнитное излучение, сварочный аэрозоль, искры и брызги расплавленного металла и шлака. Именно эти факторы вызывают профессиональные заболевания и травматические повреждения [18].

Наиболее характерные опасные и вредные производственные факторы при сборке ППЦ сваркой приведены в таблице 5.1 в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015.

Видимый свет электрической дуги невыносимо интенсивен. Смотреть на него невозможно, поэтому ни у кого из сварщиков не вызывает сомнения необходимость использования светофильтров. Наибольшее значение с точки зрения охраны труда имеет ультрафиолетовая часть спектра. Даже кратковременное воздействие ультрафиолетовых лучей на незащищенный глаз способно вызвать ожог роговой оболочки электроофтальмию. Ультрафиолетовое же излучение, воздействуя на открытые участки кожи, вызывает ожоги, подобные тем, которыми страдают люди, злоупотребившие солнечными лучами при загорании. Ожоги от сварочной дуги могут быть, однако, гораздо сильнее и опаснее, чем от солнца. Чем выше сила тока при сварке, тем сильнее излучение сварочной дуги.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные производственные факторы при сборке ПЩ

№	Опасные и вредные производственные факторы	Действие фактора	Способы и методы защиты	Допустимые значения и нормативные документы
1	Недостаточная освещенность или повышенная яркость света в рабочей зоне.	Заболевание органов зрения	Для освещения производственных помещений используются газоразрядные лампы, для цехов большой площади – люминесцентные лампы. Также допускается применение ламп накаливания.	Уровень освещенности должен быть не менее 200 лк. СП 52.13330.2016
2	Нарушения микроклиматических показателей в производственных помещениях.	Нарушение состояния здоровья, снижение работоспособности и производительности труда.	Вентиляция, отопление или кондиционирование, использование индивидуальных средств защиты от повышенной или пониженной температуры, регламентацией периодов работы в неблагоприятном микроклимате и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние, сокращение рабочей смены и др.	Приведены в табл. 5.2 СанПиН 2.2.4.3359-16 СанПиН 2.2.4.548-96

№	Опасные и вредные производственные факторы	Действие фактора	Способы и методы защиты	Допустимые значения и нормативные документы
3	Загрязнённость производственных помещений вредными веществами в рабочей зоне.	Заболевание органов дыхания, зрения, кожных покровов и другие.	Очки; специальные противопылевые респираторы; защитные маски; устройство вытяжной местной вентиляции.	Приведены в табл. 5.3 ГН 2.2.5.3532-18
4	Повышенное значение уровня шума в рабочей зоне	Снижение остроты слуха, нарушение функционального состояния сердечнососудистой системы и нервной системы	Звукоизоляция оборудования и иные организационные мероприятия; Уменьшение уровня шума в источнике возникновения; Использование средств индивидуальной защиты.	Уровень шума в сборочном цехе не должен превышать 80 дБА. СН 2.2.4/2.1.8.562-96
5	Повышенные значения локальной и общей вибрации	Поражение нейрососудистой, нервно-мышечной систем, опорно-двигательного аппарата, изменений обмена веществ и др.	Средствами индивидуальной защиты (виброизоляционные перчатки) и методами, снижающими уровень вибрации до допустимого в рабочей зоне	Приведены в табл. 5.4 СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96

№	Опасные и вредные производственные факторы	Действие фактора	Способы и методы защиты	Допустимые значения и нормативные документы
6	Опасность поражения электрическим током	Нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы, дыхания, нервной системы, электроожоги	Использование средств индивидуальной защиты, использование защитного заземления и зануления – по ГОСТ 12.1.030–81	Согласно ПУЭ 153-34.20.120-2003 сварочное оборудование должно соответствовать требованиям, изложенным в табл. 5.5
7	Острые кромки и заусенцы	Ранения, повреждения незащищённых участков тела	Использование средств индивидуальной защиты	
8	Повышенный уровень ультрафиолетового излучения	Вызывает дегенеративные изменения клеток кожи, фиброзной ткани и кровеносных сосудов. Это приводит к преждевременному старению кожи, фотодерматозам	Использование средств индивидуальной защиты согласно ГОСТ 12.4.123-83	Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 уровни ультрафиолетового излучения не должны превышать значений, приведенных в таблице 5.6
9	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Ожоги незащищённых участков тела	Использование специальной одежды и средств, не пропускающих излучение	Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 допустимая интенсивность облучения в области УФ-В + УФ-С не должна превышать 1 Вт/м

Таблица 5.2 – Допустимые значения показателей микроклимата для сварочных работ

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Теплый	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации сварочных материалов

	Загрязнитель			
	MnO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CrO ₃
Выделение при сварке, г/кг сварочного материала	4,4	7,06	47,2	0,0013
ПДК, мг/м ³	0,3	2	6,0	0,01

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Нормативные эквивалентные корректировочные значения И уровни виброускорения	
			м/с ²	дБ
Локальная		Хл, Yл, Zл	2,0	126
Общая	1	Zo	0,56	115
		Xo, Yo	0,40	112
	2	Zo	0,28	109
		Xo, Yo	0,2	106
	3а	Zo	0,1	100
		Xo, Yo	0,071	97
	3б	Zo	0,04	92
		Xo, Yo	0,028	89
	3в	Zo	0,014	83
		Xo, Yo	0,00099	80

Таблица 5.5 – Характеристика электрического тока при сварке

Напряжения в сети, В	380
Рабочее напряжение сварочной дуги, В	≤ 70
Напряжение холостого хода, В	≤ 65
Сила сварочного тока, В	80-120
Родя сварочного тока	Постоянный

Таблица 5.6 – Допустимые уровни оптической облученности сварщиков

Тип излучения	Длина волны, нм	Допустимая плотность потока излучения, Вт/м ²
УФ-С	200-280	0,001
УФ-В	280-315	0,01
УФ-А	315-400	10,0
ИК	760-1000	100

5.2 Расчет местной вытяжной вентиляции при проведении сварочно-сборочных операций при сборке сосуда

Сварка внутри емкостей характеризуется быстрым образованием высоких концентраций газов и аэрозоля в зоне дыхания, а также неблагоприятными метеорологическими условиями, поэтому требует специальных санитарно-технических мероприятий. В соответствии с «Санитарными правилами при сварке, наплавке и резке металлов» СП 1009—73 подвижность подаваемого в замкнутые объемы воздуха должна быть 0,7—2 м/с, чтобы исключить возможность простудных заболеваний сварщиков.

В цехах, где производится сварка внутри емкостей (баков, цистерн, котлов, резервуаров, колонн), необходимо устройство обще обменной и местной вентиляции. В ряде случаев необходимо применять индивидуальные средства защиты органов дыхания.

Вентилирование замкнутых пространств можно осуществить по следующим принципиальным схемам:

1) создание организованного воздухообмена в сосуде: механическая подача чистого наружного воздуха в сосуд; механическое удаление воздуха из нее; совместное действие притока и вытяжки;

2) удаление загрязненного воздуха непосредственно вблизи электросварочной дуги;

3) вентилирование только зоны дыхания сварщика (путем подачи чистого воздуха под маску или под щиток)

Исходя из конструктивных особенностей и технологической схемы сборки сосуда, была выбрано местная вентиляция с механическим удалением загрязненного воздуха рисунок 5.1.

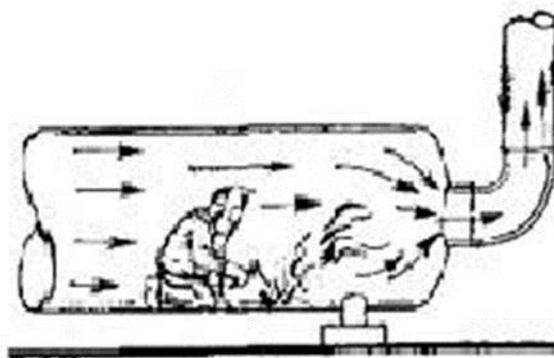


Рисунок 5.1 – Схема организации воздухообмена внутри сосуда

Количество вредных веществ, выделяющихся при полуавтоматической сварке проволокой СВ-08Г2С и предельно допустимые концентрации (ПДК) этих веществ в соответствии с ГН 2.2.5.3532-18 представлены в таблицах 5.7. и 5.8. соответственно.

Таблица 5.7 – Удельные выделения вредных веществ при сварке металлов

Сварочный аэрозоль, R г/кг					Газы, R г/кг		
Среднее количество	В том числе			Прочие (Fe ₂ O ₃)	NO ₂	CO	HF
	Mn и его соединения	Cr ₂ O ₃	SiO ₂				
9,7	0,5	0,02	–	7,48	–	14	–

Таблица 5.8 – Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³
Mn и его соединения	0,2

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³
Fe ₂ O ₃	6
СО	20

Расход воздуха в замкнутом пространстве, в котором вредные выделения распределяются равномерно или воздух удаляется только из рабочей зоны, где и происходит выделение вредных веществ, определяется по формуле:

$$L_i = \frac{M_{вр.i}}{q_{рз.i} - q_{пр.i}}, \quad (5.1)$$

где $M_{вр.i}$ – интенсивность выделения вредного вещества в помещении, мг/ч;
 $q_{пр.i}, q_{рз.i}$ – концентрация вредного вещества соответственно в приточном воздухе и воздухе рабочей зоны помещения, мг/м³.

Концентрацию вредного вещества в рабочей зоне $q_{рз}$ принимают равной ПДК данного вещества в рабочей зоне помещения. Концентрацию $q_{пр}$ принимают не более 30% ПДК в воздухе рабочей зоны.

В данной конструкции емкости происходит сварка металла толщиной 4мм со скоростью $V = 30$ м/ч и массой наплавляемого материала $m_{мат} = 0,376$ кг/м. Тогда расход сварочной проволоки составит:

$$Q_{пров} = V \cdot m_{мат} = 30 \cdot 0,376 = 5,64 \text{ кг/ч.} \quad (5.2)$$

Определим $M_{вр}$ интенсивности выделения каждого из веществ:

$$M_{вр.Мн} = Q_{пров} \cdot R_{Мн} = 5,64 \cdot 0,5 = 2,82 \text{ г/ч;} \quad (5.3)$$

$$M_{вр.Сr2O3} = Q_{пров} \cdot R_{Сr2O3} = 5,64 \cdot 0,02 = 0,1128 \frac{\text{г}}{\text{ч}}; \quad (5.4)$$

$$M_{\text{вр. Fe}_2\text{O}_3} = Q_{\text{пров}} \cdot R_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 5,64 \cdot 7,48 = 42,187 \text{ г/ч}; \quad (5.5)$$

$$M_{\text{вр. CO}} = Q_{\text{пров}} \cdot R_{\text{CO}} = 5,64 \cdot 14 = 78,96 \text{ г/ч}. \quad (5.6)$$

Тогда:

$$L_{\text{Mn}} = \frac{2820}{0,2 - 0,2 \cdot 0,3} = 20143 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = \frac{112,8}{1 - 1 \cdot 0,3} = 161 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{42187}{6 - 6 \cdot 0,3} = 10044 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L_{\text{CO}} = \frac{78960}{20 - 20 \cdot 0,3} = 5640 \text{ м}^3/\text{ч};$$

При полуавтоматической сварке проволокой СВ-08Г2С наибольшую опасность представляют соединения марганца. Поэтому рабочий расход $L_{\text{раб}} = 20143 \text{ м}^3/\text{ч}$

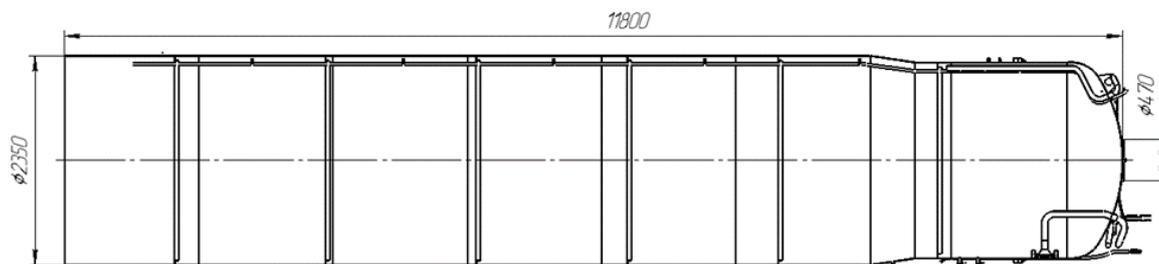


Рисунок 5.2 – Конструкция сосуда

Расчет потерь напора в трубопроводах определяется по формуле:

$$\sum H_{\Pi} = \left[\sum \frac{\lambda}{d} \cdot l + \sum \xi_M \right] \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}; \quad (5.7)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения;

d – диаметр трубопровода;

l – длина трубопровода;

ξ – местные сопротивления;

$\rho = 1,18 \text{ кг/м}^3$ – плотность отсасываемого воздуха.

Примем следующие всасывающей магистрали:

$d_{\text{всас}} = 0,47 \text{ м}, l_{\text{всас}} = 5 \text{ м}, \lambda = 0,05.$

Для вытяжной магистрали:

$d_{\text{выт}} = 1,2 \text{ м}, l_{\text{выт}} = 12 \text{ м}, \lambda = 0,05.$

Схема вентиляции представлена на рисунке 5.3

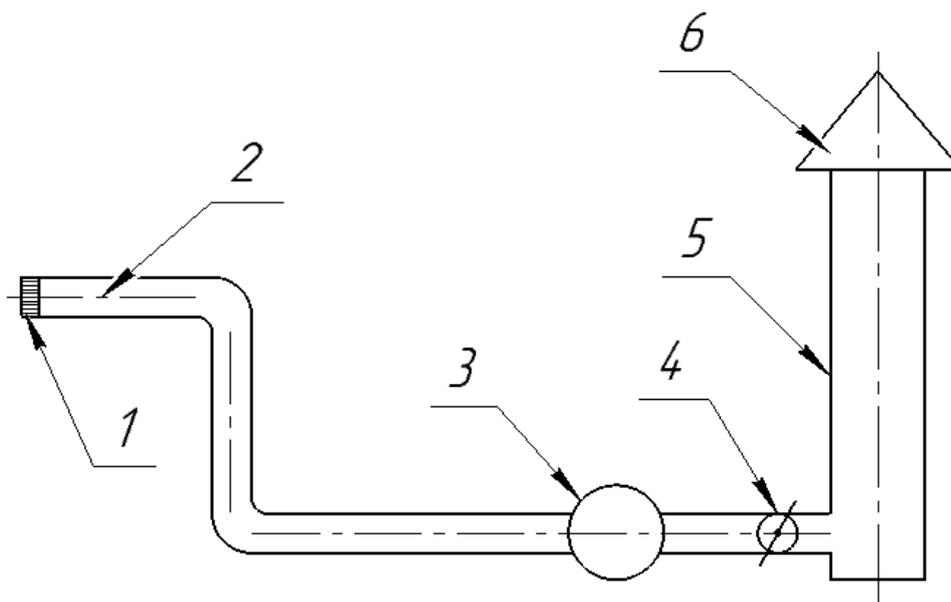


Рисунок 5.3 - Схема вентиляции

1–решетка; 2 –всасывающий патрубок; 3 –вентилятор;

4 –дроссельный клапан; 5 –вытяжная магистраль; 6–шахта с зонтом.

Средняя скорость воздуха в трубопроводе определяется следующим выражением:

$$v = \frac{L}{S}; \quad (5.8)$$

где L – расход воздуха, м³/с;

S – площадь поперечного сечения трубопровода:

$$S_{\text{всас}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,47^2}{4} = 0,173 \text{ м}^2; \quad (5.9)$$

$$S_{\text{выт}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ м}^2; \quad (5.10)$$

Тогда:

$$v_{\text{всас}} = \frac{5,59}{0,173} = 32,3 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{выт}} = \frac{5,59}{1,13} = 4,9 \text{ м/с.}$$

Значения всех местных сопротивлений по длине трубопровода приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Местные сопротивления по длине трубопровода

Вид сопротивления	ξ	Количество
Решетка	2,1	1
Шахта с зонтом	1	1
Поворот на 90°	1,1	2
Дроссельный клапан	0,04	1
Внезапное расширение	0,36	1

Общая потеря давления в трубопроводе:

$$\sum H_{\Pi} = \left(\frac{0,05}{0,47} \cdot 5 + 2,1 + 1,1 \cdot 2 + 0,36 \right) \cdot \frac{1,18 \cdot 32,3^2}{2} + \left(\frac{0,05}{1,2} \cdot 12 + 1 \right) \cdot \frac{1,18 \cdot 4,9^2}{2} = 3234 \text{ Па}$$

Проверим выполнение СП 1009—73, для этого вычислим площадь поперечного сечения сосуда:

$$S_{\text{емк}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,35^2}{4} = 4,33 \text{ м}^2;$$

Тогда скорость движения потока в сосуде будет:

$$v_{\text{емк}} = \frac{5,59}{4,33} = 1,29 \text{ м/с};$$

Таким образом условие СП 1009—73 выполняется, так как:

$$0,7 \text{ м/с} < v_{\text{емк}} < 2 \text{ м/с}.$$

5.3 Подбор вентилятора

Вентилятор подбирается из ряда, выпускаемого отечественной фирмой ООО «ВЕЗА». Для подбора вентилятора используется программа VezaFan, разработанная вышеуказанной организацией и охватывающая весь возможный диапазон использования.

Расчет ведём на основании данных:

$$L_{\text{в}} = 20143 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$\sum H_{\Pi} = 3234 \text{ Па.}$$

После расчета получаем аэродинамическую характеристику вентилятора (рисунок 5.4) и таблицу параметров вентилятора (таблица 5.10)

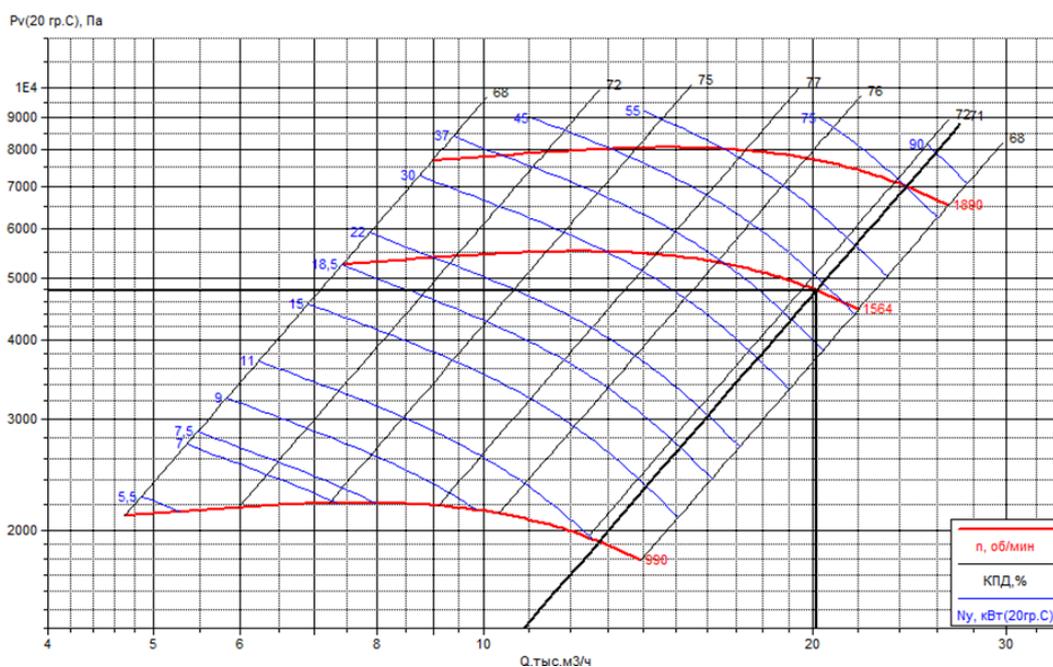


Рисунок 5.4 – Аэродинамическая характеристика вентилятора

Таблица 5.10 – Подбор параметров вентилятора

Задано		Режим	
$Q_{в}^*$, м³/ч	20143	R_0 , кг/м³	1,2
P_v _сети, Па	3234	n , мин ⁻¹	1564
Вентилятор		$Q_{в}$, м³/ч	20143
Индекс	ВР-125-28-10 сх.5	P_v , Па	4792
Область применения	Общепромышленный	P_{vs} , Па	3488
Тип	Центробежный	N_{Π} , кВт	37,64
Конструкция	Односторонний	N_y^* , кВт	40,65
Давление	Полное	N_y , кВт	45
$D_{ном}$, мм	1000	$V_{вых}$, м/с	46,6
Выхлоп, мм	300x400	КПД, %	71

5.4 Выводы

В данной части ВКР было проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, возникающих в процессе производства сосуда.

Был проведен расчет местной системы вентиляции, определены расход воздуха при проведении сварочных работ внутри емкости, потери напора в системе, подобран вентилятор и двигатель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной ВКР была представлена система заправки сжиженным природным газом РН «Союз 5.1», отличительной особенностью которой является мобильность, которая заключается в отсутствии стационарного хранилища компонента СПГ. В проектно-конструкторской части были подобраны и рассчитаны все необходимые элементы системы заправки. Показаны общие виды всего комплекса в целом.

В исследовательской части проекта был проведен прочностной расчет сосуда ППЦ-50/0,7 в процессе заправки без предварительного захолаживания. Который показал, что заправку основным расходом без предварительного захолаживания производить запрещено, потому что это приведет к глобальному разрушению сосуда, что в свою очередь может вызвать непоправимые последствия, представляющие угрозу обслуживающему персоналу.

В технологической части была разработана технология сборки сосуда и его отдельных узлов, подобрано специальное оборудования для автоматической сварки обечаек под флюсом.

В экономической части была составлена смета затрат при проектировании и производстве ППЦ-50/0,7. Были определены затраты на расходные материалы (2 904 478 руб.), затраты на основную заработную плату разработчиков (7 959 696 руб.). Ориентировочные затраты на комплекс работ по разработке и созданию ППЦ составила 23 148 965 руб.

В разделе охраны труда и экологии был приведен анализ опасных и вредных факторов на производстве, возникающих при сборке ППЦ. Была рассчитана система вентиляции при сварке в изолированном помещении, а именно при проведении работ внутри сосуда ППЦ-50/0,7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы. Том 1. Основы теории расчета – М. Машиностроение, 1966. – 354 с.
2. Архаров А.М., Кунис И.Д. Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов – М. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 252 с.
3. Садыкова Р.М., Карпинский Е.И. Тепловой расчет криогенного трубопровода. Статья М. – 2016
4. Михеев И.А. Основы теплопередачи – М. Гээнергоиздат, 1956.
5. Денисов О.Е., Кузнецов Р.Н., Матвеева О.П., Морозов Н.А. Заправочно-нейтрализационная станция. Разработка и эксплуатация –М. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 239 с.
6. Кириенко К.И. Разработка моделей и расчет процессов заправки криогенных бортовых систем сжиженным природным газом. Дисс. канд. тех. наук, М., 2014 г
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е издание, перераб. и Машиностроение, 1985, 665с., ил.
8. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов по направлению "Машиностроительные технологии и оборудование" / А. И. Кондаков. – М.: КноРус, 2012 . – 400 с.
9. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании. М.: Студент 2012 г.
10. Баррон Р.Ф. Криогенные системы: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.Энергоатомиздат, 1989. – 408 с.: ил.
11. Инженерное пособие: Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники /Под общей ред. И.В. Бармина. - М.: Полиграфикс РПК,2006-с.376.

12. Филин Н.В., Буланов А. Б. Жидкостные криогенные системы. -Л.: Машиностроение, 1985.-247 с.,ил.
13. Шевич Ю.А. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей: Учебное пособие.- М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана,2002.-67с.,ил.
14. Шарапов В.С.,Торпачев А.В. Основы проектирования систем заправки и газоснабжения ракет космического назначения/Под ред. Г.П. Бирюкова.-М.:КБТМ,2008.-145с.:ил.
15. Микулин Е.Н. Криогенная техника. М.:машиностроение,1969.-с.:272.
16. Малков М.П., Данилов А.Г. и др. Справочник по физико-техническим основам криогеники/Под ред. Малкова М.П. -М.:Энергоатомиздат, 1985.-432с., ил.
17. Караштин В.М., Каткова А.Г.,Родченко В.В. Основы проектирования систем наземного обеспечения. -М.:МАИ,1998.-312 с.:ил.
18. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: Учеб. пособие. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.