

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

Специальность: 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика

Направление (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ В.В. Соловьев

« _____ » _____ 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Расчет энерго-массовых характеристик универсального ракетного модуля ракета-носителя «Ангара-А5»

Исполнитель
студент группы 1109-об2

(подпись, дата)

О.В. Баронецкая

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

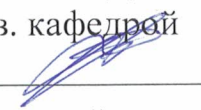
Благовещенск 2025

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 Баронецкой Олеси Владимировны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Расчёт энерго-массовых характеристик универсального ракетного модуля ракеты-носителя «Ангара – А5»

(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: конструкция ракеты-носителя «Ангара – А5», справочная литература.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): пакет конструкторской документации, проектная документация, описание стенда.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, иллюстративного материала и т.п.): конструкция корпуса бака «Г»; трёхмерная модель бака «Г»; схема членения универсального ракетного модуля; директивная схема сборки УРМ – 1; технологический процесс сварки кольцевых швов бака; сборочный чертёж корпуса бака «Г»; бак «Г»; сборочный чертёж стенда для сварки кольцевых швов; общий вид РКН; компоновочный чертёж УРМ – 1; компоновочный чертёж блока отсека и маршевого двигателя УРМ – 1; схема членения РКН, схема членения УРМ – 1.

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

Отчет по выпускной квалификационной работе содержит 77 с., 3 рисунка, 12 таблиц, 10 источников, 2 прил.

РАКЕТА КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ, ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, ПОЛЕЗНАЯ НАГРУЗКА, РАКЕТНЫЙ БЛОК, БАК ГОРЮЧЕГО, АРГОНО-ДУГОВАЯ СВАРКА, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАКЕТНЫЙ МОДУЛЬ, ДВУХОПОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ

Целью выпускной квалификационной работы является улучшение энерго-массовых характеристик универсального ракетного модуля ракеты-носителя «Ангара-А5».

В работе рассматриваются варианты улучшения энерго-массовых характеристик УРМ-1, с учётом ограничения, исключающего необходимость модернизации стартовых сооружений.

Для выбора наилучшего варианта была разработана конструктивно-компоновочная схема, проведены расчёт нагружения баков, а также расчёт на прочность, для подтверждения правильности выбранных характеристик. Разработан технологический процесс сварки кольцевых швов с использованием технологического приспособления.

В разделе безопасности труда рассмотрены условия труда инженера-конструктора.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.....	8
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	11
1.1 Назначение РН.....	11
1.2 Технические данные	12
1.3 Основные этапы наземной эксплуатации и технические готовности РН....	13
1.4 Устройство и работа изделия и составных частей изделия.....	13
1.5 Блок ускорителей.....	14
1.6 Ракетный блок I ступени	15
1.7 УРМ – 1	15
1.8 Ракетный блок II ступени.....	16
1.9 Ракетный блок III ступени.....	16
1.10 УРМ – 2	17
1.11 Двигатели	17
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	19
2.1 Порядок мероприятий по совершенствованию конструкции РН	19
2.2 Предложение по совершенствованию конструкции бака «Г».....	19
2.3 Требования, предъявляемые к конструкции герметичных ёмкостей....	20
2.4 Прочностной расчет конструкции бака «Г».....	20
2.4.1 Расчет верхней сферической обечайки	22
2.4.2 Расчет нижнего днища	23
2.4.3 Расчет конической обечайки.....	24
2.4.4 Расчет конструкции цилиндрической обечайки при действии внутреннего давления и внешней нагрузки.....	26
2.4.5 Расчет конструкции верхнего силового шпангоута	30
2.4.6 Расчет конструкции нижнего силового шпангоута	31
2.4.7 Расчет конструкции шпангоута крепления ДУ	31
2.5 Прочностной расчет конструкции бака «О»	32

2.5.1 Расчет верхней сферической обечайки	33
2.5.2 Расчет нижнего днища	34
2.5.3 Расчет конструкции цилиндрической обечайки при действии внутреннего давления и внешней нагрузки.....	35
2.5.4 Расчет конструкции верхнего силового шпангоута	39
2.5.5 Расчет конструкции нижнего силового шпангоута	39
2.6 Сравнительный анализ	40
2.7 Оценка массы выводимой ПН	41
2.8 Предложенная конструкция корпуса бака «Г»	41
2.9 Применение тоннельной трубы в конструкции бака «Г»	42
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	45
3.1 Описание схемы членения универсального ракетного модуля	45
3.2 Выбор конструкционных материалов.....	45
3.3 Директивная схема УРМ-1.....	46
3.4 Технологический процесс сборки-сварки бака.....	47
4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ИНЖЕНЕРОВ В ОТДЕЛЕ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО	48
4.1 Оценка условий труда инженеров.....	49
4.2 Микроклимат	50
4.3 Виброакустические факторы	52
4.4 Освещенность рабочей поверхности	52
4.5 Тяжесть трудового процесса.....	55
4.6 Напряженность трудового процесса	56
4.7 Итоговый класс условий труда.....	57
4.8 Эргономика рабочего места	57
4.9 Электроопасность	60
4.10 Пожароопасность	61
4.11 Требования к площади рабочего места.....	64
5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	67

5.1 Оценка затрат на производство и эксплуатацию модернизированной РН...	67
5.2 Экономическая эффективность программы.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	83

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АДС – аргонодуговая сварка;
АСУП – автоматизированная система управления подготовкой;
БАСУ – бортовая аппаратура системы управления;
БКС – бортовая кабельная сеть;
БРС – блок разъемных соединений;
БЦВМ – бортовая вычислительная машина;
ВСОТР – воздушные средства обеспечения теплового режима;
ГО – головной обтекатель;
ДУ – двигательная установка;
ЖРД – жидкостный ракетный двигатель;
ИСАД – измерительная система абсолютного давления;
КА – космический аппарат;
КЗБ – кабель заправочная башня;
ККС – конструктивно-компоновочная схема;
КП – контакт подъема;
ЛА – летательный аппарат;
ЛКИ – лётно-конструкторские испытания;
МИК – монтажно-испытательный корпус;
НАП – навигационная аппаратура потребителя;
НИР – научно-исследовательские работы;
ОКР – опытно-конструкторские работы;
ПГ – полезный груз;
ПГС – пневмогидросистема;
ПК – плита кондукторная;
ПКР – проектно-конструкторские работы;
ПН – полезная нагрузка;
ПО – программное обеспечение;
ПС – пусковой стол;

РБ – разгонный блок;
РКН – ракета космического назначения;
РН – ракета-носитель;
САЗ – средства аварийной защиты;
СВКР – система видеоконтроля разделения;
СКЗ – система контроля заправки;
СНИ – средства наземных измерений;
СТО – специальное технологическое оборудование;
СТиПБ – система термостатирования и пожаробезопасности;
СТИ – система телеметрических измерений;
СУ – система управления;
СШ – сварной шов;
ТЗ – техническое задание;
ТК – технический комплекс;
ТНА – турбонасосный агрегат;
ТО – топливный отсек;
ТП – технологический процесс;
УРМ – универсальный ракетный модуль;
УСК – универсальный стартовый комплекс;
УСУРТ – уровнемер системы управления расходования топлива;
ХО – хвостовой отсек;
ЭГС – электрогидравлический сервопривод.

ВВЕДЕНИЕ

Создание ракет-носителей представляет собой сложную задачу, связанную с поиском оптимальных решений и выявлением закономерностей в проектных разработках, которые обеспечивают выполнение заданных требований и задач.

Востребованность РН во многом зависит от правильного выбора проектных параметров, так как значительные изменения в основных параметрах могут привести к изменению в производственных процессах, что может вызвать дополнительные затраты времени и финансов.

К РН предъявляется ряд требований, который можно подразделить на общие, эксплуатационные, производственные и экономические. Общие требования направлены на обеспечение:

- высоких показателей проектных параметров РН;
- высокой надежности агрегатов, систем, составных частей и РН в целом;
- живучести РН
- экологически безвредных компонентов топлива РН.

Реализация высоких показателей проектных параметров РН предусматривает предъявление к ней требований по максимально допустимой стартовой массе, потребной массе полезного груза, выводимого орбиту и т.д. Основные характеристики РН в значительной степени определяются областью применения РН, решаемыми задачами типом выводимого полезного груза.

Эксплуатационные требования предъявляемые компонентам топлива и факторы, определяющие их, характеризуют взрывоопасность и огнеопасность топлива, токсичность, стабильность характеристик топлива при хранении, наличие опыта работы обслуживающего персонала с данными компонентами.

Экологические требования к топливу – выбор компонентов, которые выделяют при сгорании минимальное количество вредных соединений.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Назначение РН

Ракета-носитель тяжелого класса «Ангара–А5» предназначена для выведения полезных нагрузок (ПН) различного назначения, в том числе ПН с разгонными блоками, на заданные околоземные орбиты и траектории.

РН – трехступенчатая, с пакетно-тандемным соединением ракетных блоков. Ракетные блоки РН построены с использованием универсальных ракетных модулей УРМ-1 и УРМ-2, являющихся базовыми для всех РН семейства «Ангара». Двигательные установки всех ракетных блоков оснащены жидкостными ракетными двигателями.

РН транспортируется с завода-изготовителя на полигон поблочно с комплектующими элементами и ЗИП на железнодорожных транспортных средствах, сформированных в эшелон специального назначения.

Подготовка РН на техническом комплексе (ТК) (механическая сборка блоков РН, пневмопроверки, автономные и комплексные испытания собранной РН) и стыковка с космической головной частью (КГЧ) производятся в закрытом помещении - монтажно-испытательном корпусе (МИК) в условиях, требуемых эксплуатационной документацией (температура воздуха от плюс 18 до плюс 25°C, относительная влажность не более 80% при температуре плюс 20 °C).

Транспортирование РН из МИКа ТК на универсальный стартовый комплекс (УСК) и установка РН на пусковой стол (ПС) осуществляются с помощью транспортно-установочного агрегата при средней скорости приземного ветра не более 15 м/с.

Для подготовки РН на УСК и проведения пуска используется пусковая установка открытого типа со стационарной кабель-заправочной башней (КЗБ) для обслуживания РН, ветрового удержания РН и отвода от РН коммуникаций УСК. Подготовка РН на УСК и проведение пуска могут осуществляться в любое время года и суток.

1.2 Технические данные

Стартовая масса – 774 т.

Приведенная масса полезной нагрузки, выводимой РН на круговую околоземную орбиту высотой 200 км и наклоном 63° – 24,5 т.

Количество ступеней – 3.

Применяемые на всех ракетных блоках компоненты ракетного топлива:

- окислитель – жидкий кислород;
- горючее – нафтил.

Тип, количество маршевых двигателей:

- ракетного блока I ступени – РД191, 4 шт.;
- ракетного блока II ступени – РД191, 1 шт.;
- ракетного блока III ступени – РД0124А, 1 шт.

Тяга маршевых двигателей на основных режимах (земная / пустотная):

- ракетных блоков I и II ступеней, суммарная – 980 тс / 1063 тс;
- ракетного блока II ступени – 196 тс / 212,6 тс;
- ракетного блока III ступени – 30 тс.

Точность выведения полезной нагрузки на круговую орбиту высотой 200 км и наклоном 63° :

- по высоте $\pm 3,5$ км.;
- по периоду обращения $\pm 2,5$ с.;
- по наклону $\pm 2^{\circ}$;
- по долготе восходящего узла $\pm 3^{\circ}$.

Массовые характеристики ракеты-носителя:

- масса РН, заправленной:
 - а) при использовании РБ КВТК – 742083 кг.;
 - б) при использовании РБ «Бриз-М» – 742223 кг.
- масса РН, «сухой»:
 - а) при использовании РБ КВТК – 55040 кг.;
 - б) при использовании РБ «Бриз-М» – 55180 кг.

— масса заправляемого топлива и газов – 687043 кг.

1.3 Основные этапы наземной эксплуатации и технические готовности РН

В процессе наземной эксплуатации РН проходит следующие этапы подготовки:

1. Транспортирование с завода-изготовителя на космодром;
2. Поблочные электро- и пневмопроверки на ТК;
3. Сборка РН;
4. Проверки бортовых систем в сборе;
5. Установка РДТТ, пиросредств и заключительные операции;
6. Стыковка РН с КГЧ;
7. Перегрузка РКН на транспортно-установочный агрегат, наддув баков РН до давления транспортирования и транспортирование на УСК;
8. Установка РКН на пусковой стол;
9. Комплексные проверки систем РН и наземных систем;
10. Заправка РН компонентами топлива, предпусковые операции, набор стартовой готовности;
11. Пуск.

1.4 Устройство и работа изделия и составных частей изделия

При проектировании и разработке ракеты-носителя учитываются конструктивные и технологические требования, а также размеры и размещение элементов, требующих доступности. В связи с этим разрабатывается схема членения РН .

Ракетный блок I ступени образован четырьмя боковыми блоками, симметрично расположенными вокруг ракетного блока II ступени. Стыковка боковых блоков с ракетным блоком II ступени осуществляется при помощи регулируемых тяг-пневмотолкателей (по две тяги-пневмотолкателя в верхнем и нижнем поясах связи на каждом боковом блоке), штыревого соединения и тангенциального узла связи по верхнему и нижнему поясам связи

соответственно. Ракетные блоки I и II ступеней образуют в сборе блок ускорителей.

Боковые блоки и ракетный блок II ступени состоят из универсального ракетного модуля-1, переднего (для каждого бокового блока) или промежуточного (для ракетного блока II ступени) отсеков и других элементов дооснащения. Боковые блоки по конструкции одинаковы.

Ракетный блок III ступени состоит из универсального ракетного модуля-2 и отсека переднего. Стыковка ракетного блока III ступени с ракетным блоком II ступени осуществляется при помощи пирозамков и штырей.

Боковые блоки, ракетные блоки II и III ступеней конструктивно выполнены по схеме моноблок с несущими топливными баками вафельной или гладкой конструкции и сухими отсеками стрингерной конструкции.

На РН применена автономная система управления с бортовой цифровой вычислительной машиной (БЦВМ), реализующая терминальный (гибкий) метод управления на всех участках полета. Командно-вычислительное ядро, включающее в себя комплекс командных приборов и БЦВМ, размещается в межбаковом отсеке ракетного блока III ступени. Приборы СУ, отвечающие за управление исполнительными органами и интерфейс с командно-вычислительным ядром, а также бортовые батареи размещаются в межбаковых отсеках ракетных блоков всех ступеней.

Измерение, сбор, формирование и передача на наземные средства телеметрической информации при подготовке РН на УСК и в полете осуществляется системой телеметрических измерений РН.

1.5 Блок ускорителей

Блок ускорителей состоит из:

- ракетного блока I ступени, включающего в себя четыре боковых блока;
- ракетного блока II ступени;
- системы разделения ракетных блоков I и II ступеней.

Боковые блоки и ракетный блок II ступени соединены между собой по пакетной схеме.

Агрегаты системы разделения связывают боковые блоки с ракетным блоком II ступени тремя силовыми поясами:

1) нижний пояс, обеспечивающий передачу поперечных и тангенциальных сил; включает в себя нижние тяги-пневмотолкатели и упоры тангенциальные, размещенные в нижней части хвостовых отсеков;

2) средний пояс, обеспечивающий передачу поперечных сил; включает в себя верхние тяги-пневмотолкатели, размещенные в нижней части передних отсеков боковых блоков;

3) верхний пояс, обеспечивающий передачу продольных и тангенциальных сил; включает в себя упоры продольно-тангенциальные, размещенные в средней части передних отсеков боковых блоков.

1.6 Ракетный блок I ступени

Ракетный блок I ступени состоит из четырех боковых блоков симметрично расположенных вокруг ракетного блока II ступени в составе блока ускорителей.

В основу конструкции боковых блоков положен универсальный ракетный модуль-1.

Боковой блок состоит из:

- УРМ – 1;
- отсека переднего снаряженного.

1.7 УРМ – 1

Универсальный ракетный модуль-1 – и представляет собой комплект составных частей ракетного блока на базе двигателя РД191, законченных изготовлением и монтажами до стадии, допускающей последующее использование УРМ-1 (после соответствующего дооснащения) в составе любых базирующихся на его основе ракетных блоков РН КРК «Ангара».

УРМ-1 включает в себя следующие основные составные части:

1. Блок «О» снаряженный – для размещения компонента топлива – окислителя и восприятия нагрузок при транспортировании, стоянке на пусковом столе и в полете в составе РН. Корпус блока «О» включает в себя обечайку,

верхнее днище и нижнее днище выполненные из алюминиевых сплавов. Обечайка выполнена из панелей вафельной конструкции.

2. Блок отсеков и маршевый двигатель снаряженный – включает в себя следующие основные части:

— отсек межбаковый – для передачи нагрузок и размещения: приборов СУ, СНИ, СТИ, УСУРТ, АБ СА31, датчиков СТИ и СНИ, агрегатов ПГСП ДУ и СТ и ПБ, магистралей ПГСП ДУ, СТ и ПБ, БКС;

— блок «Г» – для размещения компонента топлива – горючего и восприятия нагрузок при транспортировании, стоянке на стартовом столе и в полете в составе РН;

— проставку двигательную – для передачи нагрузок от рамы двигателя на корпус блока «Г», а также для размещения: агрегатов ПГСП ДУ; агрегатов ЭГС; магистралей ПГСП ДУ, СТ и ПБ, БКС; датчиков СТИ;

— маршевый двигатель РД191.

3. Отсек хвостовой верхний – для передачи нагрузок и размещения: приборов и датчиков СНИ, СТИ; агрегатов ЭГС; магистралей ПГСП ДУ, СТ и ПБ, БКС;

1.8 Ракетный блок II ступени

В основу конструкции ракетного блока II ступени положен универсальный ракетный модуль-1 (УРМ-1).

Ракетный блок II ступени состоит из:

— УРМ-1;

— отсека промежуточного снаряженного – представляет собой обечайку, состоящую из трех частей, связанных между собой шпангоутами, косынками, стяжками и подкрепленных внешним стрингерным набором. Верхняя и нижняя цилиндрические части отсека связаны между собой конической частью. .

1.9 Ракетный блок III ступени

В основу конструкции ракетного блока III ступени положен универсальный ракетный модуль-2.

Ракетный блок III ступени состоит из:

- УРМ-2;
- отсека переднего снаряженного.

1.10 УРМ – 2

Универсальный ракетный модуль–2 представляет собой комплект составных частей (подборок) ракетного блока на базе двигателя РД0124А, законченных изготовлением и монтажами до стадии, допускающей последующее использование УРМ-2 (после соответствующего дооснащения) в составе любых базирующихся на его основе ракетных блоков РН КРК «Ангара».

УРМ-2 включает в себя следующие основные составные части:

- блок «Г» снаряженный;
- блок отсеков и маршевый двигатель снаряженный.

1.11 Двигатели

Двигатель РД191 - ЖРД однократного включения, выполнен по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа. Зажигание осуществляется с помощью пускового горючего.

В составе РН двигатель РД191 обеспечивает:

- создание тяги;
- создание управляющих усилий по тангажу и рысканью по командам СУ;
- режимы дросселирования, требуемые циклограммой полета РН, а также режимы предварительной и конечной ступеней тяги;
- регулирование по тяге и соотношению расходов компонентов;
- подогрев гелия, идущего на наддув топливных баков;
- выключение при возникновении аварийной ситуации до контакта подъема («КП»);
- отбор горючего для работы ЭГС.

Двигатель РД191 обеспечивает режимы работы со следующими уровнями тяги:

- номинальный (главная ступень тяги):

- а) на Земле 196 тс.;
- б) в пустоте 212,6 тс.
- дросселирования в пустоте 64 тс.;
- предварительная ступень тяги на Земле 120 тс.;
- конечная ступень тяги в пустоте 80 тс.

Двигатель РД0124А - четырехкамерный ЖРД, выполненный по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа. РД0124А - двигатель двукратного включения (КТИ + одно включение в полете). Зажигание камеры сгорания осуществляется с помощью пускового горючего.

Вывод по разделу

В данной части выпускной квалификационной работы были рассмотрены общие данные, касающиеся ракеты-носителя «Ангара – А5», которая является высокотехнологичной и многофункциональной во многих аспектах, а также обладает значительным потенциалом для освоения космического пространства, продуманная конструкция и современные технические характеристики могут конкурировать со многими РН на мировом космическом рынке.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

В данной части рассмотрены мероприятия по совершенствованию конструкции РН и внедрению современных технологических процессов при изготовлении РН.

В качестве совершенствования конструкции рассматривается бак «Г» УРМ-1.

2.1 Порядок мероприятий по совершенствованию конструкции РН

Разработка компоновки и конструкции бака «Г» УРМ-1.

Разработка технологического процесса сборки УРМ-1 на заводе-изготовителе.

Сравнительный анализ между имеющейся и предложенной конструкцией бака «Г» и УРМ-1.

Проработка применения тоннельной трубы внутри бака «Г».

Применение в конструкции бака «О» цилиндрической обечайки с промежуточными шпангоутами взамен вафельного набора.

Ограничение: совершенствование конструкции должно позволить использовать УРМ-1 в составе КРК «Ангара». Любое изменение габаритных размеров приведет к значительной доработке имеющихся стартовых сооружений КРК «Ангара», для обслуживания семейства РН «Ангара».

2.2 Предложение по совершенствованию конструкции бака «Г»

Совершенствование конструкции бака «Г» включает в себя следующие:

- замена сферического днища на коническое с обеспечением мест для монтажа двигателя РД191;
- замена вафельной цилиндрической обечайки бака на гладкую обечайку с промежуточными шпангоутами.

Изменение нижнего днища позволит отказаться от применения двигательной проставки для крепления двигателя РД191. В предложенной компоновке ДУ будет крепиться к нижнему днищу бака, включающему в себя шпангоуты, коническую обечайку и сферическую обшивку.

2.3 Требования, предъявляемые к конструкции герметичных ёмкостей

В конструкции РН герметичные ёмкости находят применение для размещения компонентов топлива.

Требования, которые необходимо выполнить при разработке конструкций герметичных ёмкостей:

1. Достаточная прочность и жёсткость конструкции при малой массе. Это достигается выбором рациональной конструктивно-силовой схемы, соответствующей расчётам на прочность конструкции и подходящих материалов.

2. Устойчивость против коррозии. Это важно для агрессивных к материалу компонентов, особенно при длительном хранении. Достигается подбором соответствующего материала и его обработкой с целью повышения коррозионной устойчивости.

3. Простота конструкции и технологичность её изготовления. Под этим следует понимать возможность производства конструкции с высокой степенью унификации элементов конструкции (применение профилей, стандартных элементов, использование новейших достижений в области технологии при широком использовании имеющейся технологической базы).

4. Удобство в эксплуатации. Особо это касается элементов конструкции, требующих замены в процессе эксплуатации.

5. Способность работать при низких температурах (при использовании криогенных компонентов).

6. Конструкция внутрибаковых устройств топливных ёмкостей должна обеспечивать максимальное использование компонентов топлива.

7. Высокая герметичность.

8. Применение доступных и достаточно дешёвых материалов.

2.4 Прочностной расчет конструкции бака «Г»

В конструктивно-силовую схему цилиндрической несущей топливной ёмкости (рисунок 2.1) входят следующие элементы:

1. Верхнее днище (поз. 1) включающее в себя:

- сферическую обечайку (поз. 2);
- силовой шпангоут (поз. 3).

2. Цилиндрическая обечайка (поз. 4);

3. Нижнее днище (поз. 5) включающее в себя:

- силовой шпангоут (поз. 6);
- коническую обечайку (поз. 7);
- шпангоут крепления ДУ (поз. 8);
- сферическую обечайку (поз. 9).

Эти элементы практически определяют 90% массы конструкции, поэтому разработка конструкции именно этих элементов должна проводиться наиболее тщательно с тем, чтобы предотвратить завышение массы конструкции.

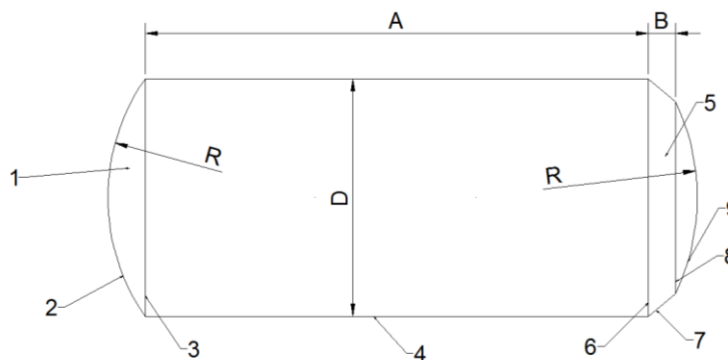


Рисунок 2.1 – Конструктивно-силовая схема несущей топливной ёмкости первой ступени.

Предложенная конструкция бака «Г» должна обеспечивать прочность и устойчивость при заданных нагрузках. Расчетным случаем нагружения является случай при максимальной продольной перегрузке.

Исходные данные:

$$A = 6155 \text{ мм};$$

$$B = 330 \text{ мм};$$

$$R = 2265 \text{ мм};$$

$$D = 2900 \text{ мм};$$

$p^p = 0,39 \text{ МПа}$ – давление наддува расчетное;
 $f = 1.3$ – коэффициент безопасности;
 $n_x^p = 5,85$ – максимальная продольная перегрузка;
 $T^p = 2756 \cdot 10^3 \text{ Н}$ – усилие от двигательной установки передаваемое на шпангоут крепления ДУ;

$N^p = 2260 \cdot 10^3 \text{ Н}$ – осевая сжимающая сила;

$M^p = 790 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – изгибающий момент;

$h = 3530 \text{ мм}$ – высота гидростолба от полюса нижнего днища;

Горючее – керосин;

$\gamma_c = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ кг / см}^3$ – плотность горючего;

$p_{гид}^p = 353 \cdot 5,85 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} = 0,18 \text{ МПа}$.

Свойства материала АМГ6:

Модуль Юнга $E = 72 \text{ ГПа}$;

Предел прочности $\sigma_B = 372 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 284 \text{ МПа}$;

Плотность $\rho = 2640 \text{ кг/м}^3$.

2.4.1 Расчет верхней сферической обечайки

Толщина сферического обечайки определяется соотношением:

$$\delta = \max(\delta_{np}, \delta_{уст}). \quad (2.1)$$

Определять толщину из условия устойчивости не нужно так на обечайку действует внутреннее давление, которое больше внешнего, определяемое по формуле:

$$\delta_{np} = \frac{p^p \cdot R_{дн}}{2 \cdot \sigma_{0,2}}, \quad (2.2)$$

Подставляя значения в формулу (2.2) получаем:

$$\delta_{np} = \frac{0,39 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 284 \cdot 10^6} = 0,0015 \text{ м} \approx 2 \text{ мм}.$$

Сравним расчётное напряжение с предельным допустимым значением.

$$\sigma_{\max} = \frac{0,39 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 0,002} = 220,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_{0,2}].$$

220,8 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{220,8} = 1,28.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}}, \quad (2.3)$$

$$\delta_{св} = \frac{2}{0,8} \approx 3 \text{ мм.}$$

Необходимо провести химическое фрезерование обечайки для уменьшения её толщины, кроме мест сварки.

2.4.2 Расчет нижнего днища

Нижнее днище состоит из сферической обечайки, нагруженной давлением надува и давлением гидростолба и конической обечайки нагруженной давлениями и силой тяги от ДУ.

Рассмотрим сферическую обечайку.

Толщина сферической обечайки определяется соотношением:

$$\delta_{np} = \frac{p^p \cdot R_{дн}}{2 \cdot \sigma_{0,2}}; \quad (2.4)$$

$$p^p = p_{над}^p + p_{гид}^p. \quad (2.5)$$

Подставляя значения в формулы (2.4) и (2.5) получаем:

$$p^p = 0,39 + 0,18 = 0,53 \text{ МПа.}$$

$$\delta_{np} = \frac{0,57 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 284 \cdot 10^6} = 0,0023 \text{ м} \approx 2,5 \text{ мм.}$$

Сравним расчётное напряжение с предельным допустимым значением.

$$\sigma_{\max} = \frac{0,57 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 0,0025} = 258,2 \text{ МПа} \leq [\sigma_{0,2}].$$

258,2 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{258,2} = 1,09.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{2,5}{0,8} \approx 3,5 \text{ мм.} \quad (2.6)$$

Необходимо провести химическое фрезерование обечайки для уменьшения её толщины, кроме мест сварки.

2.4.3 Расчет конической обечайки

Для конической обечайки формула определения толщины представлены в виде:

$$\delta_{np} = \frac{(p_{над}^p + p_{зуд}^p) \cdot R_x}{\sigma_{0,2}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (2.7)$$

где $R_x = 0,865 \text{ м}$ – радиус конической обечайки в рассматриваемом сечении;

$\alpha = 40^\circ$ – угол полураствора конуса;

$$p_{зуд}^p = 336 \cdot 5,85 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} = 0,17 \text{ МПа.}$$

Подставляя значения в формулу (2.7) получаем:

$$\delta_{np} = \frac{(0,56 \cdot 10^6) \cdot 0,865}{284 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{\cos 40^\circ} = 0,0022 \text{ м} \approx 3 \text{ мм.}$$

Рассчитаем толщину конической обечайки в верхней точке:

$$\delta_{np} = \frac{(0,51 \cdot 10^6) \cdot 1,45}{284 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{\cos 40^\circ} = 0,0034 \text{ м} \approx 4 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину конической обечайке постоянной равной 4 мм.

$$\delta_{np} = \frac{(p_{над}^p + p_{сид}^p) \cdot R_x}{\sigma_{0.2}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_{пред} = 241,3 \text{ МПа.}$$

241,3 МПа < 284 МПа – это значит, что прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{241,3} = 1,17.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргоно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{max}}{k_{св}}, \quad (2.9)$$

$$\delta_{св} = \frac{4}{0,8} \approx 5 \text{ мм.}$$

Определение толщины обечайки из условия устойчивости:

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{|N_{oc}^p|}{2\pi k_p E}}; \quad (2.10)$$

$$N_{oc}^p = T^p + p \cdot \pi \cdot R^2. \quad (2.11)$$

Подставляя значения в формулы (2.10) и (2.11) получаем:

$$N_{oc}^p = 2756 \cdot 10^3 - 0,15 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,865^2 = 2403,6 \cdot 10^3.$$

$$E = 72 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

$$k_p = 0,15.$$

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{2403,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 72 \cdot 10^9 \cdot 0,15}} = 0,0059 = 6 \text{ мм.}$$

Рассчитаем толщину конической обечайки из условия устойчивости в верхней точке:

$$\delta_{ycm} = \sqrt{\frac{|N_{oc}^p|}{2\pi k_p E}}; \quad (2.12)$$

$$N_{oc}^p = T^p + p \cdot \pi \cdot R^2. \quad (2.13)$$

Подставляя значения в формулы (2.12) и (2.13) получаем:

$$N_{oc}^p = 2756 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 1,45^2 = 1765,7 \cdot 10^3.$$

$$E = 72 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

$$k_p = 0,18.$$

$$\delta_{ycm} = \sqrt{\frac{1765,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 72 \cdot 10^9 \cdot 0,15}} = 0,0022 = 3 \text{ мм.}$$

Из расчета видно, что для обеспечения устойчивости необходимо принять толщину конической обечайки 6 мм.

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{max}}{k_{св}}. \quad (2.14)$$

Подставляя значения в формулу (2.14) получаем:

$$\delta_{св} = \frac{6}{0,8} \approx 7,5 \text{ мм.}$$

2.4.4 Расчет конструкции цилиндрической обечайки при действии внутреннего давления и внешней нагрузки

Исходные данные:

- высота цилиндра $h = 6,15 \text{ м}$;
- $R = 1,45 \text{ м}$;
- давление наддува $P_{над} = 0,39 \text{ МПа}$.

Для цилиндрической обечайки формула определения толщины представлены в виде нижней точки:

$$\delta_{np} = \frac{(p_{над}^p + p_{суд}^p) \cdot R}{\sigma_{0,2}}; \quad (2.15)$$

$$p_{суд}^p = 287 \cdot 5,85 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ МПа.}$$

Подставляя значения в формулу (2.15) получаем:

$$\delta_{np} = \frac{(0,51 \cdot 10^6) \cdot 1,45}{284 \cdot 10^6} = 0,0041 \text{ м} \approx 4,5 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайке постоянной равной 4,5 мм.

$$\sigma_{перед} = \frac{(p_{над}^p + p_{суд}^p) \cdot R}{\delta} \leq [\sigma_{0,2}]. \quad (2.16)$$

$$\sigma_{перед} = 255,6 \text{ МПа.}$$

255,6 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{255,6} = 1,11.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргоно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{max}}{k_{св}} = \frac{4,5}{0,8} \approx 6 \text{ мм.} \quad (2.17)$$

Рассчитаем толщину в верхней точке:

$$\delta_{np} = \frac{p_{над}^p \cdot R}{\sigma_{0,2}}, \quad (2.18)$$

$$\delta_{np} = \frac{(0,39 \cdot 10^6) \cdot 1,45}{284 \cdot 10^6} = 0,0019 \text{ м} \approx 2 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайке в верхней точке равной 2 мм.

$$\sigma_{пред} = \frac{p_{над}^p \cdot R}{\delta} \leq [\sigma_{0,2}], \quad (2.19)$$

$$\sigma_{пред} = 253,7 \text{ МПа.}$$

253,7 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{253,7} = 1,12.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргоно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{max}}{k_{св}} = \frac{2}{0,8} \approx 3 \text{ мм.} \quad (2.20)$$

Цилиндрическая обечайка составная, состоит из 5 пяти цилиндрических частей длиной 1230 мм, из условия переменности толщины определим толщину для каждого участка графически:

— 1 участок $\delta_{np} = 2,5 \text{ мм}$;

— участок $\delta_{np} = 3 \text{ мм}$;

— участок $\delta_{np} = 3,5 \text{ мм}$;

— участок $\delta_{np} = 4 \text{ мм}$;

— участок $\delta_{np} = 4,5 \text{ мм}$.

Рассчитаем толщину цилиндрической обечайки из условия устойчивости:

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{|N_{oc}^p|}{2\pi k_p E}}, \quad (2.21)$$

$$N_{oc}^p = P_{\Sigma} - p_{min}^{\text{эк}} \cdot \pi \cdot R^2, \quad (2.22)$$

$$N_{oc}^p = 593,7 \cdot 10^3 - 0,15 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 1,45^2 = 3168,4 \cdot 10^3.$$

$$E = 72 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

$$k_p = 0,18.$$

$$P_{\Sigma} = N + \frac{2 \cdot M}{R}, \quad (2.23)$$

$$P_{\Sigma} = 3350 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{3350 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 72 \cdot 10^9 \cdot 0,18}} = 0,0064 = 6,5 \text{ мм.}$$

Для уменьшения массы необходимо укрепить оболочку шпангоутами.

Промежуточные шпангоуты выполняют в конструкции топливного бака две основные функции:

- поддержание заданной формы обечайки, благодаря чему формулы, принятые для расчёта обечайки, справедливы на всех этапах эксплуатации;
- повышение общей устойчивости обечайки при действии интенсивного изгибающего момента.

Рассчитаем толщину подкреплённой оболочки:

$$\delta = \frac{\delta_{уст}}{n^{0,4}}, \quad (2.24)$$

$$n = 5,$$

$L = 6150$ мм – общая длина оболочки

$l = 1230$ мм – длина пролёта между шпангоутами

$$\delta = \frac{6,5}{5^{0,4}} = 3,41 \text{ мм} \approx 4 \text{ мм.}$$

Примем прямоугольное сечение шпангоута. Рассчитаем момент инерции шпангоута:

$$I_{ш} = \frac{L \cdot \delta_{уст}^3}{22,5 \cdot n^{8/15}} = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4. \quad (2.25)$$

Примем для шпангоута прямоугольного сечения:

$$\alpha = \frac{\delta_1}{\delta} = 3. \quad (2.26)$$

$$\alpha_F = \alpha = 3;$$

$$\alpha_I = 0,334 \cdot 3 = 1,002;$$

$$\chi = 0,48 \cdot \sqrt[3]{3^2} = 0,998.$$

$$I_u = \alpha_I \cdot h^3 \cdot \delta. \quad (2.27)$$

Выразим h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{I_u}{\alpha_I \cdot \delta}} = 0,021 \text{ м} = 21 \text{ мм}. \quad (28)$$

$$F_u = \alpha_F \cdot h \cdot \delta = 3 \cdot 22 \cdot 4 = 264 \text{ мм}^2. \quad (29)$$

В месте сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{4}{0,8} \approx 5 \text{ мм}. \quad (2.30)$$

2.4.5 Расчет конструкции верхнего силового шпангоута

Найдём потребную площадь шпангоута:

$$S_{\text{нотр}} = \frac{R^2 \cdot P_p}{2 \cdot \sigma_B} \cdot \frac{1}{\tan \beta_0} = 1410,5 \text{ мм}^2, \quad (2.31)$$

где $P_p = 0,39 \text{ МПа}$ – внутреннее давление;

$$\beta_0 = 38^\circ;$$

$$\sigma_B = 372 \text{ МПа}.$$

Площадь сечения шпангоута:

$$S_{un} = 4150 \text{ мм}^2.$$

2.4.6 Расчет конструкции нижнего силового шпангоута

Найдём потребную площадь шпангоута:

$$S_{номр} = \frac{R^2 \cdot P_p}{2 \cdot \sigma_B} \cdot \tan \alpha = 1209,3 \text{ мм}^2, \quad (2.32)$$

где $P_p = 0,51 \text{ МПа}$ – внутреннее давление;

$$\alpha = 40^\circ;$$

$$\sigma_B = 372 \text{ МПа}.$$

Площадь сечения изображенного шпангоута:

$$S_{un} = 3630 \text{ мм}^2.$$

2.4.7 Расчет конструкции шпангоута крепления ДУ

Находим потребную площадь сечения шпангоута в местах крепления ДУ:

$$S_{номр} = \frac{R^2 \cdot P_p}{2 \cdot \sigma_B} \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \beta_0} = 1310,4 \text{ мм}^2, \quad (2.33)$$

где $P_p = 0,51 \text{ МПа}$ – внутреннее давление;

$$\alpha = 40^\circ;$$

$$\beta_0 = 31^\circ;$$

$$\sigma_B = 372 \text{ МПа}.$$

Площадь сечения шпангоута:

$$S_{un} = 5872 \text{ мм}^2.$$

В местах крепления ДУ шпангоут необходимо усилить, для передачи усилия тяги ДУ.

Площадь сечения изображенного шпангоута:

$$S_{un} = 26918 \text{ мм}^2.$$

Двигательная рама крепится в четырех местах к шпангоуту для передачи тяги на корпус бака «Г». Места крепления соединены ребром жесткости.

2.5 Прочностной расчет конструкции бака «О»

В конструктивно-силовую схему цилиндрической несущей топливной ёмкости (рисунок 2.2) входят следующие элементы:

1. Верхнее днище (поз. 1) включающее в себя:

- сферическую обечайку (поз. 2);
- силовой шпангоут (поз. 3).

2. Цилиндрическая обечайка (поз. 4);

3. Нижнее днище (поз. 5) включающее в себя:

- силовой шпангоут (поз. 6);
- сферическую обечайку (поз. 7).

Эти элементы практически определяют 90% массы конструкции, поэтому разработка конструкции именно этих элементов должна проводиться наиболее тщательно с тем, чтобы предотвратить завышение массы конструкции.

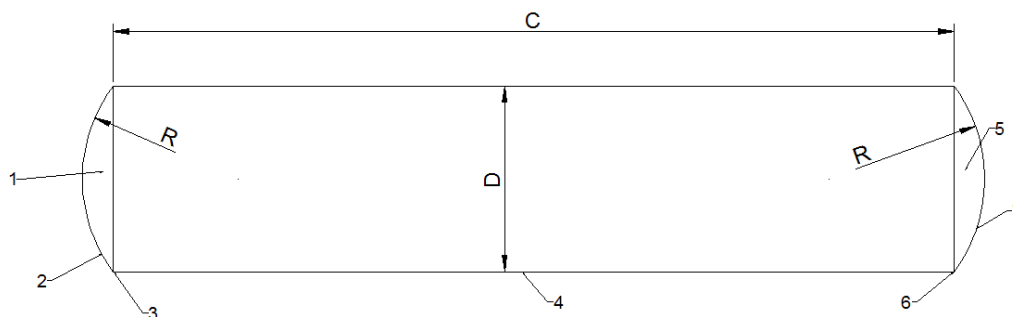


Рисунок 2.2 – Конструктивно-силовая схема несущей топливной ёмкости первой ступени

Предложенная конструкция бака «О» должна обеспечивать прочность и устойчивость при заданных нагрузках. Расчетным случаем нагружения является случай при максимальной продольной перегрузке.

Исходные данные:

$$A = 13155 \text{ мм};$$

$$R = 2265 \text{ мм};$$

$D = 2900$ мм;

$P^p = 0,42$ МПа – давление наддува расчетное;

$f = 1,3$ – коэффициент безопасности;

$n_x^p = 5,85$ – максимальная продольная перегрузка;

$N^p = 2260 \cdot 10^3$ Н – осевая сжимающая сила;

$M^p = 790 \cdot 10^3$ Н·м – изгибающий момент;

$h = 720$ мм – высота гидростолба от полюса нижнего днища;

Окислитель – жидкий кислород;

$\gamma_z = 1,13 \cdot 10^{-3}$ кг / см³ – плотность жидкого кислорода;

$p_{зид}^p = 720 \cdot 5,85 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} = 0,47$ МПа.

Свойства материала АМГ6:

Модуль Юнга $E = 72$ ГПа;

Предел прочности $\sigma_B = 372$ МПа, $\sigma_{0,2} = 284$ МПа;

Плотность $\rho = 2640$ кг/м³.

2.5.1 Расчет верхней сферической обечайки

Толщина сферической обечайки определяется соотношением:

$$\delta = \max(\delta_{np}, \delta_{уст}). \quad (2.34)$$

Определять толщину из условия устойчивости не нужно так на обечайку действует внутреннее давление, которое больше внешнего.

$$\delta_{np} = \frac{p^p \cdot R_{дн}}{2 \cdot \sigma_{0,2}}, \quad (2.35)$$

$$\delta_{np} = \frac{0,42 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 284 \cdot 10^6} = 0,00167 \text{ м} \approx 2 \text{ мм}.$$

Сравним расчётное напряжение с предельным допустимым значением.

$$\sigma_{\max} = \frac{0,42 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 0,002} = 237,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_{0,2}].$$

237,8 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{237,8} = 1,19.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{2}{0,8} \approx 3 \text{ мм.} \quad (2.36)$$

Необходимо провести химическое фрезерование обечайки для уменьшения её толщины, кроме мест сварки.

2.5.2 Расчет нижнего днища

Нижнее днище состоит из сферической обечайки, нагруженной давлением надува и давлением гидростолба.

Толщина сферической обечайки определяется соотношением:

$$\delta_{np} = \frac{p^p \cdot R_{дн}}{2 \cdot \sigma_{0,2}}. \quad (2.37)$$

$$p^p = p_{над}^p + p_{гид}^p = 0,42 + 0,47 = 0,9 \text{ МПа.} \quad (2.38)$$

$$\delta_{np} = \frac{0,9 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 284 \cdot 10^6} = 0,0036 \text{ м} \approx 4 \text{ мм.}$$

Сравним расчётное напряжение с предельным допустимым значением.

$$\sigma_{\max} = \frac{0,9 \cdot 10^6 \cdot 2,265}{2 \cdot 0,004} = 254,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_{0,2}].$$

254,8 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{254,8} = 1,11.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{4}{0,8} \approx 5 \text{ мм.} \quad (2.39)$$

Необходимо провести химическое фрезерование обечайки для уменьшения её толщины, кроме мест сварки.

2.5.3 Расчет конструкции цилиндрической обечайки при действии внутреннего давления и внешней нагрузки

Исходные данные:

- высота цилиндра $h = 13,155 \text{ м}$;
- $R = 1,45 \text{ м}$;
- давление наддува $P_{над} = 0,42 \text{ МПа}$.

Для цилиндрической обечайки формула определения толщины представлены в виде нижней точке:

$$\delta_{np} = \frac{(p_{над}^p + p_{зид}^p) \cdot R}{\sigma_{0,2}}, \quad (2.40)$$

$$\delta_{np} = \frac{(0,9 \cdot 10^6) \cdot 1,45}{284 \cdot 10^6} = 0,0046 \text{ м} \approx 5 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайке постоянной равной 5 мм.

$$\sigma_{пред} = \frac{(p_{над}^p + p_{зид}^p) \cdot R}{\delta} \leq [\sigma_{0,2}]. \quad (2.41)$$

$$\sigma_{пред} = 261 \text{ МПа.}$$

$261 \text{ МПа} < 284 \text{ МПа}$ – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{261} = 1,08.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргоно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{5}{0,8} \approx 6,5 \text{ мм.} \quad (2.42)$$

Рассчитаем толщину в верхней точке:

$$\delta_{np} = \frac{p_{над}^p \cdot R}{\sigma_{0,2}}, \quad (2.43)$$

$$\delta_{np} = \frac{(0,42 \cdot 10^6) \cdot 1,45}{284 \cdot 10^6} = 0,0021 \text{ м} \approx 2,5 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину цилиндрической обечайки в верхней точке равной 2,5 мм.

$$\sigma_{пред} = \frac{p_{над}^p \cdot R}{\delta} \leq [\sigma_{0,2}]. \quad (2.44)$$

$$\sigma_{пред} = 243,6 \text{ МПа.}$$

243,6 МПа < 284 МПа – прочность конструкции обеспечена.

$$\eta = \frac{284}{243,6} = 1,16.$$

В местах сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{2,5}{0,8} \approx 3,5 \text{ мм.} \quad (2.45)$$

Цилиндрическая обечайка составная, состоит из 10 пяти цилиндрических частей длиной 1315,5 мм., из условия переменности толщины определим толщину для каждого участка графически:

— 1 участок $\delta_{np} = 3 \text{ мм}$;

— 2 участок $\delta_{np} = 3 \text{ мм}$;

- 3 участок $\delta_{np} = 3,5 \text{ мм}$;
- 4 участок $\delta_{np} = 3,5 \text{ мм}$;
- 5 участок $\delta_{np} = 4 \text{ мм}$;
- 6 участок $\delta_{np} = 4 \text{ мм}$;
- 7 участок $\delta_{np} = 4,5 \text{ мм}$;
- 8 участок $\delta_{np} = 4,5 \text{ мм}$;
- 9 участок $\delta_{np} = 5 \text{ мм}$;
- 10 участок $\delta_{np} = 5 \text{ мм}$.

Рассчитаем толщину цилиндрической обечайки из условия устойчивости:

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{|N_{oc}^p|}{2\pi k_p E}}, \quad (2.46)$$

$$N_{oc}^p = P_{\Sigma} + p_{min}^{\text{эк}} \cdot \pi \cdot R^2, \quad (2.47)$$

$$N_{oc}^p = 4750 \cdot 10^3 - 0,17 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 1,45^2 = 3628 \cdot 10^3.$$

$$P_{\Sigma} = N + \frac{2 \cdot M}{R} = 4750 \cdot 10^3 \text{ Н}. \quad (2.48)$$

$$E = 72 \cdot 10^9 \text{ МПа}.$$

$$k_p = 0,18.$$

$$\delta_{уст} = \sqrt{\frac{3628 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 72 \cdot 10^9 \cdot 0,18}} = 0,0068 = 7 \text{ мм}.$$

Для уменьшения массы необходимо укрепить оболочку шпангоутами.

Промежуточные шпангоуты выполняют в конструкции топливного бака две основные функции:

- поддержание заданной формы обечайки, благодаря чему формулы, принятые для расчёта обечайки, справедливы на всех этапах эксплуатации;

— повышение общей устойчивости обечайки при действии интенсивного изгибающего момента.

Рассчитаем толщину подкрепленной оболочки:

$$\delta = \frac{\delta_{уст}}{n^{0,4}}, \quad (2.49)$$

где $n=10$;

$L=13155$ мм – общая длина оболочки;

$l=1315,5$ мм – длина пролета между шпангоутами.

$$\delta = \frac{7}{10^{0,4}} = 2,78 \text{ мм} \approx 3 \text{ мм}.$$

Примем прямоугольное сечение шпангоута. Рассчитаем момент инерции шпангоута:

$$I_{ш} = \frac{L \cdot \delta_{уст}^3}{22,5 \cdot n^{8/15}} = 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4. \quad (2.50)$$

Примем для шпангоута прямоугольного сечения:

$$\alpha = \frac{\delta_1}{\delta} = 3. \quad (2.51)$$

$$\alpha_F = \alpha = 3;$$

$$\alpha_I = 0,334 \cdot 3 = 1,002;$$

$$\chi = 0,48 \cdot \sqrt[3]{3^2} = 0,998.$$

$$I_{ш} = \alpha_I \cdot h^3 \cdot \delta. \quad (2.52)$$

Выразим h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{I_u}{\alpha_I \cdot \delta}} = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм.} \quad (2.53)$$

$$F_u = \alpha_F \cdot h \cdot \delta = 3 \cdot 25 \cdot 3 = 225 \text{ мм}^2. \quad (2.54)$$

В месте сварки толщина обечайки будет равна (коэффициент для автоматической аргонно-дуговой сварки $k_{св} = 0,8$):

$$\delta_{св} = \frac{\delta_{\max}}{k_{св}} = \frac{3}{0,8} \approx 4 \text{ мм.} \quad (2.55)$$

Из расчета видно, что толщина обечайки для обеспечения устойчивости при подкреплении промежуточными шпангоутами меньше толщины рассчитанной на прочность. Поэтому обечайку необходимо выполнить переменной толщиной, изменение толщины будет происходить на промежуточном шпангоуте.

2.5.4 Расчет конструкции верхнего силового шпангоута

Найдём потребную площадь шпангоута:

$$S_{\text{нотр}} = \frac{R^2 \cdot P_p}{2 \cdot \sigma_B} \cdot \frac{1}{\tan \beta_0} = 1519,1 \text{ мм}^2, \quad (2.56)$$

где $P_p = 0,42 \text{ МПа}$ – внутреннее давление;

$$\beta_0 = 38^\circ;$$

$$\sigma_B = 372 \text{ МПа.}$$

Площадь сечения изображенного шпангоута:

$$S_{\text{ин}} = 4150 \text{ мм}^2.$$

2.5.5 Расчет конструкции нижнего силового шпангоута

Найдём потребную площадь шпангоута:

$$S_{нотр} = \frac{R^2 \cdot P_p}{2 \cdot \sigma_B} \cdot \frac{1}{\tan \beta_0} = 3255,3 \text{ мм}^2, \quad (2.57)$$

где $P_p = 0,9 \text{ МПа}$ – внутреннее давление;

$$\beta_0 = 38^\circ;$$

$$\sigma_B = 372 \text{ МПа}.$$

Площадь сечения изображенного шпангоута:

$$S_{шт} = 3630 \text{ мм}^2.$$

2.6 Сравнительный анализ

Сравним объем и массу бака «Г».

Исходный данные имеющейся конструкции бака «Г»:

$$V_{теор} = 44,737 \text{ м}^3;$$

$$V_{полезн} = 44,41 \text{ м}^3;$$

$$m_{констр} = 1080 \text{ кг}.$$

Объем и масса предложенной конструкции бака «Г» подсчитаны с использованием программы Siemens NX 7.5:

$$V_{теор} = 44,94 \text{ м}^3;$$

$$V_{полезн} = 44,56 \text{ м}^3;$$

$$m_{констр} = 1090 \text{ кг}.$$

В предложенной конструкции бака цилиндрическая обечайка гладкая с промежуточными шпангоутами, в сравнении с вафельной обечайкой данная конструкция легче. За счет использования нового нижнего днища объем бака увеличивается, поэтому длину цилиндрической обечайки необходимо сократить. Предложенная конструкция бака «Г» позволяет исключить из конструкции УРМ-1 двигательную проставку ($m_{ДУ прост} = 220 \text{ кг}$), тем самым облегчает конструкцию УРМ-1.

Изменение конструкции бака «Г» приведет к следующим изменениям в конструкции УРМ-1:

- увеличение хвостового отсека верхнего на 13 мм;
- увеличение межбакового отсека на 75 мм;
- исключение из конструкции проставки двигательной.

Сравним массу конструкции баков «О».

Исходные данные имеющейся конструкции бака «О»:

$$m_{\text{констр}} = 1860 \text{ кг.}$$

Объем и масса предложенной конструкции бака «О» подсчитаны с использованием программы Siemens NX 7.5:

$$m_{\text{констр}} = 1730 \text{ кг.}$$

Таким образом, благодаря использованию в конструкции бака «О» промежуточных шпангоутов взамен вафельному подкреплению, конструкции облегчается по приблизительным расчет на 130 кг.

2.7 Оценка массы выводимой ПН

Произведем оценку массы выводимой ПН на круговую околоземную орбиту высотой 200 км. и наклоном 63° используя предложенную конструкцию бака «Г» и бака «О».

Для РН «Ангара-А5» уменьшение массы первой ступени позволяет увеличить массу ПН на 15 % от уменьшенной массы, уменьшение массы второй ступени позволяет увеличить массу ПН на 38% от уменьшенной массы.

Исходя из приведенных данных получим:

— 1 ступень: уменьшение массы на 1400 кг. позволяет увеличить массу ПН на 210 кг.

— ступень: уменьшение массы на 350 кг. позволяет увеличить массу ПН на 133 кг.

Приблизительное суммарное увеличение массы ПН – 340 кг.

2.8 Предложенная конструкция корпуса бака «Г»

Конструкция корпуса бака «Г», представленная на рисунках А.1 – А.4 (приложение А) включает в себя:

1. Верхнее днище;

2. Верхний силовой шпангоут;
3. Цилиндрическая обечайка;
4. Нижний силовой шпангоут;
5. Силовой шпангоут крепления ДУ;
6. Нижнее сферическое днище;
7. Нижняя коническая обечайка;
8. Крышка люк лаза;
9. Фланец гермопроходника датчиков температуры;
10. Фланец КДП;
11. Фланец надува бака;
12. Фланец гермовывода датчика СКЗ;
13. Фланец гермовывода датчика УСУРТ;
14. Фланец штуцера слива гидросистемы ЭГС;
15. Фланец расхода топлива;
16. Фланец заправки;
17. Фланец слива;
18. Кронштейн крепления демпфирующей перегородки;
19. Промежуточный силовой шпангоут.

2.9 Применение тоннельной трубы в конструкции бака «Г»

Применение тоннельной трубы в конструкции бака «Г» приводит к ряду преимуществ:

- 1) применение УРМ-1 в составе «Ангары-1.2» позволило бы исключить из конструкции первой ступени аэродинамические рули и их приводы;
- 2) исключение из конструкции хвостового отсека нижнего усиления в местах установки аэродинамических рулей и их приводы, тем самым это приводит к облегчению хвостового отсека нижнего.

При более детальной проработке этого предложения выяснилось, что для применения тоннельной трубы необходимо:

- 1) увеличить длину бака «Г» для обеспечения требуемого объема;
- 2) увеличить длину хвостового отсека верхнего.

Изменения габаритов отсеков УРМ-1 приведет к значительной доработке имеющихся стартовых сооружений КРК «Ангара», для обслуживания семейства РН «Ангара».

Так же был рассмотрен вариант конструкции УРМ-1 со совмещенным днище между баками окислителя и горючего. Данным предложению приводит к исключению межбакового отсека из конструкции УРМ-1. Приборы, размещенные в межбаковом отсека необходимо разместить в переднем отсеке бокового блока первой ступени «Ангары-5» и в отсеке промежуточном центрального блока «Ангары-5». Данные изменения конструкции приведут к значительной доработке имеющихся стартовых сооружений КРК «Ангара», для обслуживания семейства РН «Ангара».

Составим сравнительную сводку масс РН «Ангара-А5» представленную в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительная сводка масс РН «Ангара-А5»

Составные части конструкции	Масса, кг.	
	Имеющаяся конструкция	Предложенная конструкция
РН «Ангара-А5» (сухая без учета КГЧ)	55040	53040
1 ступень (4 боковых блока)	40060	38400
Бак «О»	$1860 \times 4 = 7740$	$1730 \times 4 = 6920$
Бак «Г»	$1080 \times 4 = 4320$	$1090 \times 4 = 4360$
Двигательная установка	14680	13800
Проставка двигателя	880	-
2 ступень	10860	10520
Бак «О»	1860	1730
Бак «Г»	1080	1090
Двигательная установка	3730	3510
Проставка двигателя	220	-
3 ступень	4120	4120
ПН	26500	26840

Вывод по разделу

Предложенная конструкция бака позволяет исключить проставку двигательную из конструкции УРМ-1.

На этапе сборки стыковка маршевого двигателя осуществляется напрямую к блоку «Г», тем самым, исключая этап стыковки проставки двигательной к блоку «Г», этап сборки УРМ-1 сокращается.

Предложенная конструкция бака позволяет увеличить объем межбакового и хвостового верхнего отсеков. Предложенные конструкции баков «О» и «Г» позволяют уменьшить массу УРМ-1 и увеличить массу ПН, выводимую на опорную круговую орбиту высотой 200км. Предложение по включению в конструкцию бака «Г» тоннельной трубы нецелесообразно.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Описание схемы членения универсального ракетного модуля

Членение, то есть разбивка конструкции изделия на агрегаты, отсеки, панели и узлы, вызывается конструктивными соображениями, а также требованиями производства, транспортировки и эксплуатации.

Связь между отдельными частями ракетного блока по конструктивным и эксплуатационным разъёмам в процессе сборки осуществляется, как правило, с помощью разъёмных соединений.

Схема универсального ракетного модуля представлена на рисунке А.5 (приложение А).

3.2 Выбор конструкционных материалов

К материалам топливных отсеков, входящих в состав конструкции УРМ-1 предъявляются следующие основные требования:

1. Сохранение механических свойств при действии низких температур (прочность, жёсткость и т.д.);
2. Химическая совместимость с компонентами топлива;
3. Не высокая плотность;
4. Достаточно высокая теплопроводность, исключая возможность образования температурных полей с высоким градиентом и появление вследствие этого значительных температурных напряжений в конструкции;
5. Высокая пластичность, обеспечивающая возможность получения листов малой толщины, профилей специальной формы;
6. Хорошая свариваемость;
7. Доступность сортамента полуфабриката;
8. Антикоррозионные свойства.

К материалам сухих отсеков, входящих в состав конструкции УРМ-1 предъявляются следующие основные требования:

1. Высокие удельные прочностные характеристики (прочность, жёсткость и т.д.);
2. Не высокая плотность;

3. Антикоррозионные свойства.

Особенно важным требованием является высокая надёжность материалов. Произведём выбор материала, для этого рассмотрим их характеристики (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Характеристики материалов

Сплавы	σ_s , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ρ , кг/м ³	$\frac{\sigma_s}{\rho}$
Алюминиевые	320	280	2600	0,123
Титановые	900	840	4520	0,199
Стали	590	345	7800	0,075

Для ёмкостей топливных баков с криогенными компонентами применение титановых сплавов нецелесообразно, так как толщина стенок баков в таком случае составляет менее 1 мм., что влечёт за собой трудности получения качественного сварного шва.

3.3 Директивная схема УРМ-1

Директивная схема сборки УРМ-1 представлена на рисунке А.6 (приложение А).

Агрегаты и узлы УРМ-1, соединяемые по конструктивным разъёмам, поступают на сборку с окончательно разделанными стыковыми узлами. Наличие взаимозаменяемости упрощает процесс общей сборки. Укрупнённая схема сборки представляет собой параллельно-последовательный метод сборки по основному базовому изделию.

Этапы сборки:

1. Транспортировка блока «Г» в цех сборки. Установка блока «Г» на монтажно стыковочные тележки;
2. Установка на блок «Г» бандажных колец, для обеспечения поворота отсека относительно продольной оси;
3. Транспортировка блока «О» в цех сборки. Установка блока «О» на монтажно стыковочные тележки;

4. Установка на блок «О» бандажных колец, для обеспечения поворота отсека относительно продольной оси;
 5. Стыковка отсека межбакового к блоку «Г»;
 6. Стыковка отсека хвостового верхнего к блоку «Г»;
 7. Стыковка маршевого двигателя РД-191 к шпангоуту нижнего днища блока «Г»;
 8. Стыковка отсека хвостового нижнего к отсеку хвостовому верхнему.
- Установка трубы расхода топлива окислителя;
9. Стыковка блока «О» к отсеку межбаковому;
 10. Установка УРМ-1 на монтажно стыковочные тележки для последующих работ.

3.4 Технологический процесс сборки-сварки бака

Рассмотрим подробнее технологический процесс сварки кольцевых швов бака и составим таблицу Б.1 (приложение Б).

4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ИНЖЕНЕРОВ В ОТДЕЛЕ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО

В данной выпускной квалификационной работе рассматриваются мероприятия по улучшению энерго-массовых характеристик ракеты носителя «Ангара-А5». В разделе анализируются условия труда рабочего места инженер. Помещение оборудовано 9 аналогичными рабочими местами и оснащено шкафами и прочим, рабочие места оборудованы ЭВМ.

Характеристики помещения, следующие:

- ширина 6 м.;
- глубина 7 м.;
- высотой полотка 3,5 м.;
- в кабинете два оконных проема размерами (шириной 1700 мм., высотой 2000 мм.), окна оборудованы жалюзи;
- естественное освещение боковое;
- в качестве искусственного освещения используется 64 лампы Philips TLD 18W/33-640, световой поток 1 лампы равен 1200 лм.;
- помещение оснащено кондиционером Electrolux EACS-24HS/N3;
- в помещении имеется приточная и вытяжная вентиляция;
- помещение оборудовано системой отопления, с регулировкой подачи теплоносителя в радиаторы отопления.

Инженер на своем рабочем месте 60 % времени проводит сидя за столом, занимаясь черчением на компьютере. В течение рабочего дня осуществляет около 5-10 пеших походов внутри сооружения между этажами для согласования и подписания рабочей документации. Максимальный вес переносимый инженером составляет не более 10 кг.

План рабочего помещения изображен на рисунке 4.1.

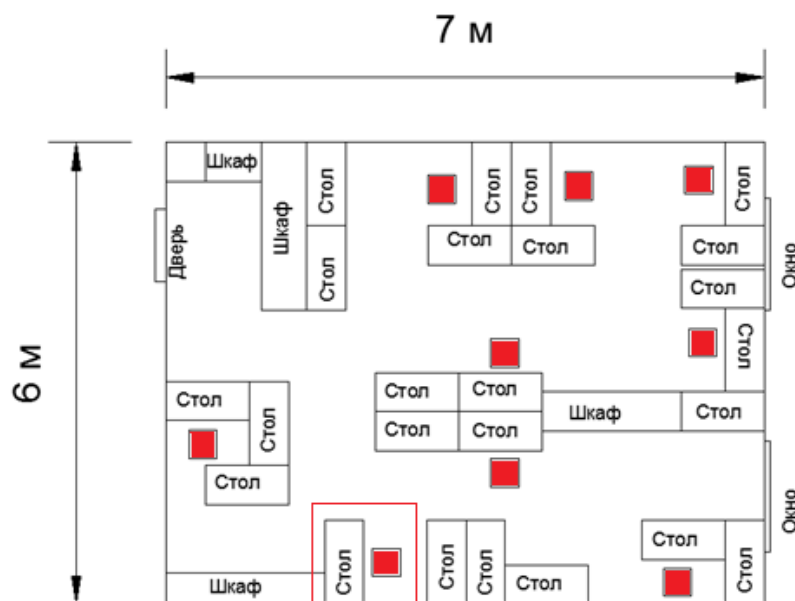


Рисунок 4.1 – План рабочего помещения

Цель данного раздела – проанализировать условия труда персонала в указанном помещении, сделать выводы о соответствии-несоответствии нормативным документам.

4.1 Оценка условий труда инженеров

Оценка условий труда производится согласно Приказа Минтруда России от 21.11.2023 №817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». Анализ условий труда осуществляется по трем группам факторов:

- санитарно-гигиенические факторы;
- эргономические факторы;
- психофизические факторы.

В помещении выявлены следующие факторы, действующие на работников:

- микроклимат;
- виброакустические;
- световая среда;

- тяжесть трудового процесса;
- напряженность трудового процесса.

4.2 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений играет важную роль для обеспечения комфортных и безопасных условий для сотрудников, в особенности показатели температуры, влажности, освещенности и т.п. Поэтому в производственных помещениях необходимо проводить мониторинг показателей микроклимата, чтобы избежать их отрицательного влияния на здоровье сотрудников. Для этого могут использоваться системы вентиляция и кондиционирования воздуха.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», составляющими микроклимата являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Для обеспечения ощущения теплового комфорта работников в течении раб. дня необходимо соблюдать предписанные нормы характеристик воздушной среды в помещении.

Исходя из ГОСТ 12.1.005-88 данный вид работы относится к классу работ – легкие физические работы (категория I). ЛФР разделяются на Ia – энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт), это работы, производимые сидя за ПВЭМ, и Ib – энергозатраты 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), это работы не только в положении сидя, но и в положении стоя, и (или) связанные с ходьбой.

Работа, производимая инженером, относится к категории Ib. Оптимальные показатели микроклимата указаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Оптимальные показатели микроклимата СанПиН 1.2.3685-21

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Хол.	19,0-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1-0,2
Теп	20,0-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1-0,3

Температура воздуха в помещении в холодный и теплый период поддерживается в пределах нормы. Относительная влажность воздуха в помещении 50 – 60 %, что соответствует норме (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Соответствие оптимальных и фактических показателей микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88)

Категория работ	Показатель	Период года			
		Холодный	Теплый	Холодный	Теплый
		ГОСТ 12.1.005-88		Фактическое значение	
Легкая Iб	Температура воздуха, °С	19,0-24,0	20,0-28,0	25	24
	Относительная влажность, %	15-75	15-75	50	60
	Скорость движения воздуха, м/с	0,1-0,2	0,1-0,3	0,1	0,1

Данное помещение оборудовано кондиционером, кондиционер обеспечивает циркуляцию воздуха со скоростью 850 м³/мин, этого достаточно. Так же кондиционер может регулировать температуру и влажность воздуха в помещении.

В таблице видно, что параметры микроклимата соответствуют норме. Это обеспечивается в холодный период времени системой отопления, а в теплый период кондиционером Electrolux EACS-24HS/N3. Класс условий труда – 1 (оптимальный), так как значения параметров соответствует значениям норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

4.3 Виброакустические факторы

В данном помещении отсутствуют какие-либо источники шума, исходя из этого можно считать, что виброакустические факторы находятся в пределах нормы.

4.4 Освещенность рабочей поверхности

В данном помещении искусственное освещение осуществляется 64 лампами Philips TLD 18W/33-640, световой поток 1 лампы равен 1200 лм., естественное освещение осуществляется через два оконных проема.

Работу инженера, в соответствии с СП 52.13330.2016 «Свод правил естественное и искусственное освещение», можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет $E = 300$ Лк при люминесцентных лампах.

Определим требуемый световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (4.1)$$

где F – рассчитываемый световой поток, Лм;

E – нормированная минимальная освещенность, Лк (определяется по СП 52.13330.2016). Работу инженера, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет $E = 300$ Лк при люминесцентных лампах;

S – площадь освещаемого помещения (в нашем случае $S = 42 \text{ м}^2$);

Z – отношение средней освещенности к минимальной (для люминесцентных ламп $Z = 1,1$);

K – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение определяется по таблице коэффициентов запаса для различных помещений и в нашем случае $K = 1,5$);

n – коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризующих коэффициентами отражения от стен (P_c) и потолка (P_n)), значение коэффициентов P_c и P_n определим по таблице зависимостей коэффициентов отражения от характера поверхности: $P_c=30\%$, $P_n=50\%$. Значение n определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.2)$$

где S – площадь помещения, $S = 42 \text{ м}^2$;

h – расчетная высота подвеса, $h = 3,5 \text{ м}$;

A – ширина помещения, $A = 6 \text{ м}$;

B – длина помещения, $B = 7 \text{ м}$.

Подставив значения получим:

$$I = \frac{42}{3,5 \cdot (6 + 7)}.$$

Зная индекс помещения I , P_c и P_n , по таблице находим $n = 0,33$

Подставим все значения в формулу для определения светового потока F :

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 42 \cdot 1,1}{0,33} = 63000 \text{ Лм.}$$

Определим световой поток ламп, указанных в исходных данных:

$$F = \frac{64}{1200} = 76800 \text{ Лм.}$$

Количество ламп, применяемых в качестве искусственного освещения достаточно для обеспечения требуемого светового потока.

Произведем расчет требуемого естественного освещения в данном помещении:

Упрощенный метод расчета площади световых проемов состоит в определении площади световых проемов, при которой обеспечивается нормированное значение КЕО.

$$S_0 = \frac{S_n \cdot e_N \cdot k_3 \cdot n_0}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд}, \quad (4.3)$$

где S_n – площадь полов ($S_n=42 \text{ м}^2$);

e_N – нормированное значение КЕО для зданий, расположенных в различных районах;

k_3 – коэффициент запаса;

n_0 – световая характеристика окна;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания;

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями.

$$k_3 = 1,2;$$

$$n_0 = 19;$$

$$K_{зд} = 1;$$

$$r_1 = 3,1;$$

$$\tau_0 = 0,8;$$

$$e_N = e_N \cdot m_N = 2,4;$$

$$e_N = 2,4 \text{ – норма освещённости рабочей поверхности (СП 52.13330.2016);}$$

$$m_N = 1 \text{ – коэффициент светового климата.}$$

$$S_0 = \frac{42 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 19}{100 \cdot 0,8 \cdot 3,1} \cdot 1,2 = 7,72 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем фактическую площадь оконных проемов:

$$S_{\phi} = 1,7 \cdot 2 \cdot 2 = 6,8 \text{ м}^2.$$

Фактическая площадь оконных проемов меньше требуемой, необходимо увеличивать оконные проемы или уменьшать площадь помещения.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что в соответствии с Приказом Минтруда РФ от 21.11.2023 N 817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» условия труда при воздействии световой среды можно отнести ко 2 (допустимому) классу условий труда.

4.5 Тяжесть трудового процесса

При расчете тяжести трудового процесса и выборе класса условий труда воспользуемся следующими факторами тяжести трудового процесса на РМ:

- рабочее положение работника сидя;
- стереотипные рабочие движения на ПЭВМ;
- перемещение работника внутри сооружения.

За рабочую смену 8 часов работник совершает 15000 стереотипных движений, что соответствует 1 (оптимальному) классу условий труда в соответствии с Приказом Минтруда РФ от 21.11.2023 N 817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

За рабочую смену 8 часов работник 60 % рабочее времени находится в положении сидя, что соответствует 3.2 (вредному) классу условий труда в соответствии с Приказом Минтруда РФ от 21.11.2023 N 817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о

проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

Исходя из вышеизложенного принимаем совокупный класс тяжести трудового процесса как «вредный»

4.6 Напряженность трудового процесса

Факторы напряженности трудового процесса представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Факторы напряженности трудового процесса

Напряженности трудового процесса	Класс (подкласс) условий труда				Фактические величины
	Опт.	Доп.	Вред.		
	1	2	3.1	3.2	
Сенсорные нагрузки					
Плотность сигналов (световых и звуковых) и сообщений в среднем за 1 час работы, ед.	до 75	76 - 175	176 - 300	более 300	20
Число производственных объектов одновременного наблюдения, ед.	до 5	6 - 10	11 - 25	более 25	2
Работа с оптическими приборами (% времени рабочего дня (смены))	до 25	26 - 50	51 - 75	более 75	0
Нагрузка на голосовой аппарат (суммарное количество часов, наговариваемое в неделю), час.	до 16	до 20	до 25	более 25	8
Монотонность нагрузок					
Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или многократно повторяющихся операций, ед.	более 10	9 - 6	5 - 3	менее 3	20
Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом технологического процесса в% от времени рабочего дня (смены), час.	менее 75	76 - 80	81 - 90	более 90	60

На основании таблицы 4.3 делаем заключение что напряженность трудового процесса соответствует 1 (оптимальному) классу условий труда в соответствии с Приказом Минтруда РФ от 21.11.2023 N 817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

4.7 Итоговый класс условий труда

В соответствии с методикой Приложения № 15 Приказа Минтруда РФ от 21.11.2023 N 817Н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». Определяем итоговый класс условий труда (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Факторы условий труда

Наименование фактора	Класс (подкласс) условий труда
Параметры микроклимата	1
Шум	2
Световая среда	2
Тяжесть трудового процесса	3,2
Напряженность трудового процесса	1
Итоговый класс условий труда	3,2

4.8 Эргономика рабочего места

Эргономика – создания условий труда, которые способствуют эффективности и безопасности. При проектировании рабочих мест важно учитывать не только физические и технологические факторы, но и индивидуальные особенности сотрудников. Стулья и другие элементы рабочего места, рассчитанные на «среднестатистического» человека, могут не подходить

всем работникам, что потенциально ведет к неудобствам и рискам для здоровья. Решение задач эргономики требует креативного подхода. Это может включать:

1. Подбор оборудования. Стараться, где возможно, использовать мебель и оборудование с регулируемыми параметрами, чтобы оно могло подойти как можно большему числу сотрудников.

2. Обучение и информирование сотрудников. Проводить тренинги и давать рекомендации по настройке их рабочего пространства с минимумом доступных средств.

3. Периодическая оценка рабочих мест. Регулярно оценивать эргономические условия и собирать обратную связь от сотрудников для выявления проблем и поиска доступных решений.

Даже в ситуациях экономических ограничений внимание к эргономике может значительно повысить комфорт, удовлетворенность и производительность труда, а также снизить риски для здоровья.

Рабочее место, при выполнении действий в положении сидя должно соответствовать нормам ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Параметры рабочего места конструктора

Параметры	Рекомендуемые, мм.	Фактические, мм.
1	2	3
Высота рабочей поверхности стола над полом	720	700
Размер рабочей поверхности	1600x900	1500x700
Высота пространства для ног	600	700
Высота сидения	450	450
Ширина сидения	500	450
Высота спинки сидения	800	550
Высота пульта с клавиатурой	620-880	700

Параметры	Рекомендуемые, мм.	Фактические, мм.
Расстояние от экрана до края стола	750	500

При разработке эргономичного рабочего места оператора ЭВМ, важно учитывать размещение органов управления и устройств в соответствии с их важностью и частотой использования. Основные рекомендации:

1. Достижимость и частота использования: Наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть легко доступны. Это означает, что они должны располагаться в зоне легкой досягаемости моторного поля, что позволяет оператору быстро и эффективно взаимодействовать с инструментами.

2. Последовательность действий: Органы управления, связанные с конкретной последовательностью действий, должны располагаться таким образом, чтобы обеспечить интуитивно понятный порядок использования - слева направо и сверху вниз.

3. Равномерное распределение нагрузки: Для предотвращения излишнего напряжения рук оператора нужно стремиться к размещению устройств таким образом, чтобы распределение нагрузки было равномерным на обе руки.

4. Зоны размещения:

— зона А ($\pm 15^\circ$ от нормальной линии зрения) – располагаются наиболее часто используемые объекты, такие как монитор, чтобы оператору было удобно и не приходилось напрягать глаза или менять положение головы часто.

— зона Б ($\pm 30^\circ$ от нормальной линии) – для объектов, которые используются умеренно, таких как документы или системный блок, если они имеют информацию, не требующую постоянного взаимодействия. –

— зона В ($\pm 60^\circ$ от нормальной линии) – и размещаются редко используемые объекты, так как это самая удаленная зона для легкой досягаемости взглядом.

Кроме того, характеристики оборудования, такие как возможность изменения положения монитора, размер экрана, эргономика клавиатуры и т.д., также играют важную роль. Как правило, более высокая цена на оборудование может коррелировать с улучшенными характеристиками и более высоким уровнем эргономики, однако индивидуальные потребности пользователя должны всегда учитываться при выборе конкретных моделей устройств.

4.9 Электроопасность

Согласно ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» вредное или опасное воздействие на работников электрического тока проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Характеристика помещения по электроопасности указано в правилах устройства электроустановок ПУЭ и включает в себя следующие характеристики (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Характеристика помещений по электроопасности

Категория помещений	Характеристика помещения
Без повышенной опасности	К данной категории относятся сухие, беспыльные помещения с нормальным температурным режимом и минимальным количеством заземлённых элементов. Влажность воздуха составляет не более 75 %. Предусмотрена система вентиляции и отопление, полы покрыты диэлектрическим материалом.
С повышенной опасностью	В соответствии с классификацией к категории электропомещений повышенной опасности относятся объекты, которые соответствуют хотя бы одному из следующих условий: — влажность выше 75 %, сырость; — постоянное образование пыли с токопроводящими свойствами; — наличие токопроводящих полов – металлических, железобетонных, кирпичных и т. д.;

Категория помещений	Характеристика помещения
	— высокие значения температур (температура должна постоянно быть выше 35 градусов); возможность одновременного прикосновения к металлическим элементам электрооборудования и к заземлённым металлоконструкциям здания, аппаратам и механизмам .
Особо опасные	Характеристики особо опасных помещений: — максимальные показатели влажности воздуха, близкие к 100 %; — активная химическая или органическая среда, создающаяся на постоянной основе или в течение продолжительного времени (в воздухе присутствуют пары, газы и жидкости, разрушающие изоляцию электрооборудования); — сочетание сразу двух и более факторов, относящихся к помещениям повышенной опасности.

В соответствии с приведенными характеристиками рассматриваемое помещение можно отнести к помещению «без повышенной опасности».

4.10 Пожароопасность

Классификация помещений по пожарной и взрывопожарной опасности (таблица 4.6) применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

Таблица 4.6 – Характеристика помещений по пожароопасности

Категория помещений	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
А	К категории А относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при

Категория помещений	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
А Повышенные взрывопожароопасные	воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б Взрывопожароопасные	К категории Б относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1-В4 Пожароопасные	К категориям В1-В4 относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б. Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку.

Категория помещений	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
Умеренные пожароопасные	К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д Пониженные пожароопасные	К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

В целях определения категории помещения необходимо выполнить расчет. Приведем приблизительные исходные данные (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Характеристика помещения

Анализируемое производственное помещение	№ п/п i –го материала	Наименование предметов и материалов в помещении	Ориентировочный вес, G , кг	Площадь размещения пожарной нагрузки, S , м ²
Офис оптовой реализации компьютерной техники	1	Столы, шкафы ДСП	200	42
	2	Стулья, пластик	18	
	3	ПЭВМ, стеклопластик	10	
	4	Бумага	20	
	5	Линолеум	84	
	6	Жалюзи, лавсан	2	

Сначала необходимо определить пожарную нагрузку Q :

$$Q = \sum_{i=t}^n G_i \cdot Q_{Hi}^p, \quad (4.4)$$

$$Q = 200 \cdot 19 + 18 \cdot 28 + 10 \cdot 25,1 + 20 \cdot 20 + 84 \cdot 18,5 + 2 \cdot 23,7 = 6557 \text{ МДж.}$$

Далее определяем удельную пожарную нагрузку q по формуле:

$$q = \frac{Q}{S}, \quad (4.5)$$

$$q = \frac{6557}{42} = 56,11 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}.$$

Затем расчетное значение q сравнивается со значением q_T , приведенным в таблице 4.8, после чего ориентировочно выбирается категория помещения (В1, В2, В3 или В4).

Таблица 4.8 – Связь пожароопасных категорий помещений В1-В4 с величиной, рекомендованной удельной пожарной нагрузки q

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка, q_T , МДж/м ² (на оцениваемом участке данного помещения)
В1	более 2200
В2	1401 – 2200
В3	181 – 1400
В4	1 – 180

Из таблицы 4.8 видно, что рассматриваемое помещения относится к категории В4.

В целях обеспечения пожарной безопасности необходимо наличия в помещении первичных средств пожаротушения и пожарных извещателей.

4.11 Требования к площади рабочего места

Рабочие места проектируются с учетом усредненных антропометрических данных человека. При работе инженера за столом, конструкции стола и стула должны обеспечивать оптимально удобное положение тела человека. Расстояние от пола до поверхности стола должно составлять 0,75 м., высота сидения –

0,42 м., высота проема для ног – 0,6 м., глубина проема – 0,5 м. Естественно, что данные значения усреднены и для разных людей они будут различны.

Согласно санитарным нормам, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, объем на одного работающего должен превышать 24 м³, а площадь 6,5 м².

Рассчитаем фактическое число квадратных метров и объем на 1 человека.

$$S_1 = \frac{42}{9} = 4,6 \text{ м}^2.$$

$$V_1 = \frac{42 \cdot 3,5}{9} = 16,33 \text{ м}^3.$$

Рассчитанное число квадратных метров и объем на 1 человека, ниже требуемого, отсюда следует сделать вывод, что для обеспечения требуемых значений необходимо увеличить площадь помещения или сокращать число работников в данном помещении.

Вывод по разделу

В данной выпускной квалификационной работы были рассмотрены условия труда в помещении коллективом инженеров-конструкторов, состоящим из 9 человек.

На основании приведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Требования к параметрам рабочего места инженера-конструктора выполнены.

2. Нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 к площади рабочего помещения не выполнены, для выполнения требований необходимо увеличивать площадь помещения или сокращать персонал.

3. Параметры освещенности частично удовлетворяют требования СП 52.13330.2016 в данном помещении: искусственное освещения удовлетворяет требованиям, естественное нет, необходимо уменьшать площадь помещения или увеличивать оконные проемы.

4. Параметры вентиляции и микроклимата удовлетворяют требованиям, приведенный в исходных данных кондиционер выполняет их.

Любые отказы оборудования рабочих единиц не приводят к возникновению ситуаций, опасных для жизнедеятельности человека на РМ (пожар, взрыв, токсичные выделения, поражения током и др.), или к повреждению др. аппаратуры в помещении, так как оборудование проходит ежедневный осмотр перед началом работы, плановую поверку (при необходимости), а работник выполняет требования техники безопасности и охраны труда с соблюдением инструкций.

5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Целью расчётов, проводимых в экономической части, является определение затрат на создание и эксплуатацию модернизированной РН, а также в подтверждении экономической целесообразности проекта с использованием статистических экономических моделей.

5.1 Оценка затрат на производство и эксплуатацию модернизированной РН

Программа включает в себя 6 пусков в год в течение 8 лет на высоту 200 км.

1. Оценка затрат на НИР и ОКР.

К затратам на НИОКР относятся затраты на научно-исследовательские работы (НИР), проводимые академическими и отраслевыми НИИ для обеспечения процесса создания и эксплуатации РН, и затраты на опытно-конструкторские работы (ОКР), включающие:

- проектно-конструкторские работы (ПКР);
- изготовление опытных образцов;
- наземную экспериментальную обработку (НЭО);
- лётно-конструкторские испытания (ЛКИ).

Затраты на НИР рассчитываются исходя из сложившихся в отрасли отношений между НИР и ОКР:

$$k_{НИР} = \frac{C_{НИР}}{C_{ОКР}}; \quad (5.1)$$

$$k_{НИР} = 0,2,$$

где $C_{НИР}$ – затраты на НИР;

$C_{ОКР}$ – затраты на ОКР.

Суммарные затраты на НИОКР определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{НИОКР}} = C_{\text{ОКР}} + k_{\text{НИР}} \cdot C_{\text{ОКР}} = C_{\text{ОКР}} \cdot (1 + k_{\text{НИР}}); \quad (5.2)$$

Затраты на ОКР в целом.

$$C_{\text{ОКР}}^{\text{PH}} = \left(\sum_{i=1}^n (C_{\text{ОКР}}^{K_i} + C_{\text{ОКР}}^{\text{ДУ}_i}) + C_{\text{ОКР}}^{\text{об}_i} \right) \cdot k_c, \quad (5.3)$$

где k_c – коэффициент, учитывающий затраты на разработку РН в целом,

$$k_c = 1,07;$$

$C_{\text{ОКР}}^{K_i}$ – затраты на ОКР конструкции ракетного блока i -го типа;

$C_{\text{ОКР}}^{\text{ДУ}_i}$ – затраты на ОКР маршевой и вспомогательной ДУ ракетного блока i -го типа;

$C_{\text{ОКР}}^{\text{об}_i}$ – затраты на ОКР бортового оборудования и аппаратуры РН.

Так как в данном дипломе рассматривается модернизация конструкции РН, то: затраты на ОКР маршевой и вспомогательной ДУ, а также затраты на ОКР бортового оборудования и аппаратуры приравниваем к нулю.

$$C_{\text{ОКР}}^{K_i} = 1026 \cdot e^{0,0023 \cdot M_{\text{сух } K}}, \quad (5.4)$$

$M_{\text{сух } K}$ – сухая масса конструкции ракетного блока i -го типа.

$$C_{\text{ОКР}}^{K_1} = 1026 \cdot e^{0,0023 \cdot 10,52} = 1051,13 \text{ млн.р.}$$

$$C_{\text{ОКР}}^{\text{PH}} = 1051,13 \cdot 1,07 = 1124,71 \text{ млн.р.}$$

Общие затраты на НИОКР в соответствии с формулой (5.2) равны:

$$C_{\text{НИОКР}} = 1124,71 \cdot (1 + 0,2) = 1349,65 \text{ млн руб};$$

2. Оценка затрат на промышленное изготовление РН.

Затраты на промышленное производство РН определяются укрупнено для РН в целом или в виде суммы по основным элементам:

$$C_{\text{изг}}^{\text{PH}} = k_{\text{сб}}^{\text{PH}} \cdot \left[(C_{\text{изг}}^K + C_{\text{PH}}^{\text{ДУ}}) \cdot k_{\text{сб}} + C_{\text{изг}}^{\text{об}} \right], \quad (5.5)$$

где $C_{изг}^{\kappa}$ – затраты на изготовление конструкции РН;

$C_{РН}^{\partial y}$ – затраты на ДУ РН;

$C_{изг}^{об}$ – затраты на изготовление бортового оборудования РН;

$k_{сб}$ – коэффициент, учитывающий затраты на сборку блока или ступени РН, $k_{сб} = 1,1$;

$k_{сб}^{РН}$ – компоновочный коэффициент, $k_{сб}^{РН} = 1,1$.

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{изг}^{\kappa} = n_{см}^{1,14} \cdot \sum_{i=1}^{n_{см}} C_{изг}^{\kappa_i}, \quad (5.6)$$

где $C_{изг}^{\kappa_i}$ – затраты на изготовление конструкции i -го блока;

$n_{см}$ – количество ступеней, $n_{см} = 3$.

$$C_{изг}^{\kappa_i} = 11,88 \cdot e^{0,004 \cdot M_0^{\kappa_i}}; \quad (5.7)$$

$$C_{изг}^{\kappa_1} = 20,8 \text{ млн руб};$$

$$C_{изг}^{\kappa_2} = 20,9 \text{ млн руб};$$

$$C_{изг}^{\kappa_3} = 13,94 \text{ млн руб}.$$

Тогда, согласно формуле (5.6) получим:

$$C_{изг}^{\kappa} = 3^{1,14} \cdot (20,8 \cdot 4 + 20,9 + 13,94) = 413 \text{ млн руб}.$$

Затраты на изготовление бортового оборудования:

$$C_{изг}^{об} = 277 + 0,33 \cdot M_{\kappa}, \quad (5.8)$$

где M_{κ} – сухая масса РН, $M_{\kappa} = 53,04$ т.

$$C_{изг}^{об} = 277 + 0,33 \cdot 53,04 = 294,5 \text{ млн руб}.$$

Оценка затрат на ДУ РН:

$$C_{РН}^{ДУ} = k_R \cdot k_c \cdot \sum_{i=1}^{n_{см}} C_{см}^{ДУ_i}; \quad (5.9)$$

$$C_{ст}^{DY_i} = 6,3 \cdot M_{DY_i}, \quad (5.10)$$

где $C_{ст}^{DY_i}$ – затраты на ДУ i-й ступени;

k_R – коэффициент, учитывающий потери суммарной тяги ДУ в связке,

$$k_R = 1,1;$$

k_c – коэффициент, учитывающий увеличение затрат на отработку связки двигателей, $k_c = 1,2$;

M_{DY_i} – масса двигательной установки i-й ступени.

Проведём расчёт согласно формул (5.9), (5.10):

$$C_{ст}^{DY_1} = 6,3 \cdot 13,8 = 86,94 \text{ млн руб.}$$

$$C_{ст}^{DY_2} = 6,3 \cdot 3,51 = 22,11 \text{ млн руб.}$$

$$C_{ст}^{DY_3} = 6,3 \cdot 1,02 = 6,43 \text{ млн руб.}$$

$$C_{РН}^{DY} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot (86,94 + 22,11 + 6,43) = 152,43 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, затраты на промышленное изготовление РН будут равны:

$$C_{изг}^{РН} = 1,1 \cdot [(413 + 152,43) \cdot 1,1 + 294,5] = 1008,12 \text{ млн руб.} \quad (5.11)$$

3. Оценка затрат на дооснащение стартового комплекса РН.

$C_{доосн}^{СК}$ – затраты приравняем к нулю так как дооснащение стартового комплекса не требуется.

4. Затраты на топливо на один пуск.

$$C_{топл} = M_{топл} \cdot C_{т.уд} \cdot 10^{-3}, \quad (5.12)$$

где $M_{топл}$ – масса топлива РН, $M_{топл} = 687,1 \text{ т}$;

$C_{т.уд}$ – удельная стоимость топлива, $C_{т.уд} = 12,3 \text{ тыс. руб / кг}$;

$$C_{топл} = 8,45 \text{ млн руб.}$$

5. Затраты на техническую эксплуатацию.

Затраты на техническое обслуживание РН:

$$C_{ТОРН} = 0,035 \cdot C_{изз}^{PH} = 35,28 \text{ млн руб.} \quad (5.13)$$

Затраты на техническое обслуживание СК:

$$C_{ТОСК} = 0,025 \cdot C_{доосн}^{\Sigma} = 0 \text{ млн руб;} \quad (5.14)$$

Суммарные затраты на техническую эксплуатацию:

$$C_{ТЭ} = C_{ТОСК} + C_{ТОРН} = 35,28 \text{ млн руб;} \quad (5.15)$$

6. Затраты на обеспечение эксплуатирующих подразделений.

$$C_{об.э} = C_{об.э1} + C_{об.э2}, \quad (5.16)$$

где $C_{об.э1}$ – затраты на денежное обеспечение;

$C_{об.э2}$ – затраты на продовольственно-вещевое обеспечение;

$$C_{об.э1} = Q \cdot C_{об.э1}^{мл} \cdot (q_1 + q_2 \cdot k_{об.э1}^{cp} + q_3 \cdot k_{об.э1}^{cm}); \quad (5.17)$$

$$C_{об.э2} = Q \cdot C_{об.э2}^{мл} \cdot (q_1 + q_2 \cdot k_{об.э2}^{cp} + q_3 \cdot k_{об.э2}^{cm}); \quad (5.18)$$

где Q – численность штатного состава, $Q = 1500$ чел;

$C_{об.э1}^{мл} = 1,5 \text{ тыс } \frac{\text{руб}}{\text{чел} \cdot \text{год}}$ – годовая норма денежного обеспечения младшего персонала;

$C_{об.э2}^{мл} = 20 \text{ тыс } \frac{\text{руб}}{\text{чел} \cdot \text{год}}$ – годовая норма продовольственно-вещевого обеспечения младшего персонала;

q_1, q_2, q_3 – удельный вес численности младшего, среднего и старшего персонала, $q_1 = 0,2; q_2 = 0,2; q_3 = 0,7$;

$k_{об.э1}^{cp}$ – соотношение затрат на годовое денежное обеспечение среднего персонала, $k_{об.э1}^{cp} = 2$;

$k_{об.э1}^{cm}$ – соотношение затрат на годовое денежное обеспечение старшего персонала, $k_{об.э1}^{cm} = 40$;

$k_{об.э2}^{cp}$ – соотношение затрат на годовое продовольственно-вещевое обеспечение среднего персонала, $k_{об.э2}^{cp} = 2$;

$k_{об.э2}^{cm}$ – соотношение затрат на годовое продовольственно-вещевое обеспечение старшего персонала, $k_{об.э2}^{cm} = 2$;

$C_{об.э1} = 64,35$ млн руб;

$C_{об.э2} = 60$ млн руб;

$C_{об.э} = 124,35$ млн руб.

Определим суммарные затраты с учётом срока программы 8 лет:

$$C_{\Sigma} = 6 \cdot 8 \cdot (C_{изг}^{PH} + C_{топл} + C_{ТЭ}) + 8 \cdot C_{об.э} + C_{НИОКР} + C_{доосн}^{\Sigma}; \quad (5.19)$$

$C_{\Sigma} = 52,83$ млрд руб;

Затраты на 1 пуск:

$$C_{1пуск} = \frac{C_{\Sigma}}{48} = 1,1 \text{ млрд руб}; \quad (5.20)$$

Удельные затраты на выведение 1 кг полезного груза:

$$C_{1кг} = \frac{C_{1пуск}}{26840} = 41000 \text{ руб} / \text{кг}; \quad (5.21)$$

5.2 Экономическая эффективность программы

Для нахождения экономической эффективности программы, сравним суммарные затраты между имеющейся РН и модернизированной.

Запишем коэффициент экономической эффективности:

$$K_9 = \frac{C_M - C_u}{C_M}, \quad (5.22)$$

где C_M – затраты на программу запусков (48 запусков) модернизируемой РН;

C_u – затраты на программу запусков (48 запусков) штатной РН;

C_M – затраты на модернизацию РН (НИОКР).

$C_M = 51,48$ млрд.руб.

$C_M = 1349,65$ млн. руб.

По идентичной методики найдем суммарные затраты с учётом срока программы 8 лет.

$$C_\Sigma = 6 \cdot 8 \cdot (C_{изг}^{PH} + C_{топл} + C_{ТЭ}) + 8 \cdot C_{об.э}; \quad (5.23)$$

$$C_{изг}^{PH} = k_{сб}^{PH} \cdot [(C_{изг}^{\kappa} + C_{PH}^{\partial y}) \cdot k_{сб} + C_{изг}^{об}]; \quad (5.24)$$

$$C_{изг}^{K_1} = 11,88 \cdot e^{0,004 \cdot M_0^{B_{T1}}}; \quad (5.25)$$

$$C_{изг}^{K_1} = 20,82 \text{ млн руб};$$

$$C_{изг}^{K_2} = 20,9 \text{ млн руб};$$

$$C_{изг}^{K_3} = 13,94 \text{ млн руб};$$

$$C_{изг}^{\kappa} = 3^{1,14} \cdot (20,82 \cdot 4 + 20,9 + 13,94) = 413,3 \text{ млн руб}.$$

$$C_{изг}^{об} = 277 + 0,33 \cdot M_{\kappa}, \quad (5.26)$$

где M_{κ} – сухая масса РН, $M_{\kappa} = 55,04$ т.

$$C_{изг}^{об} = 277 + 0,33 \cdot 55,04 = 295,2 \text{ млн руб}.$$

$$C_{PH}^{DY} = k_R \cdot k_c \cdot \sum_{i=1}^{n_{cm}} C_{cm}^{DY_i} \quad (5.27)$$

$$C_{cm}^{DY_1} = 6,3 \cdot 14,68 = 92,5 \text{ млн руб}.$$

$$C_{cm}^{DY_2} = 6,3 \cdot 3,67 = 23,12 \text{ млн руб}.$$

$$C_{ст}^{DY_3} = 6,3 \cdot 1,02 = 6,43 \text{ млн руб.}$$

$$C_{PH}^{DY} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot (92,5 + 23,12 + 6,43) = 161,12 \text{ млн руб.}$$

$$C_{изг}^{PH} = k_{сб}^{PH} \cdot [(C_{изг}^{\kappa} + C_{PH}^{\partial y}) \cdot k_{сб} + C_{изг}^{об}] = 1,1 \cdot [(413,3 + 161,12) \cdot 1,1 + 295,2] = 1019,8 \text{ млн. руб.} \quad (5.28)$$

$$C_{топл} = 8,45 \text{ млн руб.}$$

$$C_{ТОРН} = 0,035 \cdot C_{изг}^{PH} = 35,7 \text{ млн руб;} \quad (5.29)$$

$$C_{ТОСК} = 0,025 \cdot C_{доосн}^{\Sigma} = 0 \text{ млн руб;} \quad (5.30)$$

$$C_{ТЭ} = C_{ТОСК} + C_{ТОРН} = 35,7 \text{ млн руб;} \quad (5.31)$$

$$C_{об.э} = 124,35 \text{ млн руб.}$$

$$C_{\Sigma} = 6 \cdot 8 \cdot (1019,8 + 8,45 + 35,7) + 8 \cdot 124,35 = 52064,4; \quad (5.32)$$

Затраты на 1 пуск:

$$C_{1пуск} = \frac{C_{\Sigma}}{48} = 1,08 \text{ млрд руб;} \quad (5.33)$$

Удельные затраты на выведение 1 кг полезного груза:

$$C_{1кг} = \frac{C_{1пуск}}{26500} = 40754 \text{ руб / кг;} \quad (5.34)$$

$$K_{\text{э}} = \frac{II_{\text{м}} - II_{\text{и}}}{C_{\text{м}}} = \frac{|51,48 - 52,1|}{1,35} = 0,46. \quad (5.35)$$

На данную программу полетов проект модернизации экономически неэффективен. Для повышения экономической эффективности необходимо увеличивать программу полета или увеличивать количество запусков в год.

Увеличим количество пусков в год до 10, а программу полета до 15 лет.

$$K_9 = \frac{|C_m - C_u|}{C_m} = \frac{|160836 - 159021|}{1349,65} = 1,34 \quad (5.36)$$

Следует отметить что для программы полетов 10 запусков в год в течении 15 лет, проект модернизированного РН экономически эффективен (таблица 5.1).
Таблица 5.1 – Экономическая эффективность программы по сравнению с существующим прототипом

Показатель	Модернизированная РН «Ангара-А5»	«Ангара-А5»
Суммарные затраты за 10 лет, млрд. руб.	160,37	160,84
Затраты на 1 пуск, млрд. руб.	1,069	1,072
Удельные затраты на выведение 1 кг ПН, руб./кг	39834	40461

Вывод по разделу

В данной части выпускной квалификационной работы был составлен сетевой график модернизации РН, критический путь которого составил 510 дней.

Были определены затраты на создание и эксплуатацию модернизированной РН, а также определена экономическая эффективность и условие ее реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В общей части выпускной квалификационной работы были рассмотрены общие сведения о РН «Ангара-А5», технические характеристики и конструктивные особенности.

В расчётной части работы была предложена конструкция бака, которая позволяет исключить проставку двигательную из конструкции УРМ-1. Предложенная конструкция бака позволяет увеличить объем межбакового и хвостового верхнего отсеков. Предложенные конструкции баков «О» и «Г» позволяют уменьшить массу УРМ-1 и увеличить массу ПН, выводимую на опорную круговую орбиту высотой 200км. Предложение по включению в конструкцию бака «Г» тоннельной трубы нецелесообразно.

В разделе «Охрана труда» были рассмотрены условия труда в помещении коллективом инженеров-конструкторов, состоящим из 9 человек по следующим факторам:

- микроклимат;
- шум;
- световая среда;
- тяжесть трудового процесса;
- напряженность трудового процесса.

Была проведена классификация помещений по электро и пожароопасности. Установлено, что помещение относится к категории В4 по пожароопасности и к категории «Без повышенной опасности» по электроопасности.

В экономической части выпускной квалификационной работы был составлен сетевой график модернизации РН, критический путь которого составил 510 дней. Были определены затраты на создание и эксплуатацию модернизированной РН, а также определена экономическая эффективность и условие ее реализации

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Б. В. Грабин. Лекции по курсу «Конструирование космических аппаратов и агрегатов».
- 2 Б. В. Грабин, О. И. Давыдов, В. И. Жихарев и др. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов./под редакцией академика В. П. Мишина и профессора В. К. Карраска – М.: Машиностроение, 1991. – 415 с.
- 3 Б. В. Грабин Основы конструирования космических аппаратов: Учебное пособие. - М.: МАИ, 2007. – 80 с.
- 4 В. А. Александров, В. В. Владимиров, Р. Д. Дмитриев, С. О. Осипов Ракеты-носители./Под общей редакцией проф. С. О. Осипова - Москва, 1981. – 313 с.
- 5 И. П. Бубнова, Т. В. Голованова Информационно-справочная система по охране труда. – М.: МАИ, 1992. – 75 с.
- 6 И. Т. Беляков, И. А. Зернов, Е. Г. Антонов и др. Технология сборки и испытаний космических аппаратов./под общей редакцией профессора И. Т. Белякова и профессора И. А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
- 7 Л. П. Юмашев Устройство ракет-носителей (вспомогательные системы): Учебное пособие. - Самар. гос. аэрокос. ун-т. Самара, 1990. – 157 с.
- 8 Л. П. Юмашев Устройство ракет-носителей (сухие отсеки и топливные баки): Учебное пособие. - Самар. гос. аэрокос. ун-т. Самара, 1995. – 157 с.
- 9 М. С. Константинов. Лекции по курсу «Основы теории полёта».
- 10 Проектирование летательных аппаратов Б. М. Панкратов, В. К. Сердюк, И. В. Толяренко - М.: МАИ, 1986. – 46 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

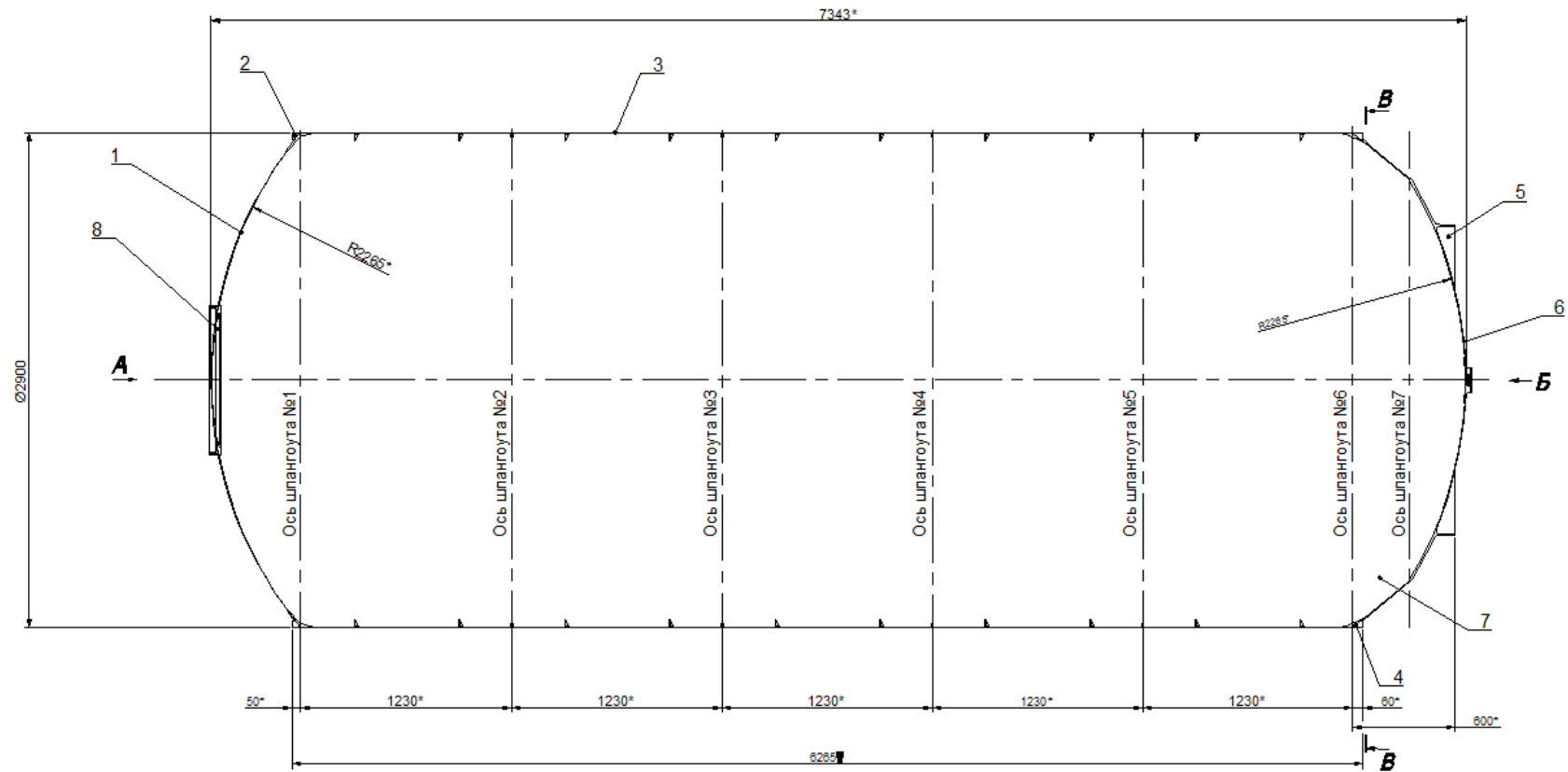


Рисунок А.1 – Конструкция корпуса бака «Г»

1 – верхнее днище; 2 – верхний силовой шпангоут; 3 – цилиндрическая обечайка; 4 – нижний силовой шпангоут;
 5 – Силовой шпангоут крепления ДУ; 6 – нижнее сферическое днище; 7 – нижняя коническая обечайка; 8 – крышка люк
 лаза

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

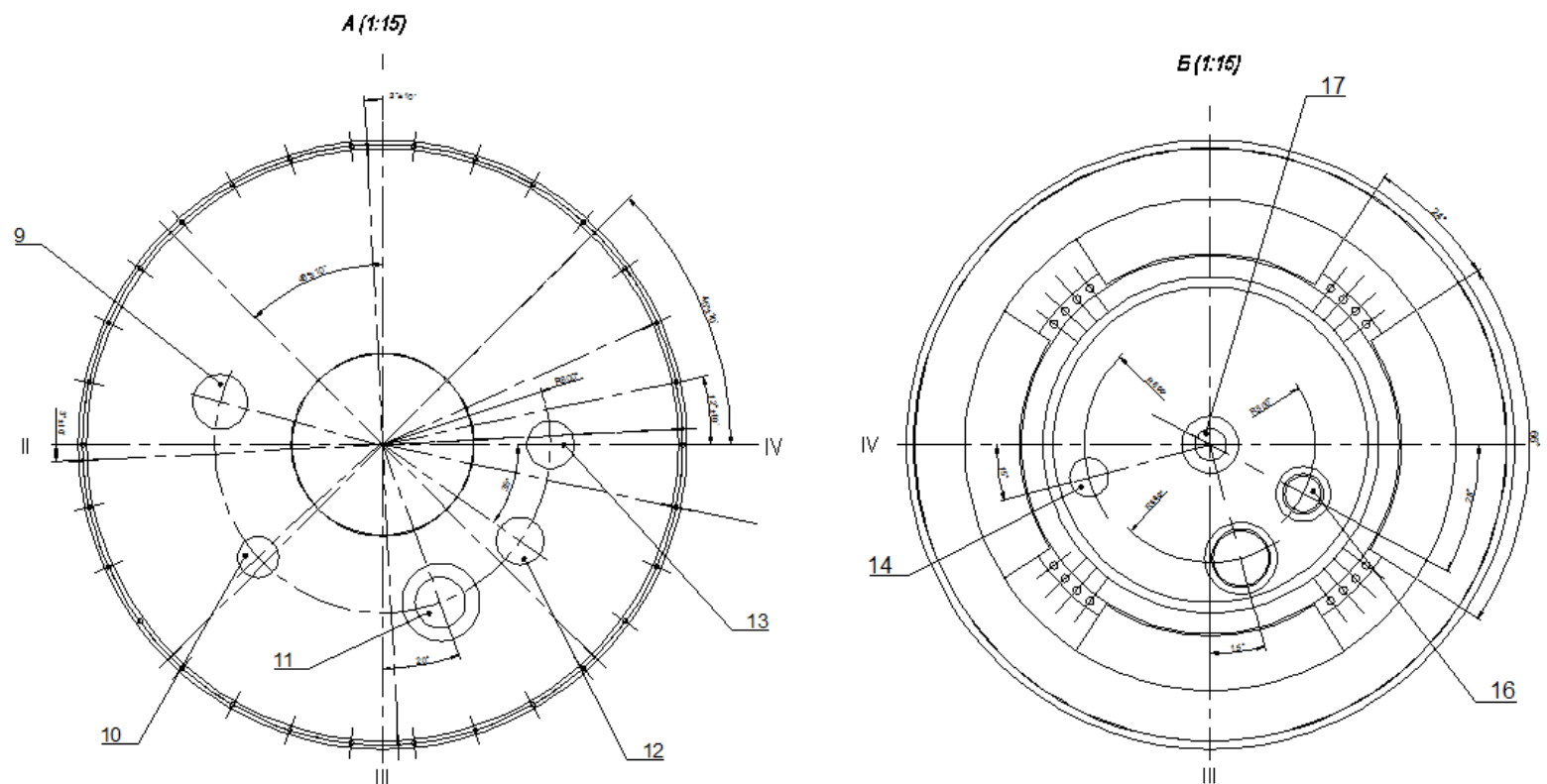


Рисунок Б.1 – Конструкция корпуса бака «Г»

9 – фланец гермопроходника датчиков температуры; 10 – фланец КДП; 11 – фланец надува бака; 12 – фланец гермовывода датчика СКЗ; 13 – фланец гермовывода датчика УСУРТ; 14 – фланец штуцера слива гидросистемы ЭГС; 15 – фланец расхода топлива; 16 – фланец заправки; 17 – фланец слива

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

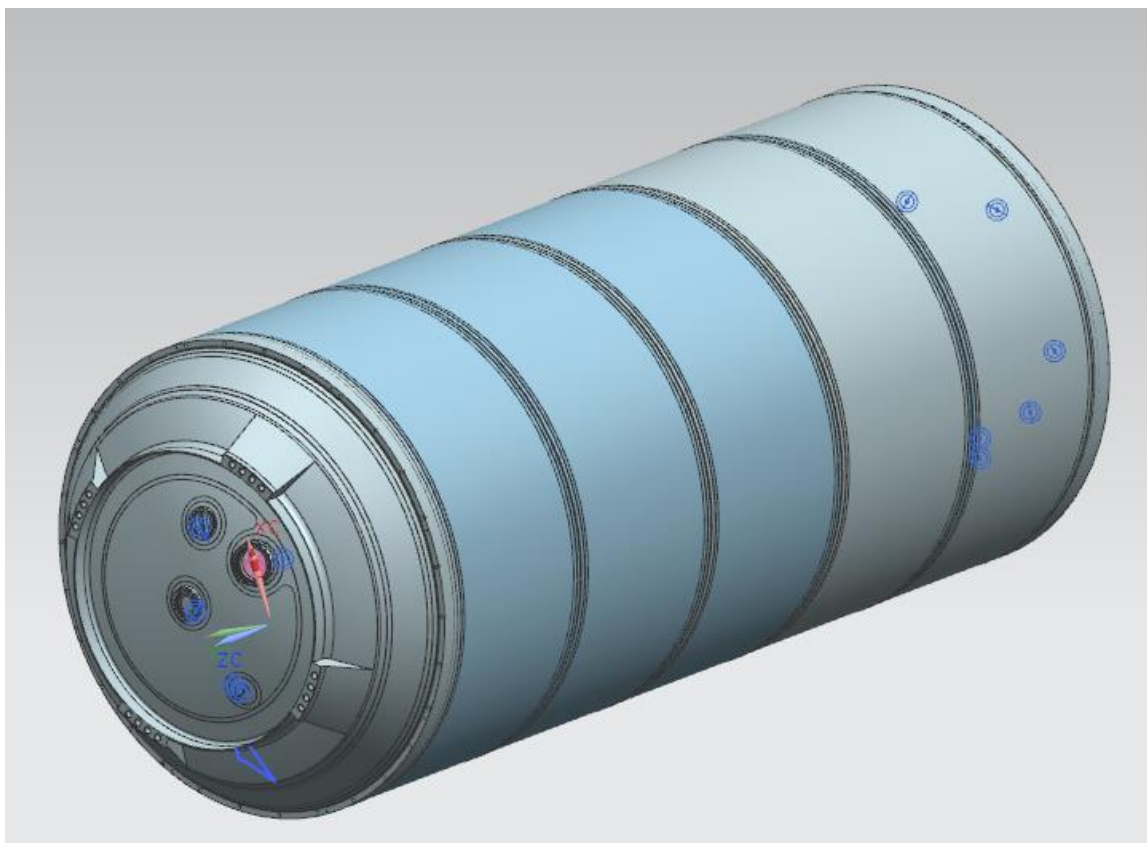


Рисунок А.3 – Трехмерная модель бака «Г»

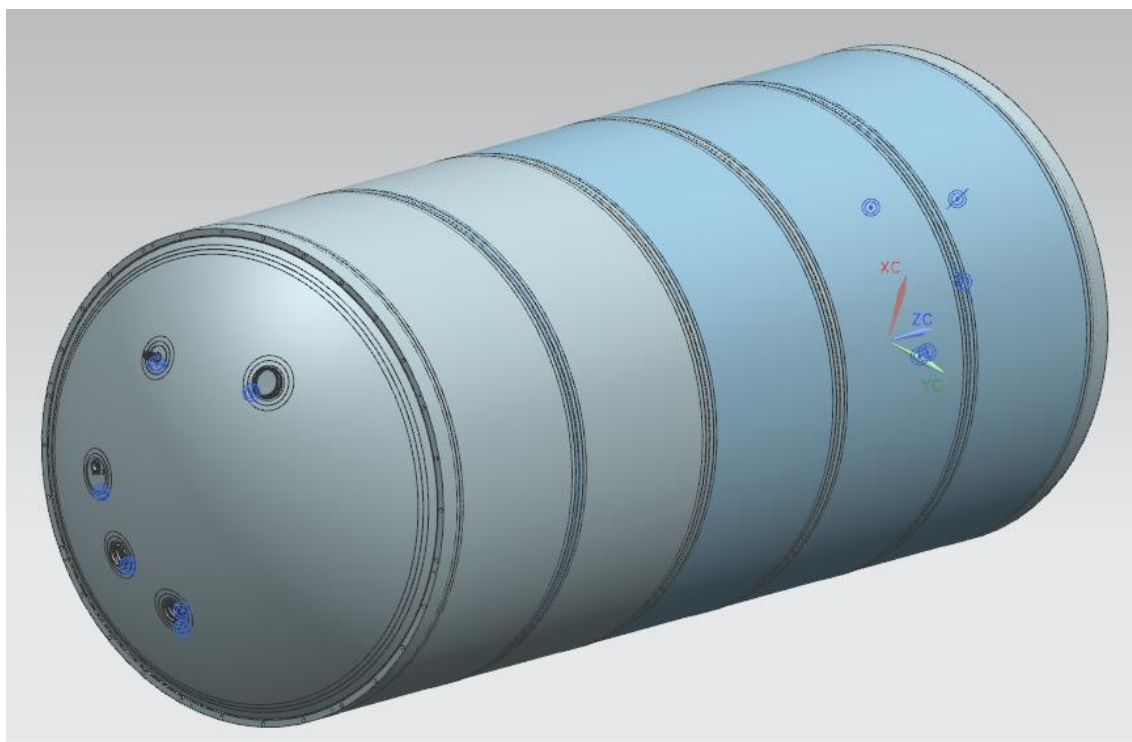


Рисунок А.4 – Трехмерная модель бака «Г»

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

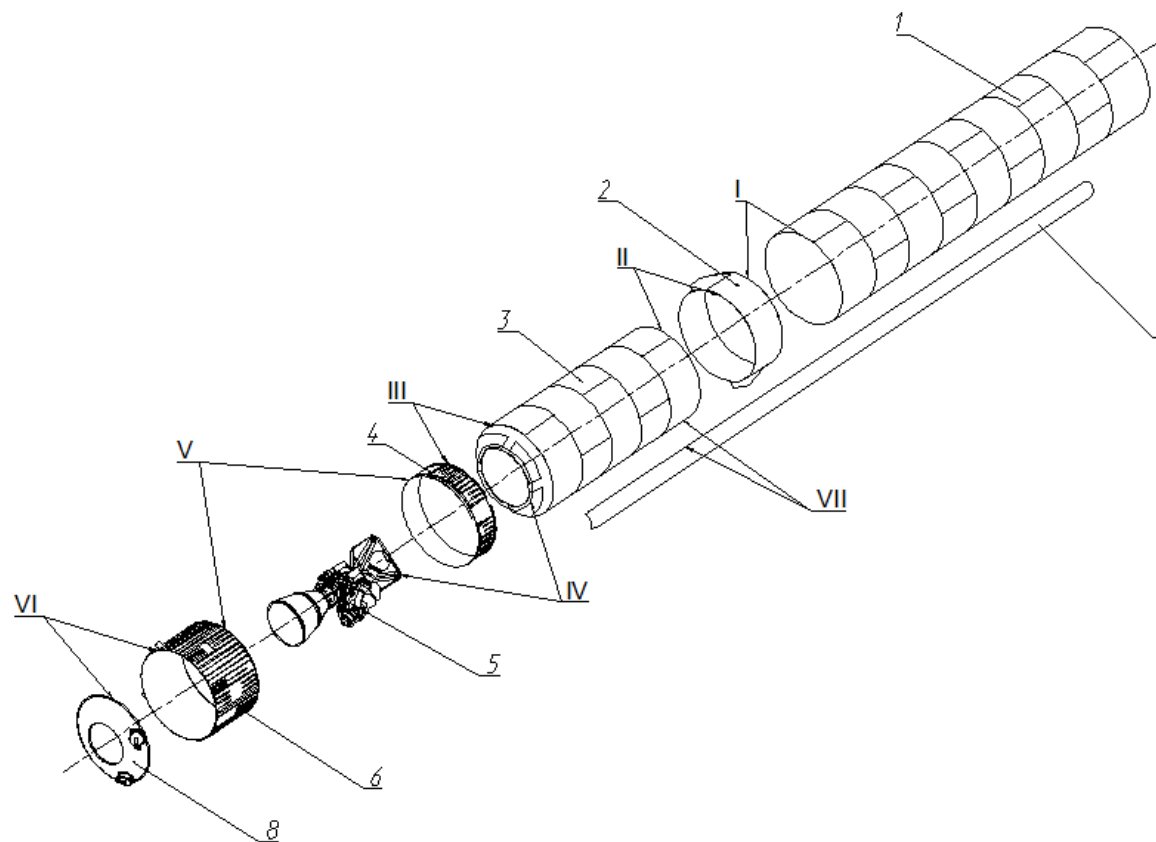


Рисунок А.5 – Схема членения универсального ракетного модуля

I, II, III, V, VI – фланцевые стыки; IV, VII – болтовые стыки; 1 – бак окислителя; 2 – межбаковый отсек; 3 – бак горючего; 4 – хвостовой верхний отсек; 5 – двигательная установка РД – 191; 6 – хвостовой отсек нижний; 7 – гаргрот;

8 – экран

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

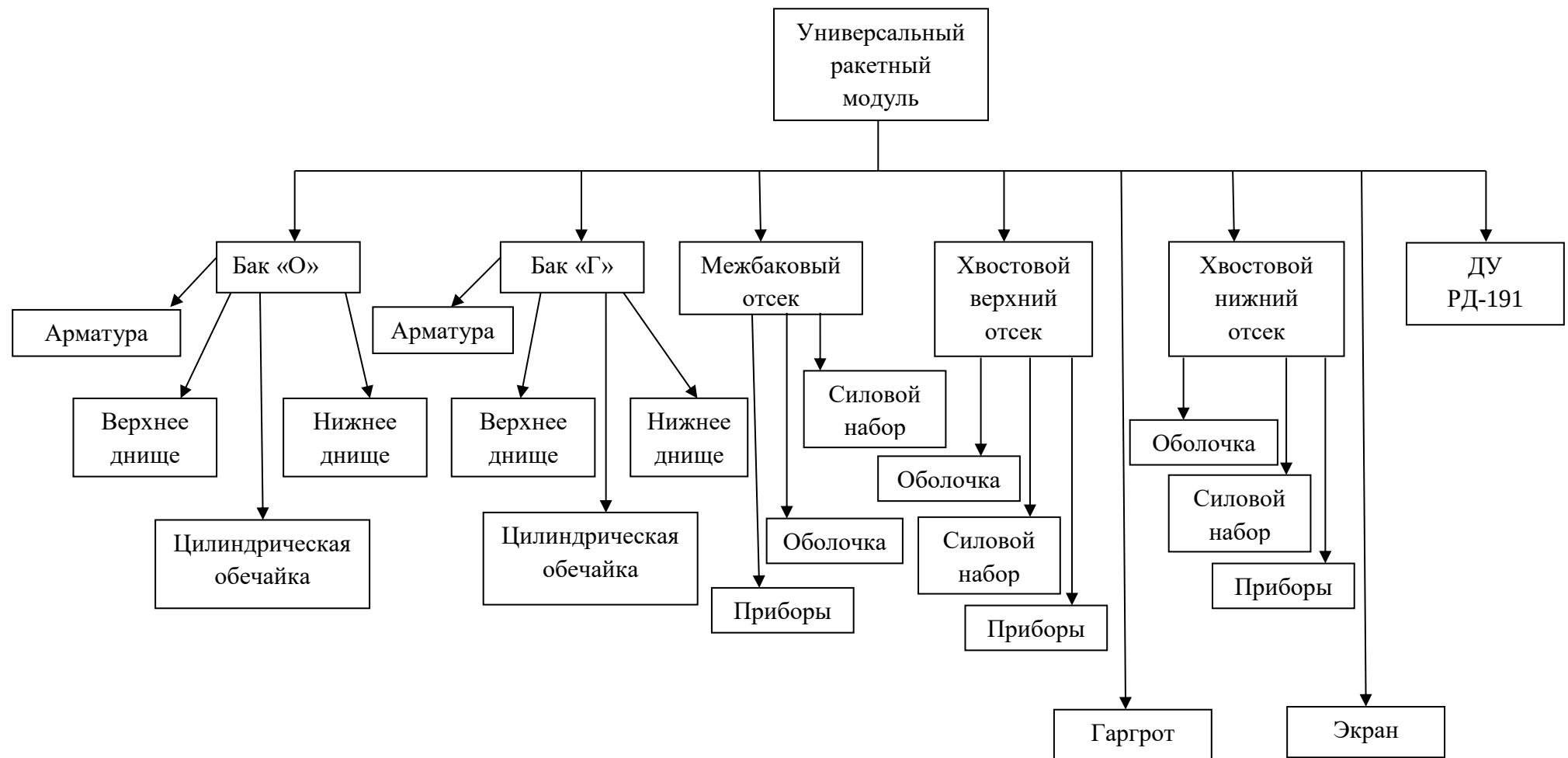


Рисунок А.6 – Директивная схема сборки УМР–1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Технологический процесс сварки кольцевых швов бака

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
005	Входной контроль				
010	Установить нижнее днище в сварочное приспособление.	Кран, станд, транспортная тележка	Сумка монтажника	4	8
015	Прокрутить переднюю бабку и замерить биение торцевой части шпангоута	Станд	Индикаторная головка	1	1
020	Фрезеровать технологический припуск торцевой части шпангоута (если биение выходит за рамки допуска)	Станд, фрезерная головка	Фреза	1	3
025	Установить цилиндрическую обечайку на станд в центрирующее устройство	Кран, станд, транспортная тележка	Сумка монтажника	4	7
030	Подвести торец обечайки бака, закреплённого в центрирующем устройстве к торцу шпангоута	Станд		2	2
035	Прокрутить и замерить биение и зазор между обечайкой и торцевой частью шпангоута	Станд	Индикаторная головка	1	1

Продолжение таблицы Б.1

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
040	Фрезеровать припуск торцевой части обечайки (если биение или величина зазора выходит за рамки допуска)	Стенд, фрезерная головка	Фреза	1	3
045	Зачистить свариваемые кромки обечайки и шпангоута щёткой	Стенд	Щётка стальная	4	3
050	Обезжирить свариваемые кромки бензином Б-70, протереть насухо салфетками	Стенд	Салфетки, бензин Б70	1	3
055	Контроль ОТК проверить качество подготовки кромок под сварку	Визуально	Лупа	2	5
060	Подвести сварочную головку к месту сварного шва, контроль положения электрода	Стенд, Стойка сварочной головки		2	2
065	Установить частоту вращения шпинделя станда и величину подачи аргона	Сварочная головка		1	0,5
070	Включить подачу аргона	Пост РАДС		1	0,2
075	Сварка стыка, подачу аргона прекратить через 1 мин после окончания сварки.	АДСВ-5, присадочная проволока АМГ6	вольфрамовый электрод	1	2

Продолжение таблицы Б.1

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
080	Сварка образца свидетеля и отправка его на разрушающие испытания	АДСВ-5, присадочная проволока АМГ6	вольфрамовый электрод	1	0,5
085	Зачистить зону сварного шва	Стенд	Щётка стальная	2	4
090	Контроль качества сварного шва	Визуально	Лупа	1	5
095	Установить промежуточный шпангоут на стенд в центрирующее устройство	Кран, стенд, транспортная тележка	Сумка монтажника	3	7
100	Подвести торец шпангоута, закреплённого в центрирующем устройстве к торцу цилиндрической обечайке	Стенд		2	5
105	Прокрутить центрирующее устройство и замерить биение и зазор между обечайкой и торцевой частью шпангоута	Стенд	Индикаторная головка	1	1
110	Фрезеровать припуск торцевой части шпангоута (если биение или величина зазора выходит за рамки допуска)	Стенд, фрезерная головка	Фреза	1	3
115	Зачистить свариваемые кромки обечайки и шпангоута щёткой	Стенд	Щётка стальная	4	3

Продолжение таблицы Б.1

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
120	Обезжирить свариваемые кромки бензином Б-70, протереть насухо салфетками	Стенд	Салфетки, бензин Б70	1	3
125	Контроль ОТК проверить качество подготовки кромок под сварку.	Визуально	Лупа	2	4
130	Подвести сварочную головку к месту сварного шва, контроль положения электрода	Стенд, Стойка сварочной головки		2	1
135	Установить частоту вращения шпинделя станда и величину подачи аргона	Сварочная головка		1	0,5
140	Включить подачу аргона	Пост РАДС		1	0,2
145	Сварка стыка, подачу аргона прекратить через 1 мин после окончания сварки.	АДСВ-5, присадочная проволока АМГ6	вольфрамовый электрод	1	2
150	Зачистить зону сварного шва	Стенд	Щётка стальная	2	4
155	Контроль качества сварного шва	Визуально	Лупа	1	5
Сварку остальных цилиндрических обечаек и промежуточных шпангоутов производить аналогично (см № 025 -075 и 085 - 155)					
160	Контроль длины	Стенд	Рулетка	2	1

Продолжение таблицы Б.1

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
165	Фрезерование торцов (если необходимо)	Стенд, фрезерная головка	Фреза	1	6
170	Установить верхнее днище в сварочное приспособление.	Кран, стенд, транспортная тележка	Сумка монтажника	4	8
175	Подвести торец верхнего днища, закреплённого в задней бабке к торцу обечайке	Стенд		2	2
180	Прокрутить и замерить биение и зазор между обечайкой и торцевой частью шпангоута верхнего днища	Стенд	Индикаторная головка	1	1
185	Фрезеровать припуск торцевой части шпангоута (если биение или величина зазора выходит за рамки допуска)	Стенд, фрезерная головка	Фреза	1	3
190	Зачистить свариваемые кромки обечайки и шпангоута щёткой	Стенд	Щётка стальная	4	3
195	Обезжирить свариваемые кромки бензином Б-70, протереть насухо салфетками	Стенд	Салфетки, бензин Б70	1	3

Продолжение таблицы Б.1

№	Содержание операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Инструмент	Количество рабочих	Норма времени
200	Контроль ОТК проверить качество подготовки кромок под сварку	Визуально	Лупа	2	5
205	Подвести сварочную головку к месту сварного шва, контроль положения электрода	Стенд, Стойка сварочной головки		2	2
210	Установить частоту вращения шпинделя станда и величину подачи аргона	Сварочная головка		1	0,5
215	Включить подачу аргона	Пост РАДС		1	0,2
220	Сварка стыка, подачу аргона прекратить через 1 мин после окончания сварки.	АДСВ-5, присадочная проволока АМГ6	вольфрамовый электрод	1	2
225	Зачистить зону сварного шва	Стенд	Щётка стальная	2	4
230	Контроль качества сварного шва	Визуально	Лупа	1	5
235	Снять с приспособления	Кран, цеховые подставки	Сумка монтажника	4	10
240	Транспортировка в цех контроля	Кран, транспортировочные тележки	Сумка монтажника	4	15