

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

Институт компьютерных и инженерных наук
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

Зав. кафедрой

В.В. Соловьев

« _____ » _____ 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Создание универсального комплекса хранения и заправки ракетаносителя углеводородными компонентами ракетного топлива (нафтил)

Исполнитель
студент группы 1109-об2



(подпись, дата)

М.Н. Почтарь

Руководитель
доцент, канд.техн.наук



(подпись, дата)

В.В. Соловьев

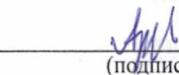
Консультант по БЖД
доцент, канд.техн.наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
стар. преп. кафедры СиТРК



(подпись, дата)

М.А. Аревков

Благовещенск 2025 г.

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

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

В.В. Соловьев

« » 2025 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Почтарь Михаила Николаевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Создание универсального комплекса хранения и заправки ракета-носителя углеводородными компонентами ракетного топлива (нафтил)

(утверждена приказом от 22.04.2025 г. №1055-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 06.06.2025 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Система заправки – стационарная, насосная. КРТ – горючее (нафтил); время хранения КРТ 1 год; время подготовки КРТ – 10 дней; время заправки РН среднего класса – 20 минут; время заправки РН тяжёлого класса – 80 минут; температура КРТ на момент заправки – 243,15 К (минус 30 °С).

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): анализ систем заправки углеводородными компонентами; обоснование выбора основных проектных параметров; описание системы заправки нафтилом; РН среднего и тяжёлого классов, расчёт системы заправки нафтилом РН тяжёлого класса; расчёт на прочность емкости-хранилища; анализ и выбор оптимальной системы фильтрации при приёме необезвоженного нафтила в ёмкости хранения, меры безопасности при работе с углеводородными

компонентами топлива; расчёт поражающих факторов во фронте ударной волны при взрыве РН на ПУ; экономическое обоснование разработки и использования комплекса хранения и заправки горючим РН среднего и тяжёлого классов.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, иллюстративного материала и т.п.): справочные гидравлические параметры; структурная схема заправки нафтилом; расчётная схема заправочной системы; схема для гидравлического расчёта заправочной системы РН тяжёлого класса; пневмогидравлическая схема приёма, хранения и заправки РН нафтилом; технологический процесс заправки ракеты-носителя тяжёлого класса; пневмогидравлическая схема агрегата фильтрации топлива; графики зависимости.

6. Консультант по выпускной квалификационной работе раздела безопасности жизнедеятельности: Козырь Аркадий Валентинович, доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания: 29.05.2025 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев Владислав Викторович, доцент, канд. техн. наук

Задание принял к исполнению (дата): 29.05.2025 г.



РЕФЕРАТ

Отчёт по выпускной квалификационной работе содержит 76 с., 16 рис., 22 табл., 11 источников, 1 прил.

ЗАПРАВКА, НАФТИЛ, РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ, СТАРТОВЫЙ КОМПЛЕКС, ФИЛЬТР, АГРЕГАТ ФИЛЬТРАЦИИ ТОПЛИВА, ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СХЕМА

В данной выпускной квалификационной работе спроектирован комплекс хранения и заправки горючим (нафтил) РН среднего и тяжёлого классов.

В общей части выпускной квалификационной работе произведен выбор: основных проектных параметров, схемы заправки, насосов. Определены потери напора при заправке РН, рассчитано время захлаживания и описана система заправки РН.

Выполнен гидравлический расчет системы заправки, выбраны диаметры трубопроводов, которые соответствует условиям процессов заправки. Описана система заправки РН на СК. Проведён анализ и выбор оптимальной системы фильтрации при приеме необезвоженного нафтила в ёмкости хранения. На основе расчетных данных выбран вариант приёма необезвоженного нафтила с помощью агрегата фильтрации топлива.

В разделе «Охрана труда» рассмотрены основные положения мер безопасности при работе с углеводородными компонентами топлива (нафтил). Проведён расчёт поражающих факторов во фронте ударной волны при взрыве РН на пусковой установке.

В экономической части был проведён расчет проектирования универсального комплекса хранения и системы заправки горючим (нафтил) РН среднего и тяжёлого классов, также затраты на приобретение комплектующих для его создания и описан экономический эффект от его использования.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Анализ систем заправки углеводородными компонентами.....	9
1.2 Обоснование выбора основных проектных параметров	10
1.3 Описание системы заправки нафтилом	13
1.3.1 Ёмкости	15
1.3.2 Насосная станция.....	16
1.3.3 Теплообменный аппарат	16
1.3.4 Блок фильтров	17
1.3.5 Арматура	19
1.3.6 Уровнемеры	20
2 РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ	22
2.1 Расчёт системы заправки	22
2.1.1 Расчёт количества компонента ракетного топлива, хранимого на стартовом комплексе.....	22
2.1.2 Гидравлический расчёт системы заправки ракеты-носителя	26
2.1.3 Расчёт количества газов на наддув емкостей хранения	34
2.2 Расчёт на прочность цистерны хранения	36
2.2.1 Расчёт цилиндрической обечайки на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидроиспытаний.....	37
2.2.2 Расчёт сферического днища на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидроиспытаний.....	42
2.2.3 Расчёт штуцера на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидроиспытаний	44
3 АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ НЕОБЕЗВОЖЕННОГО НАФТИЛА В ЁМКОСТИ ХРАНЕНИЯ.....	47

3.1 Назначение агрегата фильтрации топлива.....	48
3.2 Устройство и принцип работы АФТ	49
3.3 Улучшение характеристик АФТ за счёт замены фильтрующих элементов на современные аналоги.....	50
4 ОХРАНА ТРУДА	57
4.1 Меры безопасности при работе с углеводородными компонентами ракетного топлива	57
4.2 Расчёт поражающих факторов во фронте ударной волны при взрыве РН на пусковой установке	58
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ: ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ХРАНЕНИЯ И ЗАПРАВКИ ГОРЮЧИМ (НАФТИЛ) РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО И ТЯЖЁЛОГО КЛАССОВ	67
5.1 Возможный рынок применения комплекса хранения и заправки горючим.....	67
5.2 Календарный план работы над проектированием комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов ..	67
5.3 Оценка конкурентоспособности комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов	68
5.4 Себестоимость комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ	76
ПРИЛОЖЕНИЕ А	77

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

Г – горючее;

КП – командный пункт;

КПД – коэффициент полезного действия;

КРК – космический ракетный комплекс;

КРТ – компонент ракетного топлива;

КРТ – компоненты ракетных топлив;

КТ – компонент (компоненты) топлива (топлив);

НППК – наземный проверочно-пусковой комплекс;

О – окислитель;

ПГС – пневмогидравлическая схема;

ПУ – пусковое устройство;

РКК – ракетно–космический комплекс;

РКН – ракета космического назначения;

РН – ракета–носитель;

САДУЗ – система автоматизированного дистанционного управления заправки;

СГ – система газоснабжения;

СЗ – система заправки;

СК – стартовый комплекс;

СКЗ – система контроля заправки;

СКУ – система контроля уровня;

СП – стартовая позиция;

СТК – система телеметрического контроля;

ТБ – топливный бак;

ТЗ – техническое задание;

ЦХ – цистерна – хранилище.

ВВЕДЕНИЕ

Заправочные системы входят в состав технологического оборудования стартовых и технических комплексов для ракет космического назначения. Процесс заправки является самым ответственным и опасным этапом подготовки РКН к пуску, поэтому при проведении этой операций от рабочего персонала требуется максимальная концентрация и точные действия, а от руководителя работ – принятие быстрых решений в кратчайшие сроки, исходя из ситуации.

Применение в качестве компонентов ракетного топлива для заправки топливных баков РН пары жидкий кислород – нафтил основывается на экологической и биологической безопасности. При разработке средств заправки для рассматриваемых КРТ возникает необходимость реализации специальных технических решений, связанных с безопасностью и надёжностью проведения вспомогательных и технологических операций.

В данной выпускной квалификационной работе решается задача проектной разработки комплекса, который полностью автоматизирует процесс заправки и подачи КРТ в ТБ РН и включает определение параметров:

- пневмогидравлической схемы;
- характеристик системы заправки;
- требований к системе;
- расчета на прочность ёмкости-хранилища горючего;
- разработки технологической части проекта;
- охраны труда;
- экономического обоснования проекта.

1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ систем заправки углеводородными компонентами

Стартовый комплекс (СК) РКН (РН) представляет собой совокупность технологического, технического оборудования и строительных сооружений, размещенных на выделенной для него, специально оборудованной и подготовленной территории земли.

Стартовый комплекс предназначен для выполнения принятых технологических и вспомогательных процессов по приёму РКН с ТК, подготовке к пуску и проведению пуска РКН, а также для осуществления послепусковых операций и приведению СК в исходное состояние.

На существующих космодромах СК предназначены для пуска РКН легкого или среднего класса с одной ПУ. Процесс заправки не до конца автоматизирован и требует участия рабочего персонала.

Нафтил – экологически безопасный тип углеводородного горючего с применением полимерных присадок. Его использование позволит семейству трехступенчатых ракет-носителей среднего и тяжёлого классов выводить на все типы орбит большую полезную нагрузку, чем использовавшийся ранее химический ракетный двигатель в основе которого лежит пара «кислород-керосин».

В данной работе предложен вариант создания универсального комплекса хранения и системы заправки горючим (нафтил) на базе СК РН «Зенит», условиями которого являются обеспечение подготовки к пуску и пука РКН тяжелого и среднего классов, и осуществления на нём автоматического дистанционного управления работой и его оборудованием (рисунке 1.1).

Преимуществом комплекса является:

- адаптация к разным требованиям и типам запускаемых РН;
- автоматическое управление оборудованием и работой СЗ;
- обеспечение заправки РН среднего и тяжелого классов без заполнения запасов горючего из посторонних средств;

— осуществление быстрого и точного процесса заправки.

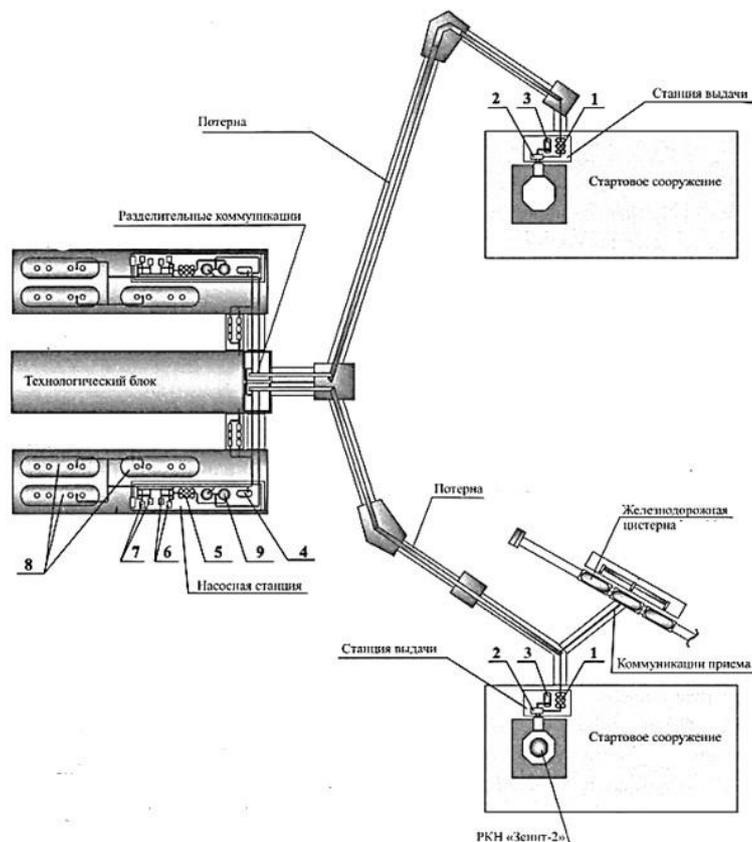


Рисунок 1.1 – Схема размещения оборудования системы заправки горючим
 1 – фильтр; 2 – юлок клапанов; 3, 4 – сливные баки; 5 – фильтр; 6, 7 – насос;
 8 – цистерна; 9 – теплообменник

1.2 Обоснование выбора основных проектных параметров

Основными параметрами для проектирования универсального комплекса заправки и хранения горючего (нафтил) являются:

- количество (масса) нафтила, необходимое для заправки ТБ РКН;
- плотность нафтила.
- общий объём заправляемой дозы;
- объём дозы, заправляемой на малом расходе.

Исходные данные для проектной разработки:

Система заправки – стационарная, насосная. КРТ – горючее (нафтил).
 Время хранения КРТ 1 год, Время подготовки КРТ – 10 дней. Время заправки РН среднего класса – 20 минут. Время заправки РН тяжелого класса – 80 минут.

Температура КРТ на момент заправки – 243,15 К (минус 30°C).

Упрощенная схема системы заправки представлена на рисунке 1.2.

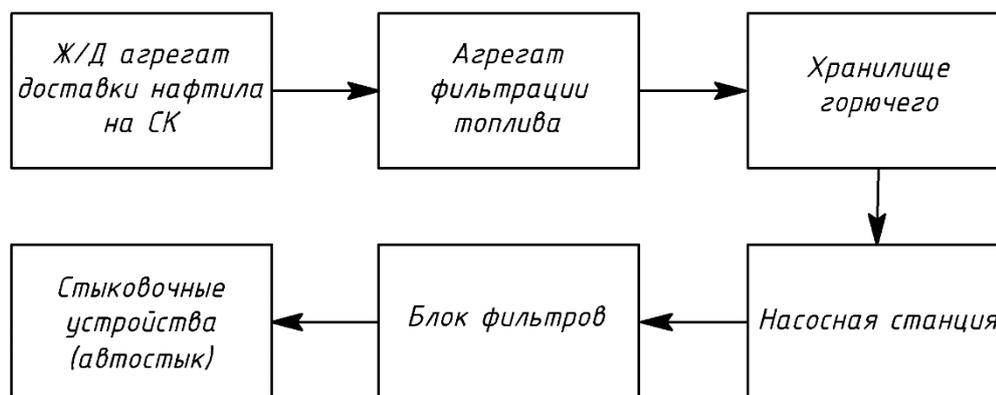


Рисунок 1.2 – Блок – схема системы заправки

Масса КРТ, заправляемого в ТБ РН рассчитывается исходя из данных, что для заправки РН «Ангара – А5» требуется масса рабочего запаса топлива:

- 1) для блоков первой степени – 1980 000 кг;
- 2) для блока второй ступени – 396 000 кг;
- 3) для блока третьей ступени – 65 000 кг.

КРТ заправляемые в ТБ РН: окислитель – жидкий кислород; горючее – нафтил.

Массовое соотношение КРТ: $k=2,5...3,5$.

Масса нафтила для заправки в баки РН рассчитывается по формуле:

$$G_1 = M_1 + M_2 + M_3, \quad (1.1)$$

где M_1 – масса нафтила для заправки пяти блоков первой ступени;

M_2 – масса нафтила для заправки блока второй ступени;

M_3 – масса нафтила для заправки блока третьей ступени.

Расчёт массы нафтила для заправки каждой ступени РН производится по формуле:

$$M = \frac{M_m}{1+k}, \quad (1.2)$$

где M_m – масса топлива, заправляемая в блок ступени РН;

k – массовое соотношение топлив (принимается равным 3,0 согласно усреднённым данным).

Масса нафтила для заправки каждой ступени РН в соответствии с формулой (1.2) равна:

$$M_1 = \frac{1980000}{1+3} = 495000 \text{ кг},$$

$$M_2 = \frac{396000}{1+3} = 99000 \text{ кг},$$

$$M_3 = \frac{65000}{1+3} = 16250 \text{ кг}.$$

Плотность нафтила при условии, что температура КРТ на момент заправки должна составлять – 30 °С, рассчитывается по формуле:

$$\rho = \rho_0 + (\alpha \cdot (t_1 - t_2)), \quad (1.3)$$

где $\rho_0 = 833,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – температура нафтила при температуре 293,15К ;

$\alpha = 0,725 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$ – температурная поправка нафтила;

$t_1 = 293,15\text{К}$ – начальная температура нафтила;

$t_2 = 243,15\text{К}$ – конечная температура нафтила.

В соответствии с формулой (1.3) плотность нафтила при температуре 243,15К составляет:

$$\rho = 833,5 + (0,725 \cdot (293,15 - 243,15)) = 869,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Общий объём заправляемой дозы определяется следующей формулой:

$$V = \frac{M_i}{\rho}, \quad (1.4)$$

где M_i – масса нафтила для заправки первой, второй или третьей ступени соответственно.

Общий объём заправляемой дозы для каждой ступени РН в соответствии с формулой (1.4) равен:

$$V_1 = \frac{495000}{869,75} = 569,129 \text{ м}^3 = 569\,129 \text{ л},$$

$$V_2 = \frac{99000}{869,75} = 113,826 \text{ м}^3 = 113\,826 \text{ л},$$

$$V_3 = \frac{16250}{869,75} = 18,684 \text{ м}^3 = 18\,684 \text{ л}.$$

Объём дозы, заправляемой на малом расходе, определяется из условия, что 5% от всего объёма заправляемого топлива идёт на заправку малым расходом в начале заправки и ещё 5% в конце. Таким образом 10% топлива расходуется на малом расходе. Для каждой ступени определяется свой объём дозы малого расхода по формуле:

$$V_{\text{доз}_i} = 0,1 \cdot V_i, \quad (1.5)$$

Объём дозы, заправляемой на малом расходе, для каждой ступени РН по формуле (1.5) равен:

$$V_{\text{доз}_1} = 0,1 \cdot 569129 = 56912,9 \text{ л},$$

$$V_{\text{доз}_2} = 0,1 \cdot 113826 = 11382,6 \text{ л},$$

$$V_{\text{доз}_3} = 0,1 \cdot 18684 = 1868,4 \text{ л}.$$

1.3 Описание системы заправки нафтилом

Основным оборудованием СЗ РКН КРТ, определяющими их технические характеристики, являются ёмкости, насосы, трубопроводы и рукава, арматура, фильтры и КИП.

Система заправки состоит из двух независимых комплектов, работающих на ПУ, соединённых между собой разделительными коммуникациями.

В состав оборудования каждого комплекта входят:

- хранилища;
- насосная станция;
- станция выдачи;
- коммуникации приёма;
- оборудования средств системы измерений;
- средств автоматики и пневмоуправления.

Оборудование каждого комплекта размещено в помещениях хранилища, насосной станции, стартового сооружения, в проходном канале, а также на приёмной эстакаде.

В помещении насосной станции смонтированы два основных и два вспомогательных насоса, блок фильтров, два теплообменника и сливной бак, соединённые между собой трубопроводами с установленной на них арматурой и приборами.

Станция выдачи находится в стартовом сооружении и состоит из блока фильтров, блока отсеченных клапанов, напорных магистралей для заправки РН и сливного бака.

Цистерны хранилищ и заправочные коммуникации комплектов (системы) теплоизолированные. Оборудование одного комплекта размещено в помещениях хранилища, насосной станции, основного сооружения и в проходном канале, а также на приемных колонках эстакады, которая является общей для обоих комплектов.

В помещении хранилища установлены четыре цистерны с площадками и лестницей. Цистерны между собой и насосной станцией соединены приемно-выдающими трубопроводами.

В помещении насосной станции установлены один основной и один вспомогательный насос, два теплообменника системы, сливной бак, которые соединены между собой трубопроводами.

Система выполняет прием, хранение, подготовку, заправку изделия нафтилом и другие операции.

Для приема нафтила к приемным колонкам системы присоединяют ж/д

цистерны. Нафтил из ж/д цистерн выдают в ЦХ методом выдавливания (вытеснения), свободным сливом (самотёком) для ж/д агрегатов, а также через агрегат фильтрации топлива.

Температура нафтила, принимаемого из ж/д цистерн, должна быть в пределах от 233,15К (минус 40 °С) до 323,15К (+50 °С).

Содержание растворенной воды в нафтиле при приеме должно соответствовать величине исключающей выделение свободной воды в диапазоне от минус 40 °С до +50 °С, при термостатировании и заправке минус -30 °С.

1.3.1 Ёмкости

Ёмкости служат для приёма и хранения КРТ. На проектируемом комплексе предлагается использование горизонтальных подземных резервуаров, которые будут заглублены на 10 метров и установлены в сооружение.

В помещении хранилища установлено по четыре цистерны с арматурой, приборами и трубопроводами.

Для обеспечения температурного режима цистерны, арматура и трубопроводы теплоизолированы.

Внутренние полости цистерн сообщены с атмосферой через предохранительный клапан, дренажный клапан трубопровод.

Дренажный стояк выведен за пределом сооружения.

Цистерна предназначена для хранения нафтила и представляет собой сварной цилиндрический сосуд, состоящий из двух обечаек и двух днищ.

Во внутренней части цистерн приварены 11 ребер жесткости. В патрубок вварены штуцера. В трех горловинах люков смонтированы лестницы, которые нижней частью вставлены в отверстия упоров, а верхней крепятся болтами к горловинам. Лестницы служат для обеспечения доступа вовнутрь цистерны при освидетельствовании.

Люки закрывают крышками и уплотняют фторопластовыми прокладками. Крепление крышек к люкам осуществляют болтами.

На обечайке емкости штуцеры предназначены для установки арматуры, для установки датчиков дистанционных термометров, для установки датчиков

сигнализаторов уровня, для присоединения прибора для отбора проб, для установки датчика индикатора уровня.

Штуцер предназначен для установки тройника, к которому присоединены трубопроводы от уровнемера и от вентиля с коллектором приборов.

1.3.2 Насосная станция

В помещении насосной станции установлены теплообменники, а также арматура, приборы, трубопроводы, опоры. Электронасосы предназначены для перекачивания нафтила из ЦХ в ТБ, термостатирования и сооружения ЦХ. Каждый насос состоит из центробежного насоса ЦН-90 и электродвигателя. Насос и электродвигатель установлены на одной раме и соединены между собой муфтой. Рама электронасоса закреплена на фундаменте болтами.

Электронасосы и предназначены для перекачивания нафтила при заправке изделия и при перекачке нафтила из ЦХ одного комплекта в ЦХ другого комплекта. На рисунке 1.3 представлен центробежный насос ЦН-90.



Рисунок 1.3 – Центробежный насос ЦН-90

1.3.3 Теплообменный аппарат

Теплообменный аппарат служит для эффективного охлаждения топлива до необходимой температуры и поддержания её в течение длительного времени. Он предотвращает перегрев и возможность самовозгорания топлива.

Термостатирование нафтила выполняется для приведения его температуры к заданному значению. Термостатирование проводится в теплообменном аппарате перекачиванием нафтила через него вспомогательным насосом.

В качестве охлаждающего вещества выбирается компонент, не реагирующий и не смешивающийся с нафтилом, жидкий азот.

Для охлаждения топлива используется внешнее охлаждение, так горячее топливо циркулирует по трубкам, а холодная струя газа идет по оболочке, охлаждая нафтил.

Жидкий азот из ёмкости 3 под давлением подаётся по трубопроводу 2 в барботер 1, размещённый в рабочей ёмкости 4 (рисунок 1.4). Барботер 1 представляет собой перфорированный трубопровод. Жидкий азот через перфорацию поступает непосредственно в нафтил, охлаждает его и испаряется. Пары выбрасываются в атмосферу через дренажный трубопровод 5. Для исключения попадания капельного нафтила в атмосферу поток азота проходит через очиститель 7. Температура нафтила контролируется приборами 6. После операции охлаждения проводится операция дегазации с контролем газонасыщения нафтила.

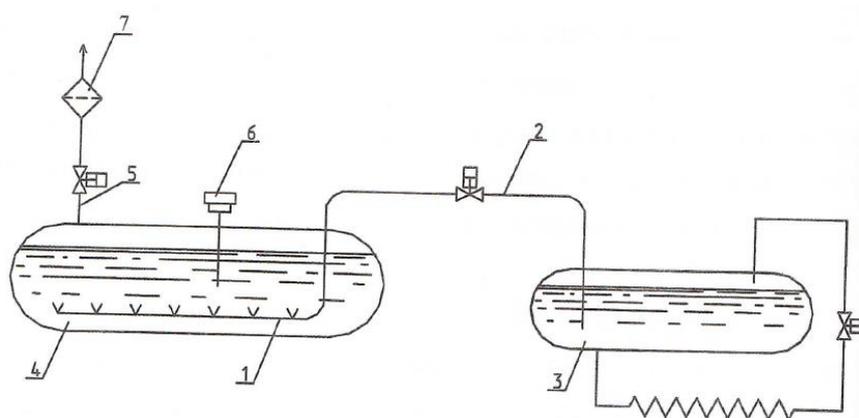


Рисунок 1.4 – Охлаждение КРТ прямым контактом жидким азотом
1 – барботер; 2 – трубопровод; 3 – ёмкость с жидким азотом; 4 – рабочая ёмкость; 5 – дренажный трубопровод; 6 – приборы контроля температуры нафтила; 7 – очиститель

1.3.4 Блок фильтров

Фильтры в системе заправки используются для предотвращения попадания механических примесей в емкости хранения, арматуру, насосы и топливные баки РН вместе с топливом.

Блок фильтров состоит из двенадцати фильтров, корпуса которых приварены боковыми патрубками к коллектору.

Коллектором блок установлен в полукруглые вырезы опор рамы. Опоры стянуты попарно болтами и прикреплены к поперечинам, которые приварены к двум балкам. Коллектор прикреплен к опорам двумя прижимами при помощи Т-образных стяжек. Корпус фильтра закрыт крышкой, прижатой вместе с уплотнительными прикладками винтами струбцин. В корпус установлен фильтроэлемент, который состоит из двух фильтрующих элементов, помещенных между наружными и внутренними - перфорированными кожухами, промежуточного фланцами крышек. Все они стянуты в единый пакет гайками и штоком. Фильтроэлемент установлен на кольцо и прижат винтом, и уплотнен прокладкой.

Сетка предохраняет магистральные трубопроводы от попадания в них посторонних предметов при снятой крышке. Нафтил под давлением от насоса поступает в фильтр через боковой патрубков корпуса, проходя через поры фильтрующих элементов, очищается и через нижний патрубков корпуса фильтра выходит в коллектор блока фильтров. На рисунке 1.5 представлен фильтр, предназначенный для очистки топлива.

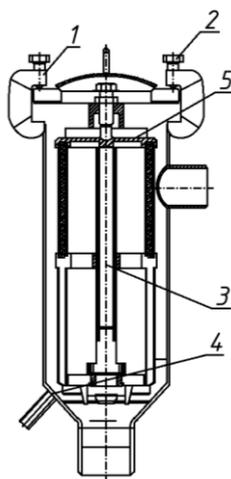


Рисунок 1.5 – Фильтр для очистки топлива

1 – отрубница, 2 – винт, 3 – шток, 4 – патрубков, 5 – ниппель

1.3.5 Арматура

Под арматурой заправочного оборудования подразумевают устройства, предназначенные для:

- включения и отключения отдельных участков трубопроводов;
- регулирования и поддержания давления;
- предохранения от повышения давления свыше нормы;
- изменения направления движения жидкости;
- устранения движения ее в обратном направлении.

В зависимости от эксплуатационного назначения и конструктивного выполнения арматуру можно разделить на:

- запорную;
- распределительную;
- предохранительную;
- перепускную;
- обратного действия;
- герметизирующую.

Запорная арматура используется для отключения одних участков трубопроводов от других. От нее требуется в закрытом состоянии надежное герметичное отключение, а при открытом - создание минимального местного гидравлического сопротивления.

К запорной арматуре относятся клапаны, дроссели, вентили и задвижки.

Клапаны и дроссели устанавливаются в тех местах трубопроводов, где по условиям выполнения технологических операций необходимо осуществлять дистанционное управление их открытием и закрытием. Клапаны в большинстве случаев имеют пневматический привод, достаточно простой и надежный, небольших размеров, легко поддающийся автоматизации. Обычно их называют пневмоклапанами (ПК).

В зависимости от направления движения жидкости через клапан различают клапаны с запорным органом (клапаном) сверху (рисунок 1.6, а) и

клапаны с запорным органом снизу (рисунок 1.6, б). Клапаны подбираются и устанавливаются так, чтобы их закрытие происходило в направлении движения жидкости.

В зависимости от того, закрыт или открыт клапан при отсутствии управляющего воздуха, пневмоклапаны разделяются на нормально закрытые и нормально открытые. В нормально закрытых клапан 13 прижимается к седлу в корпусе 1 пружиной 4. В нормально открытых клапанах пружина удерживает клапан в полностью открытом положении.

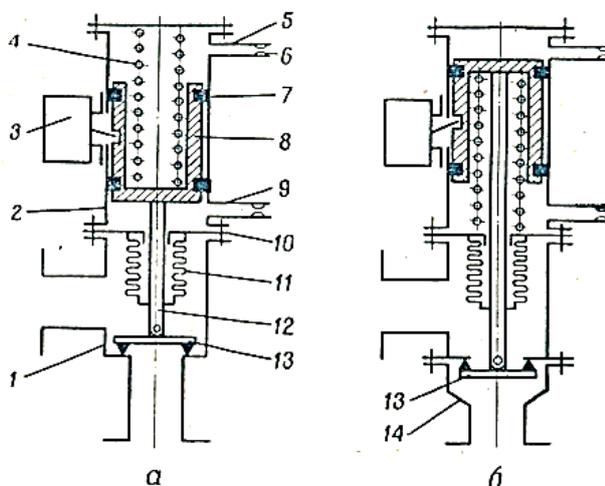


Рисунок 1.6 – Пневмоклапан

а – с клапаном сверху; б – с клапаном снизу; 1 – корпус; 2 – пневмоцилиндр;
 3 – концевой выключатель; 4 – пружина; 5 и 9 – штуцер; 6 – нипель; 7 –
 резиновая манжета; 8 – поршень; 10 – перегородка; 11 – сильфон; 12 – шток;
 13 – клапан; 14 – крышка

Пневмоклапаны, устанавливаемые на наиболее ответственных участках, имеют дублирующий ручной привод. При нормальной работе пневмоклапана ручной привод устанавливается в положение автоматического управления и не препятствует работе пневматического привода.

1.3.6 Уровнемеры

Уровнемеры предназначены для контроля и измерения уровня нефти в цистернах.

Установка состоит из трех уровнемеров смонтированных рядом на

поперечной стенке хранилища, вентилях, соединительных трубопроводов и коллектора.

Уровнемеры закреплены на кронштейнах стенки. Каждый уровнемер имеет табличку с указанием, к какой цистерне относится уровнемеру корпусами уровнемеров на кронштейнах винтами закреплена линейка, имеющая неравномерную шкалу деления от 2 до 180 Па с ценой деления 2 м³, 5 м³, 10 м³ до 170 м³, 175 м³, 180 м³. Для обслуживания уровнемеров между ними к стене прикреплен лестница. Вентили предназначены для слива остатков нефти из уровнемеров. Их обслуживают с пола.

Коллектор предназначен для слива остатков нефти в систему нейтрализации промстоков горючего.

Вывод по разделу

В данной части выпускной квалификационной работы определены общие проектные параметры универсального комплекса хранения и заправочных систем РН горючим (нефтью), рассмотрены общие принципы проведения отработки режимов заправки топливных баков РН и создания заправочных систем, разработана принципиальная расчетная гидравлическая схема систем заправки РН.

2 РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчёт системы заправки

Система заправки баков РН представляет собой совокупность взаимосвязанных устройств и предназначена для:

- приема компонентов ракетного топлива от средств его доставки с завода изготовителя (ЗИ) в ёмкости СЗ;
- длительного хранения КРТ в количестве, обеспечивающем заправку баков заданного числа РН, РБ, КА без пополнения КРТ емкостей СЗ;
- технологической подготовки КРТ (термостатирования, дегазации, обезвоживания, фильтрации и т.д.);
- заправки баков РН;
- дозаправки баков РН при её стоянке с заправленными баками на пусковом устройстве (ПУ);
- корректировки уровня КРТ в баках после заправки;
- слива КРТ в ёмкости СЗ из баков РН в случае её несостоявшегося пуска;
- повторной заправки баков РН;
- выполнения послепусковых операций.

2.1.1 Расчёт количества компонента ракетного топлива, хранимого на стартовом комплексе

Расчёт количества КРТ, заправляемых в баки РН, необходим для контроля заправки. По баллистическим расчётам определяется необходимое количество КРТ, заправляемых в топливные баки РН. Масса количества КРТ рассчитывается не только из условия на расход полёта РН, но, также на добавочную массу топлива, которая испаряется в баке при заправочных операциях, на массу, которая необходима для захолаживания бака и трубопроводов РН, а также массу, компенсирующую неточность баллистических расчётов, отклонения от режимов работы ДУ.

При разработке СЗ, вся масса КРТ, заправляемых в баки РН, является полезной, таким образом рассчитывается объем емкостей для хранения КРТ.

Масса КРТ, хранимых в емкостях СЗ рассчитывается по формуле:

$$G_{xp}^1 = G_1 + G_2 + G_3 + G_4, \quad (2.1)$$

где G_1 – масса КРТ, заправляемых в баки;

G_2 – масса КРТ, используемых на заполнение трубопроводов СЗ от ёмкости до бака РН;

G_3 – технологические потери КРТ;

G_4 – незабираемый остаток в хранилище.

В соответствии с формулой (2.1) масса КРТ, хранимых в емкостях СЗ равна:

$$G_1 = 495000 + 99000 + 16250 = 610250 \text{ кг.}$$

Масса КРТ, используемых на заполнение трубопроводов СЗ от ёмкости до бака РН рассчитывается по формуле:

$$G_2 = V \cdot \rho, \quad (2.2)$$

где V – объём трубопроводов на заполнение СЗ нафтилом от ёмкости хранения до бака РН;

$$\rho = 869,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ – плотность нафтила при } 243,15 \text{ К (минус } 30 \text{ }^\circ\text{C}).$$

Объём трубопроводов на заполнение СЗ нафтилом от ёмкости хранения до бака РН определяется:

$$V = \pi \cdot d^2 \cdot \frac{l}{4}, \quad (2.3)$$

где $d = 0,2$ мм – внутренний диаметр трубы;

$l = 350$ м – длина трубопровода.

Объём трубопроводов рассчитывается по формуле (2.3) и равен:

$$V = 3,14 \cdot 0,2^2 \cdot \frac{350}{4} = 10,990 \text{ м}^3.$$

Расчётная масса КРТ, используемых на заполнение трубопроводов СЗ от ёмкости до бака РН по формуле (2.2) равна:

$$G_2 = 10,990 \cdot 869,75 = 9558,553 \text{ кг.}$$

Технологические потери КРТ (слив остатков из заполненных трубопроводов). Так как выполняются операции «заправка – слив – заправка», то потери на каждую операцию составляют 1 м^3 , для всех трёх операций технологические потери составят 3 м^3 . Зная плотность нафтила и взаимосвязь между объёмом и массой, можно рассчитать технологические потери по формуле:

$$G_3 = V \cdot \rho. \quad (2.4)$$

Технологические потери КРТ, рассчитанные по формуле (2.4), равны:

$$G_3 = 3 \cdot 869,75 = 2609,25 \text{ кг.}$$

Незабираемый остаток в хранилище составляет 5% от массы нафтила, заправляемого в топливный бак РН и рассчитывается по формуле:

$$G_4 = 0,05 \cdot G_1. \quad (2.5)$$

В соответствии с формулой (2.5) незабираемый остаток в хранилище равен:

$$G_4 = 0,05 \cdot 610250 = 30513 \text{ кг.}$$

Масса нафтила, хранимая в емкостях СЗ в соответствии с формулой (2.1) равна:

$$G_{xp}^1 = 610250 + 9,559 + 2,609 + 30513 = 652931 \text{ кг.}$$

В ТЗ на СК задано требование по заправке нескольких РН без пополнения нафтилом емкостей СЗ. В этом случае требование о сливе и повторной заправке РН всё равно распространяется только на одну РН из нескольких заправляемых.

Таким образом, масса хранимого нафтила для заправки нескольких РН рассчитывается по формуле:

$$G_{xp}^n = G_{xp}^1 + (n - 1)(G_1 + G_2 + G_3 + G_4), \quad (2.6)$$

где n – количество заправляемых РН.

Масса хранимого нафтила для заправки двух РН по формуле (2.6) равна:

$$G_{xp}^2 = 652931 + (2 - 1)(610250 + 9,559 + 2,609 + 30513) = 1305862 \text{ кг.}$$

Количество емкостей СЗ для хранения требуемого запаса нафтила рассчитывается исходя из полезного объёма и возможностей завода-изготовителя.

Полный объём ёмкости и, соответственно, объём нафтила, хранимого в ёмкости, рассчитывается исходя из того, что 10% объёма ёмкости должна занимать газовая подушка, которая служит для компенсации изменения объёма нафтила при их изменении температуры, обеспечения работы системы наддува ёмкости и работы дренажно-предохранительной системы.

Таким образом, полный объём ёмкости, необходимый для хранения запаса нафтила при проведении цикла «заправка – слив – повторная заправка» РН, определяется по формуле:

$$V_{полн} = \frac{G_{xp}^1}{\rho}, \quad (2.7)$$

где $\rho = 869,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность нафтила при 243,15 К (минус 30 °С).

Полный объём ёмкости по формуле (2.7) равен:

$$V_{полн} = \frac{652931}{869,75} = 750,711 \text{ м}^3.$$

Объём проектируемой ёмкости для хранения нафтила зависит от технологических возможностей ЗИ ёмкости, железнодорожного габарита, нагрузки на железнодорожный пути, возможностей технологической сборки и других факторов.

Количество емкостей для хранения массы нафтила для заправки РН рассчитывается следующим образом:

$$m = \frac{V_{\text{полн}}}{V_{\text{ёмк}}}, \quad (2.8)$$

где $V_{\text{ёмк}}$ – объём ёмкости, изготавливаемый ЗИ.

Максимальный объём ёмкости, исходя из габаритов и массы, составляет 200м^3 . Таким образом, количество емкостей в соответствии с формулой (2.8) равно:

$$m = \frac{750,711}{200} = 3,754 = 4.$$

Так как количество емкостей дробное число, то оно округляется до целого числа.

2.1.2 Гидравлический расчёт системы заправки ракеты-носителя

СЗ предназначены для перемещения КРТ из емкостей системы хранения в баки РН, РБ или КА, и принципы их работы подчиняются всем законам гидравлики. Гидравлика изучает законы движения и равновесия жидкостей в приложении этих законов к решению технических задач.

Задача гидравлического расчёта сводится к следующему. В соответствии с разработанной СЗ и выбранными известными параметрами:

1. Тип заправляемого топлива и его температура – нафтил, $t = 243,15\text{ К}$;
2. Время заправки РН на малом и большом расходах $T = 80\text{ мин}$.
3. Расположение уровней КРТ в рабочей ёмкости системы заправки и заправляемых баках РН относительно «нулевой» отметки. Составляется принципиальная схема системы заправки трёх ступеней РН (рисунок 2.1).

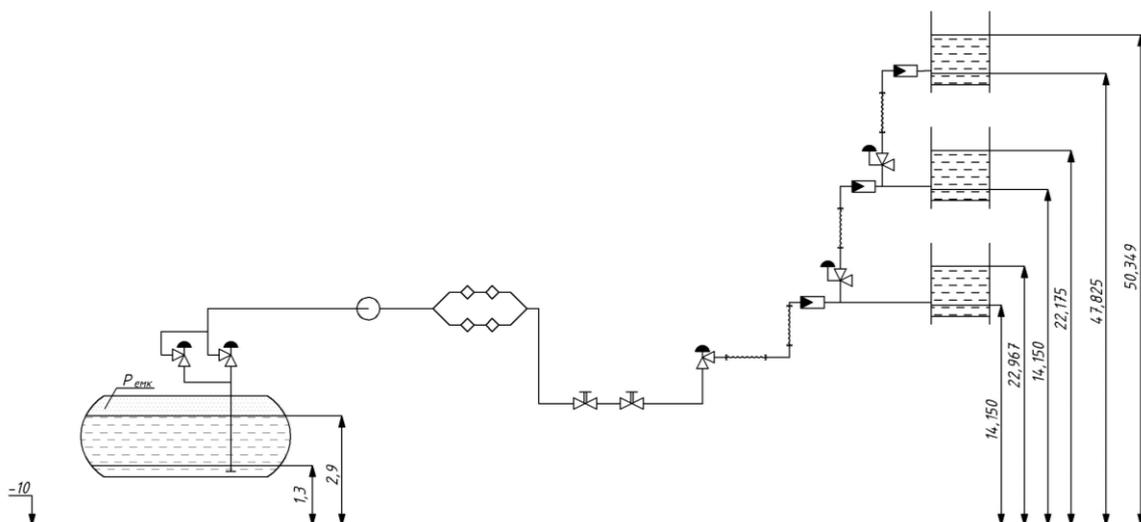


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы заправки трёх баков РН

В таблице 2.1 представлены уровни КРТ в рабочей ёмкости и ТБ РН.

4. Ориентировочное расстояние между рабочей ёмкостью и заправляемым ТБ $l = 350$ м.

5. Количество и порядок расположения арматуры n (см. таблицу 2.2).

В расчёте необходимо определить:

— диаметр арматуры (D_y);

— ориентировочное рабочее давление, тип и характеристики насоса ($P_{\text{раб}}$);

— количество параллельно работающих элементов (n).

Таблица 2.1 – Уровни КРТ в ЦХ и ТБ РН

	$Z_{\text{нач}}, \text{ м}$	$Z_{\text{кон}}, \text{ м}$
Ёмкость СЗ	1,300	2,900
Первая ступень РН	14,150	22,967
Вторая ступень РН	14,150	22,175
Третья ступень РН	47,825	50,349

Для определения вышеперечисленных параметров необходимо определить необходимую производительность заправки (большой расход), для этого принимается среднее время дозаправки на малом расходе $T_{\text{м.р.}} = 5$ мин.

$$Q = \frac{V - V_{доз}}{T - T_{м.р.}}. \quad (2.9)$$

Производительность заправки для первой ступени РН составит:

$$Q_1 = \frac{569129 - 56912,9}{80 - 5} = 6829,548 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Производительность заправки для второй ступени РН составит:

$$Q_2 = \frac{113826 - 11382,6}{80 - 5} = 1365,912 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Производительность заправки для третьей ступени РН составит:

$$Q_3 = \frac{18684 - 1868,4}{80 - 5} = 224,208 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Зная значения производительности заправки всех трёх ступеней находятся значения желательных диаметров D_y арматуры, а также скорость течения КРТ – ϑ . Найденные значения представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Диаметры арматуры (D_y) и скорости течения КРТ (ϑ) в трубопроводах в зависимости от расхода (Q)

	$D_y, \text{мм}$	$\vartheta, \text{м/с}$
Первая ступень РН	200	3,71
Один блок первой ступени РН	100	3,18
Вторая ступень РН	70	6,59
Третья ступень РН	50	1,7

Ориентировочная длина трубопроводов определяется по формуле:

$$l_{тр} \geq l + D_{емк} + Z_{бак}^{max}, \quad (2.10)$$

где $Z_{бак}^{max}$ – максимальное расположение уровня КРТ в ТБ РН относительно «нулевой» отметки.

$$l_{тр} \geq 350 + 3,240 + 50,349 = 403,598 \cong 404 \text{ м.}$$

Используя осреднённые значения значений коэффициентов местных сопротивлений $\xi_{мест}$ и коэффициента трения λ , составляется перечень элементов заправочной системы и их собственных коэффициентов гидравлического сопротивления $\xi_{собст}$ (см. таблицу 2.3).

Так как имеются различные D_y , то указывается приведенный коэффициент $\xi_{ш}$ к наиболее часто встречающемуся в перечне диаметру D' . По таблице 1.5 таким диаметром является $D_y = 170$ мм. Расчёт коэффициента проводится по формуле:

$$\xi_{ш170} = \xi_{собст} \left(\frac{D'}{D_y} \right)^4, \quad (2.11)$$

где $\left(\frac{D'}{D_y} \right)^4$ – коэффициент приведения гидравлических сопротивлений.

На рисунке 2.2 представлена схема для гидравлического расчёта системы заправки РН.

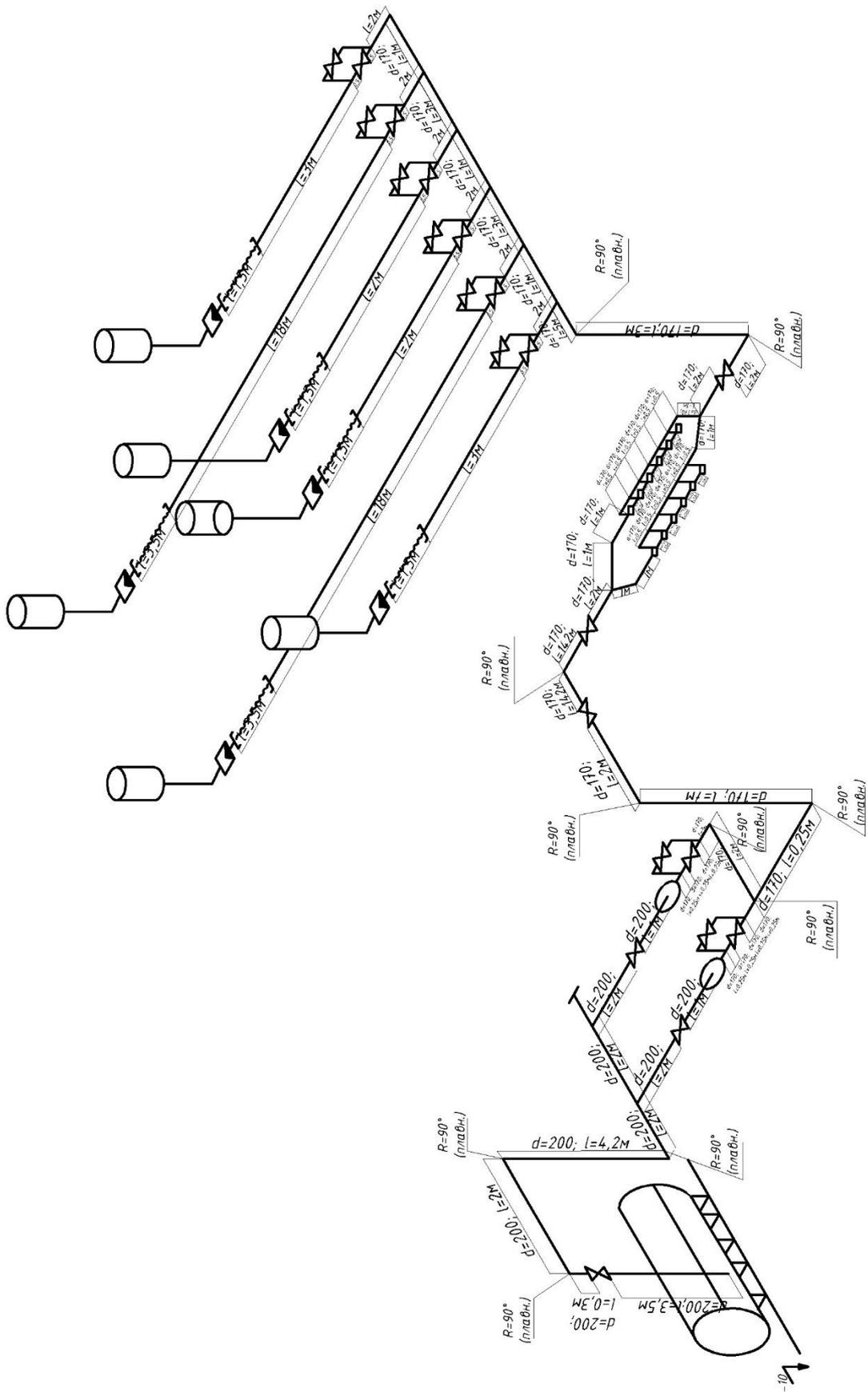


Рисунок 2.2 – Схема для гидравлического расчёта заправочной системы РН

Таблица 2.3 – Перечень элементов заправочной системы РН

№	Наименование	D_y	$\xi_{\text{собст}}$	n	$\xi_{\text{ш170}}$	$\sum \xi'_{\text{ш170}}$
1	Вход с экраном	200	0,8	1	$\frac{0,8}{1,6}=0,5$	0,5
2	Трубопровод $l = 3,5$ [м]	200	$\frac{0,03 \cdot 3,5}{0,2} = 0,53$	1	$\frac{0,53}{1,6} = 0,33$	0,33
3	Клапан	200	6	3	$\frac{6}{1,6} = 3,75$	$\frac{3,75}{2^2} + 3,75 = 4,69$
4	Трубопровод $l = 0,3$ [м]	200	$\frac{0,03 \cdot 0,3}{0,2} = 0,05$	1	$\frac{0,05}{1,6} = 0,03$	0,03
5	Поворот платный ($\theta = 90^\circ\text{C}$)	200	0,15	3	$\frac{0,15}{1,6} = 0,09$	0,27
6	Трубопровод $l = 2$ [м]	200	$\frac{0,03 \cdot 2}{0,2} = 0,3$	5	$\frac{0,3}{1,6} = 0,19$	0,95
7	Трубопровод $l = 4,2$ [м]	200	$\frac{0,03 \cdot 4,2}{0,2} = 0,63$	1	$\frac{0,63}{1,6} = 0,39$	0,39
8	Тройник разъединения потока	200	1,0	2	$\frac{1}{1,6} = 0,63$	1,26
9	Трубопровод $l = 1$ [м]	200	$\frac{0,03 \cdot 1}{0,2} = 0,15$	2	$\frac{0,15}{1,6} = 0,09$	0,18
10	Внезапное сужение	170	$0,5 \left(\frac{200^4}{170^4} - \frac{200^2}{170^2} \right) = 0,27$	2	—	0,54
11	Трубопровод $l = 0,25$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 0,25}{0,17} = 0,044$	8	—	0,35
12	Трубопровод $l = 0,3$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 0,3}{0,17} = 0,05$	1	—	0,05
13	Тройник разъединения потока	170	1,0	5	—	5
14	Поворот платный ($\theta = 90^\circ\text{C}$)	170	0,15	3	—	0,45
15	Трубопровод $l = 7$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 7}{0,17} = 1,4$	1	—	1,4
16	Трубопровод $l = 2$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 2}{0,17} = 0,4$	11	—	4,4
17	Клапан	170	6	7	—	42
18	Трубопровод $l = 142$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 217}{0,17} = 20,06$	2	—	40,12
19	Разъединение потока	170	1,5	1	—	1,5
20	Поворот острый ($\theta = 30^\circ\text{C}$)	170	0,2	4	—	0,8
21	Трубопровод $l = 1$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 1}{0,17} = 0,18$	9	—	$\frac{0,18}{6^2} + 3 \cdot 0,18 = .$ $= 0,55$
22	Трубопровод $l = 0,5$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 0,5}{0,17} = 0,088$	32	—	$\frac{0,088}{32^2} =$ $= 0,00009$
23	Фильтр	170	35	12	—	$\frac{35}{12^2} = 0,24$
24	Трубопровод $l = 1,75$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 1,75}{0,17} = 0,31$	2	—	$\frac{0,31}{2^2} = 0,078$
25	Соединение потока	170	2,5	1	—	2,5

Продолжение таблицы 2.3

№	Наименование	D_y	$\xi_{\text{собст}}$	n	$\xi_{\text{ш170}}$	$\sum \xi'_{\text{ш170}}$
26	Тройник разъединения потока	170	1,0	6	—	$\frac{1}{6^2}=0,027$
27	Трубопровод $l = 3$ [м]	170	$\frac{0,03 \cdot 3}{0,17}=0,53$	3	—	1,59
28	Клапан	100	6	5	$6 \cdot 5,07=30,42$	$\frac{30,42}{5^2}=1,22$
29	Клапан	70	6	1	$6 \cdot 39,3=235,8$	235,8
30	Клапан	50	6	6	$6 \cdot 81=486$	$\frac{486}{6^2}=13,5$
31	Трубопровод $l = 0,5$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 0,5}{0,1}=0,15$	10	$0,15 \cdot 5,07=0,76$	7,6
32	Трубопровод $l = 0,5$ [м]	70	$\frac{0,03 \cdot 0,5}{0,07}=0,21$	2	$0,21 \cdot 39,3=8,25$	16,5
33	Трубопровод $l = 18$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 18}{0,1}=5,4$	2	$5,4 \cdot 5,07=27,38$	54,76
34	Трубопровод $l = 2$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 2}{0,1}=0,6$	1	$0,6 \cdot 5,07=3,04$	3,04
35	Трубопровод $l = 2$ [м]	70	$\frac{0,03 \cdot 2}{0,07}=0,86$	1	$0,86 \cdot 39,3=33,8$	33,8
36	Трубопровод $l = 3,5$ [м]	70	$\frac{0,03 \cdot 3,5}{0,07}=1,5$	1	$1,5 \cdot 39,3=59$	59
37	Металлорукав $l = 1,5$ [м]	70	$\frac{0,1 \cdot 1,5}{0,07}=2,14$	1	$2,14 \cdot 39,3=84,1$	84,1
38	Трубопровод $l = 3,5$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 3,5}{0,1}=1,05$	1	$1,05 \cdot 5,07=5,32$	5,32
39	Металлорукав $l = 3,5$ [м]	100	$\frac{0,1 \cdot 3,5}{0,1}=3,5$	1	$3,5 \cdot 5,07=17,75$	17,75
40	Трубопровод $l = 1,5$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 1,5}{0,1}=0,45$	4	$0,45 \cdot 5,07=2,28$	$\frac{2,28}{4^2}=0,14$
41	Металлорукав $l = 1,5$ [м]	100	$\frac{0,1 \cdot 1,5}{0,1}=1,5$	4	$1,5 \cdot 5,07=7,61$	$\frac{7,61}{4^2}=0,48$
42	Автостык	100	7	5	$7 \cdot 5,07=35,49$	$\frac{35,49}{5^2}=1,42$
43	Автостык	70	7	1	$7 \cdot 39,3=275,1$	275,1
44	Автостык	50	7	1	$7 \cdot 81=567$	567
45	Вход в ёмкость	100	1,0	5	$1,0 \cdot 5,07=5,07$	$\frac{5,07}{5^2}=0,2$
46	Вход в ёмкость	70	1,0	1	$1,0 \cdot 39,3=39,3$	39,3
47	Вход в ёмкость	50	1,0	1	$1 \cdot 81=81$	81
48	Трубопровод $l = 4,150$ [м]	100	$\frac{0,03 \cdot 4,15}{0,1}=1,25$	5	$1,25 \cdot 5,07=6,34$	$\frac{6,34}{5^2}=0,25$
49	Трубопровод $l = 4,150$ [м]	70	$\frac{0,03 \cdot 4,15}{0,07}=1,78$	1	$1,78 \cdot 39,3=70$	$\frac{70}{5^2}=2,8$
50	Разъединение потока	70	1,5	1	$1,5 \cdot 39,3=59$	59
51	Трубопровод $l = 37,825$ [м]	50	$\frac{0,03 \cdot 37,825}{0,05}=22,7$	1	$22,7 \cdot 81=1838,7$	1838,7
						$\sum \xi'_{\text{ш170}}=3508$

Подсчитывается суммарный коэффициент сопротивления системы с учётом числа элементов n . Определяется необходимый напор, требуемый на преодоление местных сопротивлений и сопротивления трения трубопровода, при выбранной производительности заправки Q по формуле:

$$\square H_{гидр} = \sum \xi \cdot \frac{g'^2}{2g}, \quad (2.12)$$

где $\frac{g'^2}{2g}$ – значения динамического напора при различных расходах Q в зависимости от диаметра трубопровода.

Необходимый напор, требуемый на преодоление местных сопротивлений до насосов, по формуле (2.12) составляет:

$$\square H_{гидр,насос} = 9,14 \cdot 2,22 = 20,291 \text{ м.ж.ст.}$$

Необходимый напор, требуемый на преодоление местных сопротивлений после насоса до ТБ первой ступени РН, по формуле (2.12) составляет:

$$\square H_{гидр,1} = 193 \cdot 1,03 = 198,79 \text{ м.ж.ст.}$$

Необходимый напор, требуемый на преодоление местных сопротивлений после насоса до ТБ второй ступени РН, по формуле (2.12) составляет:

$$\square H_{гидр,II} = 805 \cdot 0,181 = 145,71 \text{ м.ж.ст.}$$

Необходимый напор, требуемый на преодоление местных сопротивлений после насоса до ТБ третьей ступени РН, по формуле (2.12) составляет:

$$\square H_{гидр,III} = 2500 \cdot 0,0116 = 29 \text{ м.ж.ст.}$$

Определяется напор, необходимый для подъёма жидкости от уровня рабочей ёмкости до уровня ТБ по формуле:

$$\square H_{стат}^{max} = Z_{бак}^{max} - Z_{емк}^{min}. \quad (2.13)$$

Напор, необходимый для подъёма нефти от уровня рабочей ёмкости до уровня ТБ первой, второй и третьей ступеней по формуле (2.13) равен:

$$\square H_{стат,1} = 22,967 - 1,3 = 21,667 \text{ м.ж.ст.,}$$

$$\square H_{\text{стат}_I} = 22,175 - 1,3 = 20,875 \text{ м.ж.ст.},$$

$$\square H_{\text{стат}_{III}} = 50,349 - 1,3 = 49,049 \text{ м.ж.ст.}$$

Полный напор, необходимый для заправки с производительностью Q определяется по формуле:

$$H_{\text{полн}} = \square H_{\text{гидр}} + \square H_{\text{стат}}. \quad (2.14)$$

Напор, необходимый для заправки ТБ каждой ступени РН по формуле (2.14) равен:

$$H_{\text{полн}_I} = 198,79 + 21,667 = 220,457 \text{ м.ж.ст.},$$

$$H_{\text{полн}_{II}} = 20,875 + 145,71 = 166,585 \text{ м.ж.ст.},$$

$$H_{\text{полн}_{III}} = 49,049 + 29 = 78,049 \text{ м.ж.ст.}$$

Выбирается насос, у которого значения расхода и полного напора находятся в зоне оптимальных КПД.

Мощность насоса определяется по формуле:

$$N_{\text{вал}} = \frac{QH\gamma}{60 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{нас}}}, \quad (2.15)$$

где γ – удельный вес нафтила.

Мощность насоса для перекачки нафтила в ТБ для каждой ступени РН по формуле (2.15) составляет:

$$N_{\text{вал}_I} = \frac{6829,548 \cdot 220,457 \cdot 0,86975}{60 \cdot 102 \cdot 0,58} = 368,919 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{вал}_{II}} = \frac{1365,912 \cdot 166,585 \cdot 0,86975}{60 \cdot 102 \cdot 0,35} = 92,392 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{вал}_{III}} = \frac{224,208 \cdot 78,049 \cdot 0,86975}{60 \cdot 102 \cdot 0,05} = 49,738 \text{ кВт}.$$

2.1.3 Расчёт количества газов на наддув емкостей хранения

Давление наддува газовой подушки ёмкости для бескавитационной работы насоса проверяется из условия:

$$p_{емк} \geq p_{н.с.} + H_{кр} \frac{\gamma}{10} + (\xi_{вс} + 1) \frac{g^2 \gamma}{20g} - \frac{\gamma}{10} (Z_{емк}^{max} - Z_{нас}), \quad (2.16)$$

где $p_{н.с.} = 18000 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$ – давление на входе в насос;

$H_{кр} = 4,7$ м – кавитационный запас насоса (регламентируется технической документацией на насос);

$\xi_{вс}$ – коэффициент гидравлического сопротивления участка до насоса;

ϑ – скорость истечения жидкости (нафтила);

γ – удельный вес нафтила;

g – ускорение свободного падения;

$Z_{емк}^{max}$ – максимальное расположение уровня КРТ в емкости хранения относительно «нулевой» отметки;

$Z_{нас}$ – расположение насоса относительно «нулевой» отметки.

Таким образом, давление в ёмкости по формуле (2.16) должно быть не менее:

$$\begin{aligned} p_{емк} &\geq 18000 + 4,7 \frac{869,75}{10} + (19,4 + 1) \frac{2,22^2 \cdot 869,75}{20 \cdot 9,8} - \frac{869,75}{10} (2,9 - 1,3) = \\ &= 18715,766 \text{ кгс/м}^2. \end{aligned}$$

Для определения необходимого количества газа на наддув ёмкости объёмом 200 м^3 при условии, что температура воздуха $293,15 \text{ К}$ ($+20^\circ \text{C}$), а давление $18715,766 \text{ кгс/м}^2$, необходимо воспользоваться уравнением состояния идеального газа, которое выглядит следующим образом:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2.17)$$

где $p = 18715,766 \text{ кгс/м}^2$ – давление газа;

$V = 200 \text{ м}^3$ – объём заполняемой ёмкости;

$\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ - молярная масса газа;

m – масса газа;

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К}\cdot\text{моль})$ – универсальная газовая постоянная;

$T = 293,15 \text{ К}$ – температура газа.

Из уравнения (2.18) необходимо вывести массу газа:

$$m = \frac{pV\mu}{RT}. \quad (2.18)$$

Тогда в соответствии с формулой (2.18) масса газа равна:

$$m_1 = \frac{18715,766 \cdot 200 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 293,15} = 44,560 \text{ кг.}$$

Для наддува четырёх емкостей необходимое количество газа будет равно:

$$m_4 = 44,560 \cdot 4 = 178,240 \text{ кг.}$$

2.2 Расчёт на прочность цистерны хранения

Необходимо провести расчет на прочность цистерны хранения (рисунке 2.3). Геометрические параметры для расчёта выбираются в соответствии с ГОСТ 17032-2010.

Исходные данные для расчета цистерны хранения на прочность:

Материал – 09Г2С;

Внутренний диаметр D – 3240 мм;

Длина цилиндрической части l – 24400 мм;

Толщина стенки обечайки s = 18 мм;

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии c_1 = 4 мм;

Прибавка для компенсации минусового допуска c_2 = 0,5 мм;

Прибавка технологическая c_3 = 0 мм;

Суммарная толщина прибавок к расчетной толщине стенок c = 4,5 мм;

Рабочая температура t = 243,15 К (минус 30°C);

Расчётное внутреннее избыточное давление p = 0,19 МПа;

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С $[\sigma]$ = 196 МПа;

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С E = $1,99 \cdot 10^5$ МПа;

Площадь сечения кольца жёсткости A_{k_1} = 0,00113 м²;

Коэффициент прочности сварных швов (продольный, окружной) φ = 1.

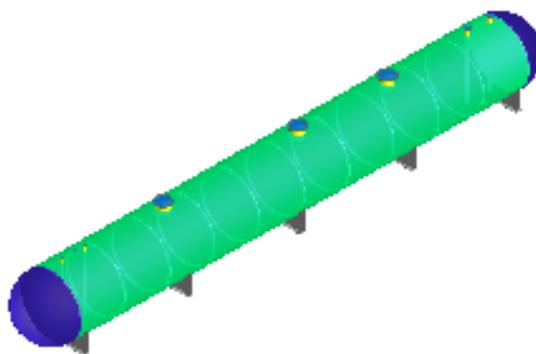


Рисунок 2.3 – Цистерна хранения нафтила

2.2.1 Расчёт цилиндрической обечайки на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидроиспытаний

Схема для проведения расчёта гладкая цилиндрической обечайки представлена на рисунке 2.4.

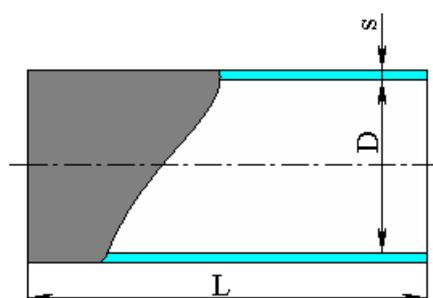


Рисунок 2.4 – Гладкая цилиндрическая обечайка

Сопряжённые элементы жёсткости представлены в таблице 2.5.

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в рабочих условиях.

Условия нагружения:

- Расчётная температура $t = -30^{\circ}\text{C}$;
- Расчётное внутреннее избыточное давление $p = 0,19 \text{ МПа}$;
- Расчётная длина для расчёта от действия давления: $l = 24400 \text{ мм}$.

Таблица 2.4 – Сопряжённые элементы жёсткости

№	Название элемента	Расстояние от начала координат до оси, l_i , мм	Ширина, t_i , мм	Площадь сечения, A_{ki} , кв. м	Момент инерции, I_{ki} , м ⁴	Коэффициент жёсткости обечайки, подкреплённой этим кольцом, k
1	Кольцо жёсткости №1	0	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
2	Кольцо жёсткости №3	$2,44 \cdot 10^3$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
3	Кольцо жёсткости №4	$4,88 \cdot 10^3$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
4	Кольцо жёсткости №5	$7,32 \cdot 10^3$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
5	Кольцо жёсткости №6	$9,76 \cdot 10^3$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
6	Кольцо жёсткости №7	$1,22 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
7	Кольцо жёсткости №8	$1,464 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
8	Кольцо жёсткости №9	$1,708 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
9	Кольцо жёсткости №10	$1,952 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
10	Кольцо жёсткости №11	$2,196 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041
11	Кольцо жёсткости №2	$2,44 \cdot 10^4$	55	0,00113	$0,173 \cdot 10^{-5}$	3,041

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением.

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c) + \frac{A_{k_1}}{l}[\sigma]_{k_1}\varphi_{k_1} + \frac{A_{k_2}}{l}[\sigma]_{k_2}\varphi_{k_2}}{D + (s-c)}. \quad (2.19)$$

В соответствии с формулой (2.24) допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки равно:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot 196 \cdot (18 - 4,5) + \frac{0,00113 \cdot 183 \cdot 1}{24400} + \frac{0,00113 \cdot 183 \cdot 1}{24400}}{3420 + (18 - 4,5)} = 1,679 \text{ МПа.}$$

Расчёт между кольцами для расчёта от действия давления: $b = 2385$ [мм] проводится по формуле:

$$\lambda_n^2 = \frac{b^2}{D(s-c)}, \quad (2.20)$$

$$\lambda_n^2 = \frac{2385^2}{3420(18-4,5)} = 130,046.$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2[\sigma]\varphi_m(s-c)(2+\lambda_n^2)}{D+(s-c) \cdot \left(1 + \frac{\varphi_m \lambda_n^2}{\varphi_p}\right)}, \quad (2.21)$$

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1 \cdot (18 - 4,5)(2 + 130,046)}{(33240 + (18 - 4,5)) \left(1 + \frac{1 \cdot 130,046}{1}\right)} = 1,639 \text{ МПа.}$$

Допускаемое внутреннее давление выбирается из следующего условия:

$$[p] = \min\{[p]_1; [p]_2\}. \quad (2.22)$$

Таким образом допускаемое внутреннее давление равно:

$$[p] = \min\{1,679; 1,639\} = 1,639 \text{ МПа.}$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$[p] \geq p, \quad (2.23)$$

$$1,639 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2[\sigma]\varphi_p - p} + c, \quad (2.24)$$

$$s_p + c = \frac{0,19 \cdot 3240}{2 \cdot 196 \cdot 1 - 0,19} + 4,5 = 6,071 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p (s - c)}, \quad (2.25)$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{18 - 4,5}{1,571} - 0,8 \right) \sqrt{3240(18 - 4,5)} = 3259,779 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между «одиночными» штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D(s - c)}, \quad (2.26)$$

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{3240(18 - 4,5)} = 418,282 \text{ мм.}$$

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в условиях гидроиспытаний.

Расчёт на прочность при испытаниях не проводится в соответствии с ГОСТ 14249-89, если выполняется следующее условие:

$$p_{исп} < 1,35 \cdot p_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (2.27)$$

$$1,35 \cdot p_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot \frac{196}{196} = 2,025 \text{ МПа.}$$

Таким образом условие выполняется: 0,19 МПа < 2,025 МПа.

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре +20°C;
(условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{20} = \frac{\eta \cdot R_{e/20}}{n_m} = \frac{1 \cdot 300}{1,1} = 272,727 \text{ МПа.}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре +20°C составляет $E^{20} = 1,99 \cdot 10^5$ МПа.

Обечайка с кольцами жёсткости, нагруженная внутренним избыточным давлением.

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности всей обечайки:

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot (18 - 4,5) + \frac{0,00113 \cdot 254,546}{2440} + \frac{0,00113 \cdot 254,546}{2440}}{3420 + (18 - 4,5)} = 2,336 \text{ МПа.}$$

Расчёт между кольцами для расчёта от действия давления: $b = 2385$ мм.

$$\lambda_n^2 = \frac{2385^2}{3420(18 - 4,5)} = 130,046.$$

Допускаемое внутреннее давление из условия прочности обечайки между двумя соседними кольцами жёсткости:

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot 1 \cdot (18 - 4,5)(2 + 130,046)}{(33240 + (18 - 4,5)) \left(1 + \frac{1 \cdot 130,046}{1} \right)} = 2,281 \text{ МПа.}$$

Допускаемое внутреннее давление выбирается из условия:

$$[p] = \min \{ 2,336 ; 2,281 \} = 2,281 \text{ МПа.}$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$2,281 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (без учёта колец жёсткости):

$$s_p + c = \frac{0,19 \cdot 3240}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 0,19} + 4,5 = 5,629 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \left(\frac{18 - 4,5}{1,129} - 0,8 \right) \sqrt{3240(18 - 4,5)} = 4666,977 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между «одиночными» штуцерами:

$$b_0 = 2\sqrt{3240(18 - 4,5)} = 418,282 \text{ мм.}$$

2.2.2 Расчёт сферического днища на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидроиспытаний

Схема для расчета сферического днища на прочность представлена на рисунке 2.5.

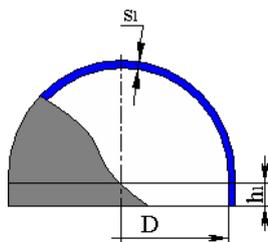


Рисунок 2.5 – Сферическое днище

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в рабочих условиях.

Условия нагружения:

- Расчётная температура $t = -30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Расчётное внутреннее избыточное давление $p = 0,19 \text{ МПа}$.

Расчётная толщина стенки днища, нагруженного внутренним избыточным давлением, с учётом прибавок:

$$s_{ip} + c = \frac{p \cdot R}{2[\sigma]\varphi - 0,5 \cdot p} + c, \quad (2.28)$$

где $R = 162 \text{ [мм]}$ – радиус кривизны в вершине днища

$$s_{ip} + c = \frac{0,19 \cdot 1620}{2 \cdot 196 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,19} + 4,5 = 5,285 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(s_1 - c)}{R + 0,5(s_1 - c)}, \quad (2.29)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1(18 - 4,5)}{1620 + 0,5(18 - 4,5)} = 3,253 \text{ МПа.}$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$[p] \geq p \quad (2.30)$$

$$3,253 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в условиях гидроиспытаний.

Расчёт на прочность при испытаниях не проводится в соответствии с ГОСТ 14249-89, если выполняется следующее условие:

$$p_{исп} < 1,35 \cdot p_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (2.31)$$

$$1,35 \cdot p_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot \frac{196}{196} = 2,025 \text{ МПа.}$$

Таким образом условие выполняется: $0,19 \text{ МПа} < 2,025 \text{ МПа}$.

Расчётная толщина стенок с учётом прибавок в соответствии с формулой (2.28) равна:

$$s_{ip} + c = \frac{0,19 \cdot 1620}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,19} + 4,5 = 5,064 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot 1(18 - 4,5)}{1620 + 0,5(18 - 4,5)} = 4,527 \text{ МПа.}$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$4,527 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

2.2.3 Расчёт штуцера на прочность и устойчивость в рабочих условиях и условиях гидротестирования

Схема для расчета прочности узла врезки штуцера представлена на рисунке 2.6.

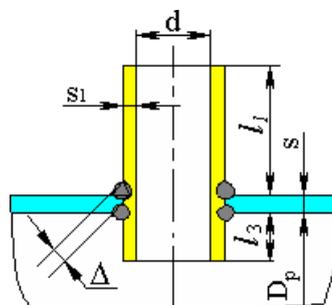


Рисунок 2.6 – Расчётная схема штуцера

В таблице 2.6 приведены исходные данные для расчёта прочности узла врезки штуцера.

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в рабочих условиях.

Условия нагружения: расчётная температура $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Расчётная толщина стенки штуцера рассчитывается по формуле:

$$s_{lp} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \varphi_1 - p} \quad (2.32)$$

Допускаемое давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]_1 \varphi_1 (s_1 - c_s)}{d_1 + s_1 + c_s} \quad (2.33)$$

Таблица 2.5 – Исходные данные для расчёта прочности узла врезки штуцера

№ п/п	Внутренний диаметр штуцера (d , мм)	Толщина стенки штуцера (s , мм)	Сумма прибавок (c_s , мм)	Расчётное внутреннее избыточное давление (p , МПа)	Допускаемые напряжения 09Г2С при 20°C ($[\sigma]_{20}$, МПа)	Модуль продольной упругости 09Г2С при 20°C (E^{20} , МПа)	Продольный шов штуцера φ_1
1	650	24	4	0,19	272,727	$1,99 \cdot 10^5$	1
2	200	10					
3	50	8					

Тогда для каждого штуцера соответствующего диаметра расчётная толщина стенки и допускаемое давление в соответствии с формулами (2.32), (2.33) равны:

$$s_{ip1} = \frac{1,5(650 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 196 \cdot 1 - 1,5} = 2,528 \text{ мм};$$

$$s_{ip2} = \frac{1,5(200 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 196 \cdot 1 - 1,5} = 0,799 \text{ мм};$$

$$s_{ip3} = \frac{1,5(200 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 1,5} = 0,574 \text{ мм};$$

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1(24 - 4)}{(650 + 24 + 4)} = 11,563 \text{ МПа};$$

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1(10 - 4)}{(200 + 10 + 4)} = 10,991 \text{ МПа};$$

$$[p]_3 = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1(8 - 4)}{(50 + 8 + 4)} = 25,290 \text{ МПа}.$$

Проверка условия прочности и устойчивости:

$$11,563 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа};$$

$$10,991 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа};$$

$$25,290 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа}.$$

Условие прочности и устойчивости выполняются.

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 14249-89 в условиях гидроиспытаний.

Условия нагружения при испытаниях: расчётная температура $t = 20^\circ\text{C}$.

Для каждого штуцера соответствующего диаметра расчётная толщина стенки и допускаемое давление в соответствии с формулами (2.32), (2.33) равны:

$$s_{ip1} = \frac{1,5(650 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 1,5} = 1,814 \text{ мм};$$

$$s_{ip2} = \frac{1,5(200 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 1,5} = 0,574 \text{ мм};$$

$$s_{ip3} = \frac{1,5(50 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 272,727 \cdot 1 - 1,5} = 0,16 \text{ мм};$$

$$[p]_1 = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot 1(24 - 4)}{(650 + 24 + 4)} = 16,090 \text{ МПа};$$

$$[p]_2 = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot 1(10 - 4)}{(200 + 10 + 4)} = 15,293 \text{ МПа};$$

$$[p]_3 = \frac{2 \cdot 272,727 \cdot 1(8 - 4)}{(50 + 8 + 4)} = 35,191 \text{ МПа}.$$

Проверка условия прочности и устойчивости:

$$16,090 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа};$$

$$15,293 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа};$$

$$35,191 \text{ МПа} \geq 0,19 \text{ МПа}.$$

Условие прочности и устойчивости выполняются.

Вывод по разделу

Произведён расчёт количества нафтила хранимого на СК – 652931 кг, а также необходимое количество емкостей хранения 4 штуки. Гидравлический расчёт показал правильность выбора технологической схемы, падение давления на входе в изделие составило 49,049 м.ж.ст. Расчёт на прочность емкости хранения нафтила подтвердил правильность выбора технических решений, что соответствует требованиям технического задания.

Результаты проведенных расчетов показывают соответствие выбранной компоновочной схемы, способа подачи топлива в топливные баки РН, геометрических характеристик элементов магистральных трубопроводов и заправочных систем.

3 АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ НЕОБЕЗВОЖЕННОГО НАФТИЛА В ЁМКОСТИ ХРАНЕНИЯ

Компоненты ракетного топлива при приеме их от агрегатов доставки в системы заправки, стартового комплекса и технического комплекса должны быть кондиционными и соответствовать ГОСТам, ОСТам, техническим условиям или нормативно-технической документации.

Так как физико-химические и механические процессы, происходящие внутри емкостей, трубопроводов, например, коррозия материалов, попадание твердых частиц в компоненты топлива при их транспортировке и т. д., обуславливают наличие в КРТ твердых механических частиц, то требуется установка в системах приёма и заправки фильтров для фильтрации компонентов ракетного топлива.

Фильтр – устройство, обеспечивающие очистку компонентов ракетного топлива от механических примесей, до поступления их в цистерну хранения или топливные баки.

Перед началом заправочного процесса все компоненты топлива проходят очистку через фильтрационные установки в несколько этапов:

Первый этап – предварительная (грубая) очистка, в процессе которой происходит удаление крупных частиц размером до 5 мкм (рисунок 3.1, а).

Второй этап – тонкая очистка, в процессе которой специальные фильтрующие элементы улавливают твёрдые частицы размером до 0,5 мкм (рисунок 3.1, б).

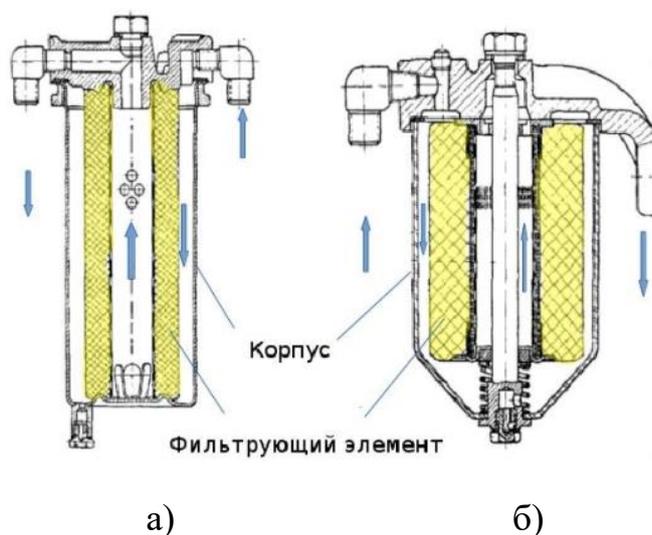


Рисунок 3.1 – Фильтр

а – грубой очистки; б – тонкой очистки

Третий этап – очищенные компоненты проходят этапы по обезвоживанию (очистки от воды) (рисунок 3.2).

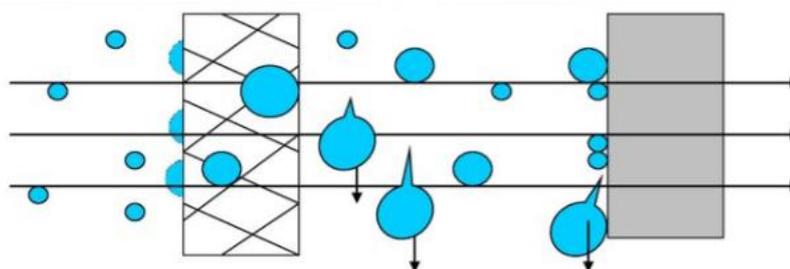


Рисунок 3.2 – Обезвоживание компонентов топлива

Для эффективной очистки компонентов ракетного топлива в настоящее время активно используют агрегат фильтрации топлива.

3.1 Назначение агрегата фильтрации топлива

Агрегат фильтрации топлива (АФТ) предназначен для приёма топлива на склад ГСМ с обеспечением фильтрации, внутри складской перекачки топлива с обеспечением фильтрации и водоотделения, выдачи топлива со склада ГСМ с обеспечением фильтрации, водоотделения и учёта, как и в чистом виде так и в смеси с противоводокристаллизационной жидкостью (ПВКЖ), а также раскачки аварийного резервуара склада ГСМ.

АФТ обеспечивает выполнение следующих технологических операций:

— фильтрацию от механических примесей и отделения свободной (эмульсионной) воды топлив для реактивных двигателей без присадок или с добавлением присадок в количествах, оговоренных НД;

— фильтрацию и дозированное введение ПВКЖ в топливо после фильтра-водоотделителя;

АФТ устанавливается на твёрдой поверхности, эксплуатируется в любом месте в любое время года и суток при температуре окружающего воздуха от минус 40 °С до плюс 50 °С, влажности воздуха до 98%.

3.2 Устройство и принцип работы АФТ

АФТ представляет собой изделие, смонтированное из сборочных единиц на раме под капотом.

Эксплуатация электрооборудования АФТ осуществляется от внешнего источника питания.

Для предотвращения гидроудара в линии потока топлива, в щите управления при запуске насосного агрегата установлено устройство мягкого пуска.

Шаровой кран используется в качестве шунта, для изменения подачи топлива в сторону уменьшения (30-40%) при приёме (наливе-выдаче).

Приём топлива при всех видах транспортирования в приёмные резервуары склада производится электронасосным агрегатом (ЭНА) с обеспечением фильтрации топлива от механических примесей.

Внутри складская перекачка топлива из приёмных резервуаров склада в расходные резервуары склада производится ЭНА с обеспечением фильтрации топлива от механических примесей и отделением свободной (эмульсионной) воды.

Выдача топлива из резервуаров склада с обеспечением фильтрации, водоотделения и учёта осуществляется, как в чистом виде, так и в смеси с ПВКЖ.

Принцип работы АФТ по приёму топлива из железнодорожного или другого вида транспорта в резервуары заключается в следующем.

Железнодорожная цистерна находится на безопасном удалении от АФТ параллельно производятся подготовительные мероприятия по обеспечению приёма топлива из железнодорожной цистерны.

При включении ЭНА, топливо из ж/д цистерны через фильтр (Ф1), клапан обратный (КО1) подаётся в фильтр (Ф2).

При прохождении топлива под вакуумметрическим давлением через фильтр (Ф1) топливо отфильтровывается от механических примесей до параметра, указанного в ЭД на фильтрующий элемент сетчатый (ЭФС).

Визуальный контроль вакуумметрического давления перед ЭНА, обеспечивается показывающим манометром ТМВ (МВН).

Топливо, проходя под давлением через фильтрующий бумажный элемент (ЭФБ) (Ф2), отфильтровывается от механических примесей до диаметра, указанного в ЭД на применяемый ЭФБ.

Деаэрация топлива из корпуса фильтра (Ф2) при заполнении производится в ручном режиме.

Визуальный контроль деаэрации топлива из корпуса фильтра (Ф2) осуществляется по индикатору потока (ИП1) в дренажный коллектор.

После фильтра (Ф2) топливо под давлением поступает в приёмные резервуары склада, до полного слива (раскачки) ж/д цистерны.

3.3 Улучшение характеристик АФТ за счёт замены фильтрующих элементов на современные аналоги

Рассматриваются варианты замены фильтрующих элементов (ФЭ), применяемых на сегодняшний день фильтров в АФТ на более перспективные (таблица 3.1). Учитывается, что фильтрующие элементы по масса-габаритным характеристикам изготавливаются с учётом гидравлического сопротивления предыдущего фильтрующего элемента.

Металлокерамические фильтры изготавливаются спеканием порошков различных металлов: бронзы, никеля, серебра, нержавеющей стали и титана. Они способны задерживать частицы размером до 1 мкм и ниже.

Металлокерамический фильтр лучше задерживает мелкие твердые частицы, чем фильтрующие ткани, благодаря извилистым и многослойным порам и жесткому, неподвижно фиксированному расположению металлических частиц.

Таблица 3.1 – Фильтрующие элементы

ФЭ используемый в настоящее время	Перспективный ФЭ
<p data-bbox="373 551 852 622">Элемент фильтрующий бумажный (ЭФБ – 15/5)</p> 	<p data-bbox="1078 551 1394 584">Металлокерамический</p> 
<p data-bbox="373 918 852 952">Сепарирующий элемент (ЭС – 75)</p> 	<p data-bbox="999 918 1474 952">Сепарирующий элемент (СЭ – 10)</p> 

Для подтверждения правильности выбора фильтрующего элемента необходимо провести расчёт пропускной способности фильтра и скорости фильтрации нефти со следующими исходными данными:

1. Перепад давления на ЭФБ: $\Delta p_1 = 0,918 \text{ кгс/см}^2$;
2. Перепад давления на ЭС – 75: $\Delta p_2 = 1,53 \text{ кгс/см}^2$;
3. Перепад давления на металлокерамическом фильтре: $\Delta p_3 = 1,02 \text{ кгс/см}^2$;
4. Перепад давления на СЭ – 10: $\Delta p_4 = 1,84 \text{ кгс/см}^2$;
5. Внутренний диаметра фильтрующего элемента: $d = 70 \text{ мм}$;
6. Наружный диаметр фильтрующего элемента: $D = 125 \text{ мм}$;
7. Высота фильтрующего элемента: $H = 174 \text{ мм}$;

8. Температура нафтила: $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 0^\circ\text{C}$, $t_3 = -15^\circ\text{C}$;
9. Плотность нафтила при 20°C : $\rho_1 = 833,5 \text{ кг/м}^3$;
10. Плотность нафтила при 0°C : $\rho_2 = 848 \text{ кг/м}^3$;
11. Плотность нафтила при -15°C : $\rho_3 = 858,9 \text{ кг/м}^3$;
12. Коэффициент кинематической вязкости нафтила при 20°C :
 $v^{20} = 1,88 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
13. Коэффициент кинематической вязкости нафтила при 0°C :
 $v^0 = 5,22 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
14. Коэффициент кинематической вязкости нафтила при -15°C :
 $v^{-15} = 7,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Выбор ФЭ проводится по формулам:

Расчётная производительность фильтрующего элемента Q , л/мин рассчитывается по формуле:

$$Q = q \cdot F, \quad (3.1)$$

где q – пропускная способность фильтра;

F – площадь поверхности фильтрующего элемента.

Пропускная способность фильтра q , л/мин·см²:

$$q = \alpha \frac{\Delta p}{\mu}, \quad (3.2)$$

где α – коэффициент пропорциональности пропускной способности фильтрующего элемента;

Δp – перепад давления на фильтре;

μ – коэффициент динамической вязкости фильтруемой жидкости.

Коэффициент пропорциональности пропускной способности для каждого фильтрующего элемента:

$$\alpha_1 = 1,07 \text{ л/см}^2;$$

$$\alpha_2 = 0,53 \text{ л/см}^2;$$

$$\alpha_3 = 0,9 \text{ л/см}^2;$$

$$\alpha_4 = 0,37 \text{ л/см}^2.$$

Коэффициент динамической вязкости рассчитывается из условия, что известен коэффициент кинематической вязкости нафтила:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (3.3)$$

где ρ – плотность нафтила в зависимости от температуры;

ν – коэффициент кинематической вязкости в зависимости от температуры нафтила.

В соответствии с исходными данными рассчитывается коэффициент динамической вязкости по формуле (3.3) при температуре нафтила $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_3 = -15 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\mu^{20} = 833,5 \cdot (1,88 \cdot 10^{-6}) = 0,00157 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\mu^0 = 848 \cdot (5,22 \cdot 10^{-6}) = 0,00443 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\mu^{-15} = 858,9 \cdot (7,73 \cdot 10^{-6}) = 0,00664 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Пропускная способность фильтра в соответствии с формулой (3.2) равна:

Для ЭФБ:

$$q_{11} = \frac{1,07 \cdot 0,918}{0,0157} = 62,564 \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2,$$

$$q_{12} = \frac{1,07 \cdot 0,918}{0,0443} = 22,173 \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2,$$

$$q_{13} = \frac{1,07 \cdot 0,918}{0,0664} = 14,793 \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2.$$

Для остальных ФЭ расчёт пропускной способности ведётся аналогично и записывается в таблицу 3.2.

Площадь поверхности фильтрующего элемента рассчитывается по формуле:

$$F = F_1 + F_2, \quad (3.4)$$

где F_1 – площадь боковой поверхности фильтрующего элемента;

F_2 – площадь верхней и нижней поверхностей днища.

Площадь боковой поверхности фильтрующего элемента рассчитывается по формуле:

$$F_1 = 2\pi rH, \quad (3.5)$$

где $r = d/2$ – радиус основания цилиндра.

Тогда площадь боковой поверхности по формуле (3.5) равна:

$$F_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{70}{2} \cdot 174 = 38245,2 \text{ мм}^2.$$

Площадь верхней и нижней поверхностей днища фильтрующего элемента рассчитывается по формуле:

$$F_2 = \pi R^2 - \pi r^2, \quad (3.6)$$

где $R = D/2$ – радиус основания цилиндра.

Тогда площадь верхней и нижней поверхностей днища по формуле (3.6) равна:

$$F_2 = 3,14 \left(\frac{125}{2} \right)^2 - 3,14 \left(\frac{70}{2} \right)^2 = 8419,125 \text{ мм}^2.$$

Тогда площадь поверхности фильтрующего элемента по формуле (3.6) равна:

$$F = 38245,2 + 8419,125 = 46664,325 \text{ мм}^2 = 466,643 \text{ см}^2.$$

Расчётная производительность фильтрующего элемента по формуле (3.1) равна:

$$Q_{11} = 62,564 \cdot 466,643 = 29195,21 \text{ л/мин};$$

$$Q_{12} = 22,173 \cdot 466,643 = 10346,83 \text{ л/мин};$$

$$Q_{13} = 14,793 \cdot 466,643 = 6903,08 \text{ л/мин}.$$

Для остальных ФЭ расчёт ведётся аналогично и записывается в таблицу

3.2.

Скорость фильтрации:

$$g = \frac{Q}{F}, \quad (3.7)$$

В соответствии с формулой (3.7) скорость фильтрации равна:

Для ЭФБ:

$$g_{11} = \frac{29195,21/60000}{466,634 \cdot 10^{-4}} = 10,353 \text{ м/с};$$

$$g_{12} = \frac{10346,83/60000}{466,634 \cdot 10^{-4}} = 3,669 \text{ м/с};$$

$$g_{13} = \frac{6903,08/60000}{466,634 \cdot 10^{-4}} = 2,448 \text{ м/с}.$$

Для остальных ФЭ расчёт ведётся аналогично и записывается в таблицу 3.2.

Расчётная производительность ФЭ, пропускная способность ФЭ и скорость фильтрации в соответствии с формулами (3.1, 3.2, 3.7) для каждого ФЭ представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчёт фильтрующих элементов

	$\alpha_i, \text{ л/см}^2$	$\mu^i, \text{ пз}$	$\Delta p_i, \text{ кг/см}^2$	$q, \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2$	$Q, \text{ л/мин}$	$g, \text{ м/с}$
ЭФБ	1,07	0,0157	0,918	62,564	29195,21	10,353
		0,0443		22,173	10346,83	3,669
		0,0664		14,793	6903,08	2,448
СЭ – 35	0,53	0,0157	1,53	51,650	24101,96	8,547
		0,0443		18,305	8541,78	3,029
		0,0664		12,212	5698,81	2,021
Металлокерамический фильтр	0,9	0,0157	1,02	58,471	27285,24	9,676
		0,0443		20,722	9669,94	3,429
		0,0664		13,825	6451,48	2,288
СЭ – 10	0,37	0,0157	1,84	43,363	20235,07	7,176
		0,0443		15,368	7171,34	2,543
		0,0664		10,253	4784,50	1,697

Целесообразность регенерации фильтров часто определяется экономическими соображениями. После снижения проницаемости фильтра до 70—80% от первоначальной величины фильтр обычно заменяют новым. В

таблице 3.3 рассматривается 3 этапа регенерации фильтров и изменение их пропускной способности на основании экспериментальных данных.

Таблица 3.3 – Регенерация ФЭ

Состояние фильтра	Пропускная способность ЭФБ	Пропускная способность металлокерамического фильтра
Новый	100%	100%
После 1 регенерации	85%	95%
После 2 регенерации	65%	89%
После 3 регенерации	50%	84%

Вывод по разделу

В данной части выпускной квалификационной работы проведён анализ и выбор оптимальной системы фильтрации при приеме необезвоженного нафтила в ёмкости хранения. Выбран вариант фильтрации с применением АФТ, так как он является экономически выгодным, надёжным и безопасным с точки зрения надёжности.

Также проведет анализ по замене фильтрующих элементов в АФТ на перспективные. Результаты расчёта показали, что пропускные способности, скорости фильтрации и расчётные производительности металлокерамического фильтра и СЭ – 10 не сильно отличаются от ЭФБ и ЭС – 75, несмотря на то что тонкость фильтрации снизилась с 3 мкм до 1 мкм, следовательно это доказывает, что фильтрующие элементы по масса-габаритным характеристикам изготавливаются с учётом гидравлического сопротивления предыдущего фильтрующего элемента.

4 ОХРАНА ТРУДА

4.1 Меры безопасности при работе с углеводородными компонентами ракетного топлива

КРК и его составные части должны удовлетворять требованиям Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116 ФЗ, «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ, ОСТ 134-1021-99, других нормативных документов с учетом принятых технических характеристик составных частей КРК.

Углеводородные компоненты ракетного топлива, представляют собой потенциальную опасность, поэтому работы проводимые с этими КРТ требуют особого внимания. В связи с этим необходимо строго соблюдать определенные меры безопасности, чтобы предотвратить возможные аварии и несчастные случаи. [9]

При работе с нафтилом запрещается:

- применять открытый огонь и курить;
- применять нештатный инструмент;
- принимать пищу;
- подтягивать фланцевые и резьбовые соединения трубопроводов и металлорукавов, находящихся под давлением нафтила или его паров;
- тушить водой загоревшийся нафтил.

Помещения для работы с нафтилом должны быть оборудованы:

- приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей десятикратный обмен воздуха;
- средствами пожаротушения (песок, асбестовые одеяла, огнетушители (ОХП-1, ОУ-7, ОУ-5).
- средствами индивидуальной защиты (изолирующий противогаз, респиратор РПГ – 67А.

4.2 Расчёт поражающих факторов во фронте ударной волны при взрыве РН на пусковой установке

Аварийный взрыв - чрезвычайная ситуация, возникающая в самый неожиданный момент времени в ограниченном пространстве спонтанно по стечению обстоятельств или в результате ошибочных действий отдельного лица (лиц), причиной или следствием которой стал взрыв на потенциально опасном объекте, оказывающая негативное влияние на окружающую среду.

Аварийный взрыв РКН на СК возникает в результате образования смеси КРТ при разрешении ТБ. Наиболее опасной аварийной ситуацией (АС), при которой мощность аварийного взрыва (АВ) максимальна, является падение заправленной РКН на стартовое сооружение с начального участка траектории с образованием взрывчатой смеси из КРТ в конденсированной фазе. Мощность взрыва при аварии определяется и оценивается тротильным эквивалентом топливной смеси в соответствии с приведённой методикой расчёта. [10]

Разрушение ступеней РН при вертикальном падении на стартовое сооружение происходит с запаздыванием как минимум на порядок, превышающим время задержки воспламенения смеси КРТ в аварийных условиях. То есть, воспламенение взрывчатой смеси, образовавшейся при разрушении первой ступени, произойдёт до разрушения последующей ступени.

На основании этого принято при оценках мощности АВ учитывать в расчёте топливо только первой ступени.

Для РН «Ангара – А5», заправляемой КРТ жидкий кислород и нафтил, мощность АВ определяется зависимостью:

$$C = K \cdot f \cdot M_1, \quad (4.1)$$

где $f = 2,2$ – удельный тротильный эквивалент КРТ стехиометрического состава;

$M_1 = 1980$ т – полная масса топлива первой ступени РН;

K – коэффициент, учитывающий нестехиометричность топлива, рассчитываемый по формуле:

$$K = 0,74 \cdot M_1^{-\frac{1}{3}}, \quad (4.2)$$

Троиловый эквивалент в соответствии с формулой (4.1) составляет:

$$C = \left(0,74 \cdot 1980^{-\frac{1}{3}} \right) \cdot 2,2 \cdot 1980 = 256,703 \text{ т.}$$

Основным фактором, определяющим поражающее действие взрыва, является воздействие избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ВУВ).

Величина избыточного давления во фронте ВУВ у поверхности Земли в зависимости от эпицентра взрыва определяется по формуле:

$$\Delta p_\phi = 8,8 \frac{\sqrt[3]{2C}}{R} + 2,4 \cdot 10^2 \frac{\sqrt[3]{(2C)^2}}{R^2} + 6 \cdot 10^3 \frac{\sqrt[3]{(2C)^3}}{R^3}, \quad (4.3)$$

где R – выборочное расстояние от эпицентра взрыва. Выбирается $R = 50$ м.

Величина избыточного давления во фронте ВУВ у поверхности Земли в соответствии с формулой (4.3) равна:

— при $R = 50$ м:

$$\Delta p_\phi = 8,8 \frac{\sqrt[3]{2256,703}}{50} + 2,4 \cdot 10^2 \frac{\sqrt[3]{(2 \cdot 256,703)^2}}{50^2} + 6 \cdot 10^3 \frac{\sqrt[3]{(2 \cdot 256,703)^3}}{50^3} = 3,221 \text{ МПа};$$

— при $R = 100$ м:

$$\Delta p_\phi = 8,8 \frac{\sqrt[3]{2256,703}}{100} + 2,4 \cdot 10^2 \frac{\sqrt[3]{(2 \cdot 256,703)^2}}{100^2} + 6 \cdot 10^3 \frac{\sqrt[3]{(2 \cdot 256,703)^3}}{100^3} = 0,532 \text{ МПа.}$$

Далее расчёт ведется аналогично и полученные данные записываются в таблицу 4.1.

Изменение давления во фронте ВУВ в зависимости от расстояния от эпицентра АВ РКН приведено на рисунке 4.1.

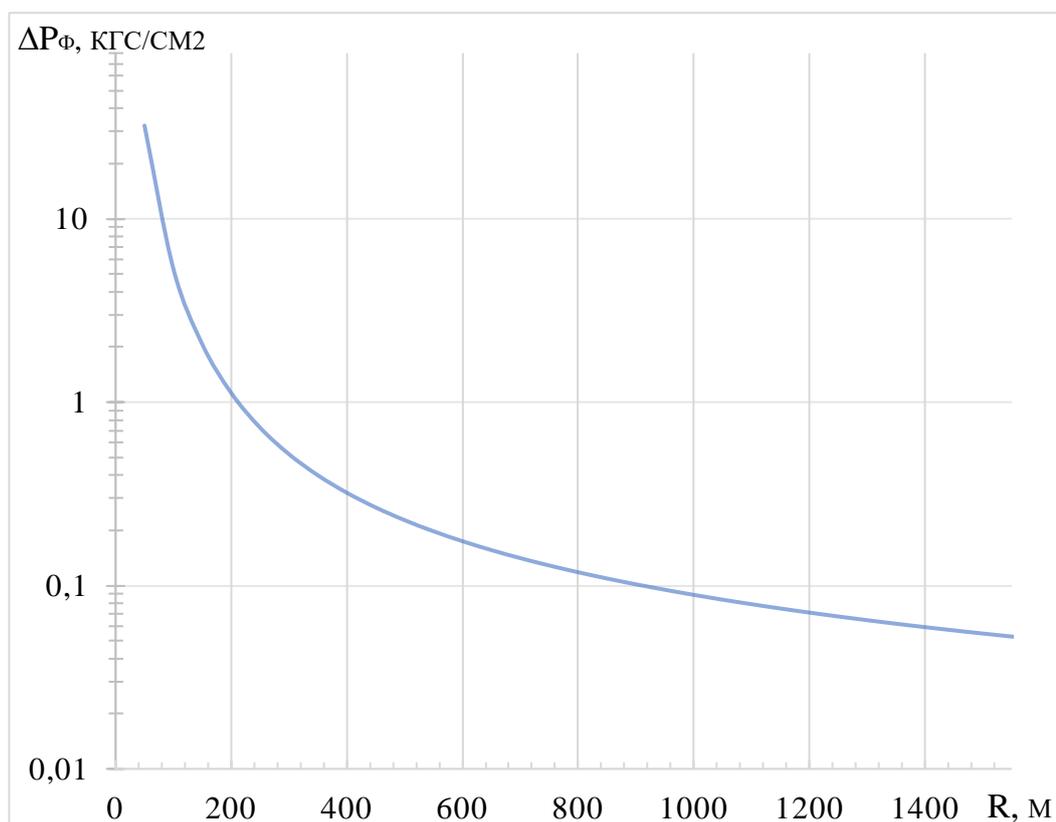


Рисунок 4.1 – График изменения давления во фронте ВУВ

Разрушающее воздействие ВУВ по степени разрушения бывает:

1. Сильное – разрушение «несущих» частей объекта, при этом сам объект не подлежит ремонту;
2. Слабое – разрушение второстепенных частей объекта, при этом объект подлежит ремонту.

Значения избыточного давления, характеризующие разрушающее воздействие ВУВ приведено в таблице 4.2, а поражающие действие ВУВ на человека приведено в таблице 4.3. [11]

Поражающие и разрушающие воздействия в зоне эпицентра АВ РН при переходе с красной зоны в жёлтую должно составлять $\Delta p_{\phi} = 0,01, \text{МПа}$. В соответствии с этими данными красной зоной считается расстояние 900 метров.

Таблица 4.1 – Изменение давления во фронте ВУВ

№ п/п	R, м	Δp_{ϕ} , кгс/см ²	Δp_{ϕ} , МПа
1	50	32,208	3,221
2	100	5,324	0,532
3	150	2,066	0,207
4	200	1,122	0,112
5	250	0,725	0,073
6	300	0,520	0,052
7	350	0,399	0,040
8	400	0,320	0,032
9	450	0,266	0,027
10	500	0,227	0,023
11	550	0,198	0,020
12	600	0,174	0,017
13	650	0,156	0,016
14	700	0,141	0,014
15	750	0,129	0,013
16	800	0,118	0,012
17	850	0,109	0,011
18	900	0,102	0,010
19	950	0,095	0,009
20	1000	0,089	0,009
21	1050	0,084	0,008
22	1100	0,079	0,008
23	1150	0,075	0,007
24	1200	0,071	0,007
25	1250	0,068	0,007
26	1300	0,065	0,006
27	1350	0,062	0,006
28	1400	0,059	0,006
29	1450	0,057	0,006
30	1500	0,055	0,005
31	1550	0,053	0,005
32	1600	0,051	0,005
33	1650	0,049	0,005
34	1700	0,047	0,005
35	1750	0,046	0,005
36	1800	0,044	0,004
37	1850	0,043	0,004
38	1900	0,042	0,004
39	1950	0,041	0,004

Таблица 4.2 – Значения избыточного давления, характеризующее разрушение объектов

Тип сооружения/объекта	Наименование сооружения/объекта	Разрушающее воздействие ВУВ $\Delta p_{\text{ф}}$, МПа	
		Сильное	Слабое
Здания	Командный пункт	1,0	-
	Промышленные здания с тяжёлым каркасом	0,04-0,06	0,01-0,03
	Промышленные здания с лёгким каркасом	0,03-0,05	0,01-0,02
	Железобетонная стена	0,03-0,04	0,025
	Кирпичные стены	0,002-0,007	0,001-0,002
	Малоэтажные кирпичные здания	0,025-0,035	0,008-0,015
	Многоэтажные кирпичные здания	0,02-0,03	0,008-0,012
	Здания НКИ	0,02	0,01
	Здания вертикальной сборки	0,002	-
	Разрушение остекления	0,007	0,002
Хранилища	Обвалованные	0,04	-
	Открытые	0,03	-
Резервуары, трубопроводы	Наземные трубопроводы	0,13	-
Резервуары, трубопроводы	Наземные металлические резервуары и ёмкости	0,07	0,02
Транспортные средства	Вагоны железнодорожные	0,1	0,02-0,04
	Автоцистерны, грузовые автомобили	0,05	0,02-0,04

Таблица 4.3 – Поражающее воздействие ВУВ на человека

Характер поражающего фактора	$\Delta p_{\text{ф}}$, МПа
Крайне тяжёлые травмы	0,08
Тяжёлые травмы (переломы, сильные кровотечения)	0,05-0,08
Средние травмы (контузия, повреждения органов слуха, кровотечения)	0,03-0,05
Лёгкие травмы (ушибы, вывихи, общая контузия)	0,02-0,03

Разрушающее воздействие ВУВ подразделяется на 3 зоны: красная, жёлтая и зелёная (рисунок 4.2).

В красную зону (зону сильных или полных разрушений) попадают следующие здания и сооружения:

- стартовое сооружение ПУ №1 (поз. 1);
- насосная станция технологического пожаротушения (поз. 2);
- сооружение сжатых газов (поз. 4);
- технологический блок заправки водородом с насосной станцией (поз. 5);
- хранилище водорода с площадкой испарителей (поз. 5а);
- сливной перрон водорода (поз. 5б);
- технологический блок заправки нафтилом с хранилищем (поз. 6);
- сооружение сбора и нейтрализации нафтила (поз. 6а);
- сливной перрон нафтила (поз. 6б);
- технологический блок заправки жидким кислородом (поз. 7);
- хранилище жидкого кислорода с площадкой испарителей (поз. 7а);
- сливной перрон жидкого кислорода (поз. 7б);
- криогенная эстакада (поз. 8);
- хранилище азота (поз. 8а);
- сливной перрон жидкого азота (поз. 8б);
- дренажная площадка кислорода (поз. 9);
- сооружение системы термостатирования (поз. 10);
- площадка СГЭП (поз. 10а);
- коммуникационный тоннель (поз. 11);
- укрытие персонала ПУ №1 (поз. 12, 12а, 12б, 12в);
- молниеотвод (поз. 13, 13а);
- сооружение ЗИП (поз. 15);
- ЦРП (поз. 16);
- станция водоснабжения (поз. 19);

- котельная (поз. 20);
- дымовая труба (поз. 20а).

В жёлтую зону (зону средних разрушений) входят:

- командный пункт (поз. 3);
- площадка СГЭП (поз. 3а);
- административно-служебное здание (поз. 14).

В зелёную зону (зону слабых разрушений) входят:

- караульное помещение (поз. 17);
- КПП (поз. 18);
- стартовое сооружение ПУ №2 (поз. 23);
- укрытие персонала ПУ №2 (поз. 22, 22а, 22б, 22в).

При пуске РН рабочий персонал эвакуируется в КП или административно-служебное здание с убежищем, поэтому при возможном взрыве РН на ПУ персонал в этих зданиях находится в жёлтой или зеленой зоне.

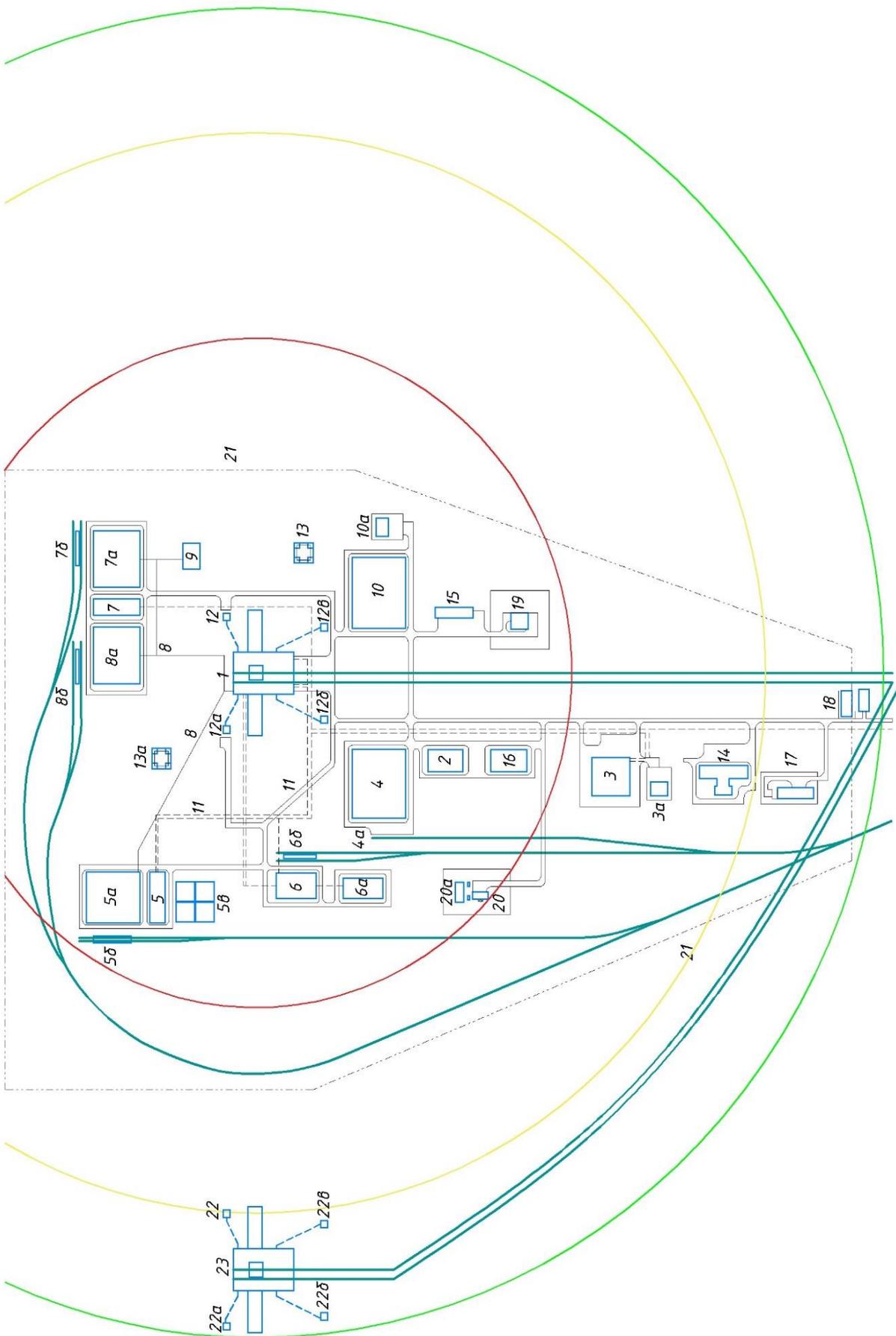


Рисунок 4.2 – Воздействие ВУВ на здания и сооружения СК

Вывод по разделу

В данном разделе рассматриваются основные меры безопасности, а также варианты защиты здоровья персонала и окружающей среды при работе с углеводородными компонентами ракетного топлива. Проведён расчёт мощности аварийного взрыва и избыточного давления во фронте ВУВ в случае падения РН на ПУ.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ: ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ХРАНЕНИЯ И ЗАПРАВКИ ГОРЮЧИМ (НАФТИЛ) РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО И ТЯЖЁЛОГО КЛАССОВ

В данной части приводится расчет экономической целесообразности создания комплекса хранения и заправки горючим ракет-носителей среднего и тяжёлого классов.

5.1 Возможный рынок применения комплекса хранения и заправки горючим

Потенциальным заказчиком данного комплекса хранения и заправки горючим ракет-носителей среднего и тяжёлого классов может быть Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос».

Возможное использование комплекса хранения и заправки горючим на космодромах, авиационных базах, аэропортах и других объектах, где проводится заправка и обслуживание ракет и воздушных судов.

Ценность комплекса заключается в автоматизации технологических процессов, выполняемых на СК и с интервалом между пусками не более 3,5 часов.

5.2 Календарный план работы над проектированием комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов

Жизненным циклом системы считается весь цикл от принятия решения о проведении разработок до полного отказа конечного пользователя от применения данного комплекса:

Замена системы произойдет в случае модернизации и внедрения новой технологии либо морального устаревания и полной деградации элементов конструкции системы, требующая дополнительные затраты на новые технологические изыскания.

Возможная причина замены может быть: износ или повреждение оборудования, техническая неисправность, а также, если комплекс содержит устаревшее оборудование, которое не соответствует современным технологиям или безопасным стандартам.

План проведения работ представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – План проведения работ

Основные виды работ	Исполнители	Затраты времени, дни
Разработка технического задания	Руководитель	1
Изучение технических стандартов и нормативов	Инженер	4
Разработка структурной схемы	Инженер	2
Разработка принципиальной схемы	Инженер	3
Разработка функциональной схемы	Инженер	3
Разработка геометрических моделей	Инженер	4
Изготовление рабочих чертежей	Инженер	12
Построение графиков (проверка расчетов)	Инженер	4
Подготовка документации	Инженер	4
Консультация с руководителем	Руководитель	3
Сдача результатов проектирования	Инженер	1
ИТОГО		41

5.3 Оценка конкурентоспособности комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов

Оценка конкурентоспособности комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов включает в себя несколько факторов:

1. Эффективность. При разработке комплекса хранения и заправки горючим принят принцип разделения технологического оборудования на два независимых полукомплекта – на две пусковые линии со своими стартовыми площадками.

2. Безопасность. Выполняемые на СК технологические процессы заправки автоматизированы и доступ обслуживающего персонала к РН запрещён.

3. Технологические инновации. Реализуется принцип автоматической стыковки соответствующих элементов РН с наземными системами.

Таким образом проектируемый комплекс хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов является конкурентоспособным.

5.4 Себестоимость комплекса хранения и заправки горючим (нафтил) ракет-носителей среднего и тяжёлого классов

Основными источниками затрат при работе над темой как части этапа проектирования жизненного цикла комплекса хранения и заправки являются капитальные предпроизводственные затраты, которые в свою очередь могут быть учтены и минимизированы.

В себестоимость работы включаются все затраты, связанные с ее выполнением вне зависимости от источника ее финансирования. Калькуляция себестоимости составляется по статьям:

1. Основная и дополнительная заработная плата основных исполнителей.
2. Страховые взносы.
3. Затраты на расходные материалы.
4. Прочие расходы.
5. Накладные расходы.

Расходные материалы, необходимые для проектирования данной установки, включают в себя: программное обеспечение MS Office 2010, AutoCad 2013, 14 листов формата А1, упаковку листов формата А4.

В таблице 5.2 приведен расчет затрат на расходные материалы. Сумма затрат рассчитывается исходя из цены и количества необходимых материалов, цены – рыночные.

Таблица 5.2 – Затраты на расходные материалы

Наименование оборудования	Количество	Цена, руб.	Сумма затрат, руб.
Программное обеспечение MS Office 2010	1	2 214,08	2 214,08
Программное обеспечение AutoCad 2013	1	8 555,60	8 555,60
Лист формата А1	14	25,00	350,00
Упаковка А4	2	380,00	760,00
Тонер	1	150,00	150,00
ИТОГО			12 029,68

Затраты по основной заработной плате работников рассчитываются исходя из этапов проведения работ по созданию установки, их продолжительности, трудоемкости данного процесса и среднемесячной зарплаты работников.

Трудоемкость характеризует затраты рабочего времени на производство единицы продукции или работы. В данном случае, труд, затраченный на выполнение каждого этапа проектирования, выражается в человеко-месяц. Это означает, что день, затраченный на выполнение этапа проектирования, равен 8 часам, а месяц – 22 рабочим дням.

Расчет затрат на основную заработную плату работников приведен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Затраты на основную заработную плату работников

Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость этапа, чел./день	Трудоемкость этапа, чел./мес.	Заработная плата, руб.	Затраты по заработной плате, руб.
Разработка технического задания	Руководитель	1	0,091	50 400,00	2 290,91
Изучение технических стандартов и нормативов	Инженер	4	0,182	35 980,00	6 541,82
Разработка структурной схемы	Инженер	2	0,091	35 980,00	3 270,91
Разработка принципиальной схемы	Инженер	3	0,136	35 980,00	4 906,36

Продолжение таблицы 5.3

Наименование этапа	Исполнители	Трудо-емкость этапа, чел./день	Трудо-емкость этапа, чел./мес.	Заработная плата, руб.	Затраты по заработной плате, руб.
Разработка функциональной схемы	Инженер	3	0,136	35 980,00	4 906,36
Разработка геометрических моделей	Инженер	4	0,182	35 980,00	6 541,82
Изготовление рабочих чертежей	Инженер	12	0,545	35 980,00	19 625,45
Построение графиков (проверка расчетов)	Инженер	4	0,182	35 980,00	6 541,82
Подготовка документации	Инженер	4	0,182	35 980,00	6 541,82
Консультация с руководителем	Руководитель	3	0,136	50 400,00	6 872,73
Сдача результатов проектирования	Инженер	1	0,045	35 980,00	1 635,45
ИТОГО					69 675,45

Дополнительная заработная плата разработчиков составляет 20% от основной заработной платы:

$$69\,675,45 \cdot 20\% = 13\,935,09 \text{ рублей.}$$

Страховые взносы составляют 30,2% от фонда оплаты труда:

$$(69\,675,45 + 13\,935,09) \cdot 30,2\% = 25\,250,38 \text{ рублей.}$$

Накладные расходы составляют 140-250% от величины основной заработной платы. При проектировании и создании данного комплекса накладные расходы принимаются равными 200%:

$$69\,675,45 \cdot 200\% = 139\,350,90 \text{ рублей.}$$

Прочие расходы включают стоимость машинного времени на разработку, отладку, и подготовку технической документации и рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{пр}} = N \cdot C_{\text{мч}} \cdot K_{\text{загр}}, \quad (5.1)$$

где N – количество часов, необходимых на создание, отладку, и подготовку технической документации;

$C_{\text{мч}}$ – стоимость машино-часа, включающая стоимость профилактических работ, потребляемой электроэнергии, расходных материалов, равная 70 рублей;

$K_{\text{загр}}$ – коэффициент загрузки ПЭВМ, равный 0,7...0,9. Принимается $K_{\text{загр}} = 0,8$.

N рассчитывается исходя из таблицы 5.3, учитывая дни, затраченные на выполнение этапов разработки и изготовления, принимая, что каждый день работы длились 8 часов:

$$N = (1 + 2 + 3 + 3 + 4 + 12 + 4 + 4 + 1) \cdot 8 = 272 \text{ часа,}$$

$$Z_{\text{пр}} = 272 \cdot 70 \cdot 0,8 = 15\,232,00 \text{ рублей.}$$

Полученные данные по затратам на приобретение расходных материалов, основную и дополнительную заработную плату рабочих, затраты по страховым взносам в пенсионный фонд и фонды социального страхования, накладные и прочие расходы сводятся в единую таблицу. Себестоимость проектирования вакуумной системы для проведения испытаний транспортных космических кораблей и крупногабаритных модулей орбитального комплекса представлена в таблице 5.4.

Для создания комплекса хранения и заправки необходимы комплектующие изделия, стоимость которых приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.4 – Себестоимость проектирования комплекса

Наименование статей расходов	Затраты, руб.
Расходные материалы	12 029,68
Основная заработная плата разработчиков	69 675,45
Дополнительная заработная плата разработчиков	13 935,09
Страховые взносы	25 250,38
Накладные расходы	139 350,90
Прочие расходы	15 232,00
ИТОГО	275 473,50

Таблица 5.5 – Расходы на приобретение комплектующих изделий

Наименование изделия	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Цистерна хранения	8	483 500,00	3 868 000,00
Фильтр	24	126 000,00	3 024 000,00
Металлорукав	9	12 350,00	111 150,00
Предохранительный клапан	9	15 730,00	141 570,00
Клапан отсечной	70	21 300,00	1 491 000,00
Датчик давления	30	3 970,00	119 100,00
Датчик температуры	26	1 274,00	33 124,00
Трубопровод	810	357,00	289 170,00
Манометр	20	3 690,00	73 800,00
Вентиль	70	10 650,00	745 500,00
Расходомер	8	76 800,00	614 400,00
Сливная ёмкость	2	125 000,00	250 000,00
Уровнемер	24	61 000,00	1 464 000,00
Прибор для отбора проб	8	4 400,00	35 200,00
ИТОГО			12 260 014,00

Для внедрения проектируемого комплекса хранения и заправки горючим необходимо приобрести следующее оборудование, стоимость которого приведена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Стоимость необходимого оборудования

Наименование оборудования	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Электронасос	4	95 000,00	380 000,00
Агрегат фильтрации топлива	2	7 000 000,00	14 000 000,00
Теплообменный аппарат	2	1 167 939,00	2 335 878,00
ИТОГО			16 715 878,00

Затраты на основные расходные материалы для отработки режимов заправки топливных баков РН включают стоимость рабочего тела, расходуемого в процессе подготовки и проведения заправки их стоимость приведена в таблице 5.7.

Затраты на основные расходные материалы, используемые при строительстве системы заправки горючим (нафтилом) перспективных ракет-носителей среднего и тяжелого классов на стартовом комплексе приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.7 – Затраты на рабочее тело

Наименование рабочего тела	Объем, л.	Цена, руб/л.	Сумма затрат, руб.
Жидкий азот	6000	330	1 980 000,00
Нафтил (РГ-1)	1 403 210	36	50 515 560,00
Сжатый воздух	6000	200	1 200 000,00
ИТОГО			53 695 560,00

Таблица 5.8 – Затраты на строительство

Наименование элемента	Материал	Масса	Цена, руб.	Сумма, руб.
Каркас сооружения хранилища	Сталь 5	50	15 400, 00	770 000,00
Стены сооружения хранилища	Железобетон	120	19 350, 00	2 322 000,00
Эстакада магистрали подачи	Сталь 45	8	25 000, 00	200 000,00
Потерна коммуникации	Железобетон	30	19 350, 00	580 500,00
Ферменная конструкция	Сталь 10	10	18 200, 00	182 000,00
Фундамент	Железобетон	200	19 350, 00	3 870 000,00
ИТОГО				7 924 500,00

Вывод по разделу

В данном разделе рассмотрены вопросы, о необходимости и целесообразности затрат на создание комплекса хранения и заправки горючим. Себестоимость проектирования комплекса составила 275 473,50 рублей. Расходы на приобретение комплектующих изделий 12 260 014,00 рублей. Расходы на приобретение необходимого оборудования 16 715 878,00 рублей. Стоимость элементов конструкции комплекса хранения и заправки горючим составили 7 924 500,00 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработан универсальный комплекс хранения и система заправки горючим (нафтил) РН среднего и тяжелого классов.

В общей части выпускной квалификационной работы произведен анализ и выбор основных проектных параметров для проектируемого универсального комплекса, массовый расчёт компонента топлива необходимого для заправки ракета-носителей среднего и тяжелого классов и потери его напора при заправке ракетным топливом РГ-1 (нафтилом).

При расчете на прочность, проведен расчет на прочность ёмкости хранения, который доказал соответствие элементов конструкции условиям штатной эксплуатации.

Описана конструкция используемого оборудования при заправке, приеме и термостаировании. Проведён анализ и выбор оптимальной системы фильтрации при приеме необезвоженного нафтила в ёмкости хранения.

В разделе «Охрана труда» рассмотрены меры безопасности при работе с углеводородными КРТ и охрана окружающей среды при проливе углеводородного ракетного топлива. Проведён расчёт поражающих факторов во фронте ударной волны при взрыве РН на пусковой установке.

В экономической части был произведен расчет экономической целесообразности проектирования универсального комплекса хранения и системы заправки горючим (нафтил) РН среднего и тяжёлого классов, также затраты на приобретение комплектующих для его создания и описан экономический эффект от его использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- 1 Шарапов В.С., Торпачев А.В. Основы проектирования систем заправки и газоснабжения ракет космического назначения. Учебное пособие для вузов / Под. ред. д.т.н., профессора Г.П. Бирюкова. – М.: Типография КБТМ, 2008. – 145 с.: ил.
- 2 Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 2007. – 559 с.
- 3 Зотов Б.И., Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. – М.: Колос, 2003
- 4 Хлыбов В.Ф. Основы устройства и эксплуатации заправочного оборудования. – М.: Академия РВСН МО РФ, 2003. – 248 с.
- 5 Богомолов А.А., Егоров А.Е., Шарапов В.С. Стационарные системы заправки ракет космического назначения окислителем и горючим / Под редакцией Г.П. Бирюкова. – М.: КБТМ, 2000 – 146 с.
- 6 Пономаренко В.К. Ракетные топлива. Учебное пособие. – СПб.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 2000. – 419 с.
- 7 Караштин В.М., Катков А.Г., Родченко В.В. Основы проектирования систем наземного обеспечения. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 311 с.
- 8 Самойленко Е.А. Методические указания. Экономическое обоснование дипломных проектов. – М.: Изд-во МАИ, 2016.
- 9 Эксплуатация испытательных комплексов ракетно-космических систем / А.Г. Галеев, А.А. Золотов, А.Н. Перминов, В.В. Родченко; Под ред. А.Н. Перминова. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 260 с.: ил.
- 10 Научно-технический отчёт «Разработка требований и исходных данных, выбор основных вариантов для исследования газодинамических параметров в зоне взрыва, оценка прочности и стойкости существующих сооружений», 1997 г.
- 11 Стартовый комплекс для обслуживания ракет. Расчёт газодинамических нагрузок. Расчёт нагрузок на СК, ТК и ТО.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справочные гидравлические параметры

Таблица А.1 – Значения единиц скорости течения КРТ v при различных расходах Q в зависимости от диаметра трубопровода.

Q , л/мин	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Ø 100	1,06	1,28	1,48	1,69	1,91	2,13	3,18	4,25	5,3	6,38	7,43
Ø 125	0,68	0,816	0,95	1,20	1,22	1,36	2,04	2,76	3,4	4,08	4,75
Ø 150	0,47	0,565	0,659	0,751	0,85	0,94	1,41	1,88	2,36	2,82	3,3
Ø 200	0,098	0,124	0,159	0,424	0,478	0,53	0,79	1,06	1,33	1,59	1,85

Таблица А.2 – Значения единиц скорости течения КРТ v при различных расходах Q в зависимости от диаметра трубопровода.

Q , л/мин	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
Ø 100	10,6	12,75	14,85	-	-	-	-	-
Ø 125	6,8	8,16	9,5	10,8	12,2	13,6	14,97	-
Ø 150	4,7	5,65	6,59	7,51	8,5	9,4	10,36	11,3
Ø 200	2,66	3,18	3,71	4,24	4,78	5,3	5,84	6,36

Таблица А.3 – Значения единиц динамического напора $V^2/2g$ при различных расходах Q в зависимости от диаметра трубопровода.

Q , л/мин	0	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
Ø 50	0,23	0,93	3,72	8,31	$(V^2 \text{ Ø } 50)/2g$						
Ø 100	0,0143	0,0572	0,232	0,52	0,93	1,44	2,08	2,81	3,68	4,67	5,72
Ø 125	0,0059	0,024	0,095	0,212	0,39	0,592	0,852	1,52	1,52	1,9	2,36
Ø 150	0,0029	0,0116	0,045	0,102	0,181	0,285	0,407	0,555	0,725	0,92	1,13
Ø 200	0,0091	0,0036	0,014	0,032	0,0572	0,0906	0,1296	0,176	0,299	0,292	0,362