

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 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет  
и ракетно-космических комплексов  
Специализация – Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем  
жизнеобеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

В.В Соловьев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**


на тему: Модернизация мест хранения составных частей ракеты носителя  
«Ангара-А5» посредством установки выдвигных площадок для установки опор  
с ложементами.

Исполнитель  
студент группы 9111-ос

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

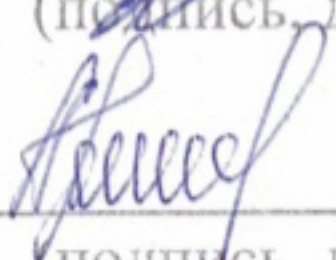
Я.П. Еременко

Руководитель  
доцент, канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

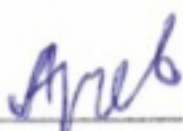
В.В Соловьев

Консультант по БЖД  
доцент, канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)


А.В. Козырь

Нормоконтроль  
Старший преподаватель СиТРК

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

М.А. Аревков

Рецензент

  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

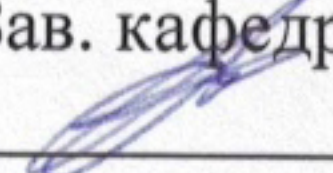
В.С. Агышев

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Институт компьютерных и инженерных наук  
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

 В.В. Соловьев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Еременко Яна Павловича;

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация мест хранения составных частей ракеты носителя «Ангара-А5» посредством установки выдвижных площадок для установки опор с ложементами;

(утверждена приказом от 02.12.2024 г. №3236-уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 07.02.2025 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: технический паспорт на хранение составных частей РН «Ангара-А5»;

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих к разработке вопросов): изучить особенности комплекта для хранения УРМ РН «Ангара»; спроектировать модернизированный стеллаж; разработать технологический процесс изготовления стеллажа; безопасность и экологичность производства; экономическая эффективность;

5. Перечень материалов приложения: графическая часть;

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе: консультант по БЖД Козырь А.В., доцент, канд. техн. наук;

7. Дата выдачи задания: 20.01.2025

8. Руководитель выпускного квалификационного проекта: Соловьев В.В., д-р техн. наук;



Выпускная квалификационная работа состоит из 83 страниц, 47 рисунков и 17 таблиц.

РАКЕТА-РОСИТЭЛЬ, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАКЕТНЫЙ МОДУЛЬ, РАКЕТА ХРАНЕНИЯ, СТЕЛЛАЖ, КОНСТРУКЦИЯ РАМА ОПОРА, ПРИВОД, ПРОТИВОВЕС.

Объектом выпускной квалификационной работы является место хранения ракетных модулей РМ «Ангара-А3».

Предметом проекта является модернизация мест хранения ракетных модулей РМ на космодроме.

Цель работы – разработать усовершенствованное место хранения ракетных модулей на космодроме по заданным требованиям к конструкции стеллажей выдерживающих нагрузки с опорами.

Объем:

на основании конструкторской документации изучить устройство стеллажа для хранения РМ РН «Ангара» на космодроме «Восточный», выявить особенности конструкции изделия.

спроектировать модернизированный стеллаж, включая описание изготовления изделия, расчеты основных проектных характеристик конструкции, разработку твердотельных моделей стеллажа и порядок действий при эксплуатации стеллажа;

решать технологические вопросы в области расчета и прочности стеллажа и разрабатывать технологический процесс сварки;

проработать вопросы БЖД и вопросы экономической эффективности.

Результаты работы могут быть использованы в производственных целях соответствующему направлению.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 83 страницы, 47 рисунков, 9 таблиц, 17 источников.

РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАКЕТНЫЙ МОДУЛЬ, МЕСТО ХРАНЕНИЯ, СТЕЛЛАЖ, КОНСТРУКЦИЯ, РАМА, ОПОРА, ГИДРОПРИВОД, ПРОТИВОВЕС

Объектом выпускной квалификационной работы является место хранения составных частей РН «Ангара-А5».

Предметом проекта является модернизация мест хранения составных частей РН на космодроме.

*Цель работы* – разработать усовершенствованное место хранения универсальных ракетных модулей на складе космодрома посредством внедрения в существующую конструкцию стеллажей выдвижных площадок с опорами.

*Задачи:*

- на основании конструкторской документации изучить устройство комплекта для хранения УРМ РН «Ангара» на космодроме «Восточный», рассмотреть особенности эксплуатации изделия;
- спроектировать модернизированный стеллаж, включая описание функционирования изделия, расчёт основных проектных характеристик конструкции, разработку твердотельных моделей стеллажа и порядок действий при эксплуатации стеллажа;
- проработать технологические вопросы в области расчёта на прочность элемента стеллажа и разработки технологического процесса сварки;
- проработать вопросы БЖД и вопросы экономической эффективности.

Результаты работы могут быть использованы в производственных реалиях по соответствующему направлению.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 КОМПЛЕКТ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ УРМ РН «АНГАРА» НА КОСМОДРОМЕ «ВОСТОЧНЫЙ» И ЕГО ОСОБЕННОСТИ .....	9
1.1 Универсальные ракетные модули РН «Ангара» .....	9
1.2 Конструкция стеллажа для хранения УРМ РН «Ангара».....	10
1.3 Особенности эксплуатации изделия .....	15
1.4 Обоснование модернизации имеющегося места хранения .....	20
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СТЕЛЛАЖА ...	21
2.1 Описание и функционирование изделия .....	21
2.2 Выбор материала конструкции.....	21
2.3 Расчёт габаритных характеристик лестниц.....	22
2.4 Расчёт габаритных характеристик перил .....	23
2.5 Расчёт гидропривода .....	23
2.5.1 Расчёт требуемой мощности и подачи насосов .....	25
2.5.2 Выбор насоса и его привода .....	26
2.5.3 Выбор гидроцилиндра.....	27
2.5.4 Выбор оборудования и материалов.....	29
2.6 Разработка твердотельных моделей стеллажа .....	30
2.7 Порядок действий при эксплуатации стеллажа .....	35
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕЛЛАЖА .....	42
3.1 Расчёт стеллажа на прочность методом конечных элементов.....	42
3.2 Разработка технологического процесса сварки .....	49
3.2.1 Расчёт режимов ручной дуговой сварки.....	50
3.2.2 Особенности технологии и выбор оборудования для ручной дуговой сварки .....	53
3.2.3 Расчёт режимов сварки под флюсом.....	56

3.2.4 Особенности технологии и выбор оборудования для сварки под флюсом.....	60
3.2.5 Расчёт режимов сварки в защитных газах.....	62
3.2.6 Выбор материалов для процесса сварки в защитных газах.....	65
3.2.7 Выбор оборудования для сварки в защитных газах .....	65
3.2.8 Выбор механического оборудования .....	71
4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА .....	73
4.1 Опасные производственные факторы.....	73
4.2 Меры безопасности при выполнении сварочных работ .....	74
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗРАБОТАННОГО ИЗДЕЛИЯ .....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ.....	81

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

БЖД – безопасность жизнедеятельности;

ГП – гидропривод;

КА – космический аппарат;

КПД – коэффициент полезного действия;

МК – маршрутная карта;

МКЭ – метод конечных элементов;

ОК – операционная карта;

РБ – ракетный блок;

РКН – ракета космического назначения;

РН – ракета-носитель;

СЧ – составная часть;

ТУ – технические условия;

УРМ – универсальный ракетный модуль.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в разработке новых РН и эксплуатации существующих РН выступает переход к использованию таких конструкций, которые состоят из взаимозаменяемых УРМ, что обеспечивает снижение стоимости вывода полезной нагрузки в космическое пространство за счёт значительного снижения расходов на всех этапах жизненного цикла изделия.

Недостатком существующих мест хранения УРМ РН на космодроме «Восточный» является значительное количество времени, затрачиваемое на сборку-разборку данных мест хранения. В результате прохождения практик было выявлено, что одной из перспективных идей для модернизации мест хранения может выступать разработка усовершенствованных мест хранения СЧ, которые будут являться неразборными, но в их конструкции будут присутствовать выдвижные площадки с опорами для установки РБ.

Первая глава дипломной работы является обзорно-теоретической и включает в себя основные сведения об УРМ РН «Ангара», а также особенности конструкции стеллажа для хранения УРМ РН «Ангара».

Вторая глава дипломной работы является проектно-конструкторской и включает в себя расчёт основных проектных характеристик модернизированного стеллажа, включая разработку твердотельных моделей и разработку комплекта конструкторской документации на разрабатываемый стеллаж.

Третья глава дипломной работы является технологической и включает в себя расчёт опоры для размещения УРМ на прочность с помощью метода конечных элементов, реализованного посредством ПО Solidworks.

Четвёртая глава дипломной работы содержит проработку вопросов безопасности жизнедеятельности.

Пятая глава дипломной работы содержит проработку вопросов экономической эффективности.



# 1 КОМПЛЕКТ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ УРМ РН «АНГАРА» НА КОСМОДРОМЕ «ВОСТОЧНЫЙ» И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

## 1.1 Универсальные ракетные модули РН «Ангара»

УРМ называется РБ 1-й ступени РН, который благодаря использованным при его изготовлении конструктивным решениям может быть использован в качестве БУ или РБ более высоких ступеней РН. В реалиях российской космонавтики РКН, основанной на комбинации нескольких УРМ, выступает семейство ракет «Ангара» (рисунок 1). Это обуславливает необходимость наличия универсальных мест хранения на космодроме, что позволит более эффективно осуществлять обслуживание, подготовку к старту и старт РКН без значительных временных затрат на транспортировку УРМ с завода-изготовителя на космодром [1].

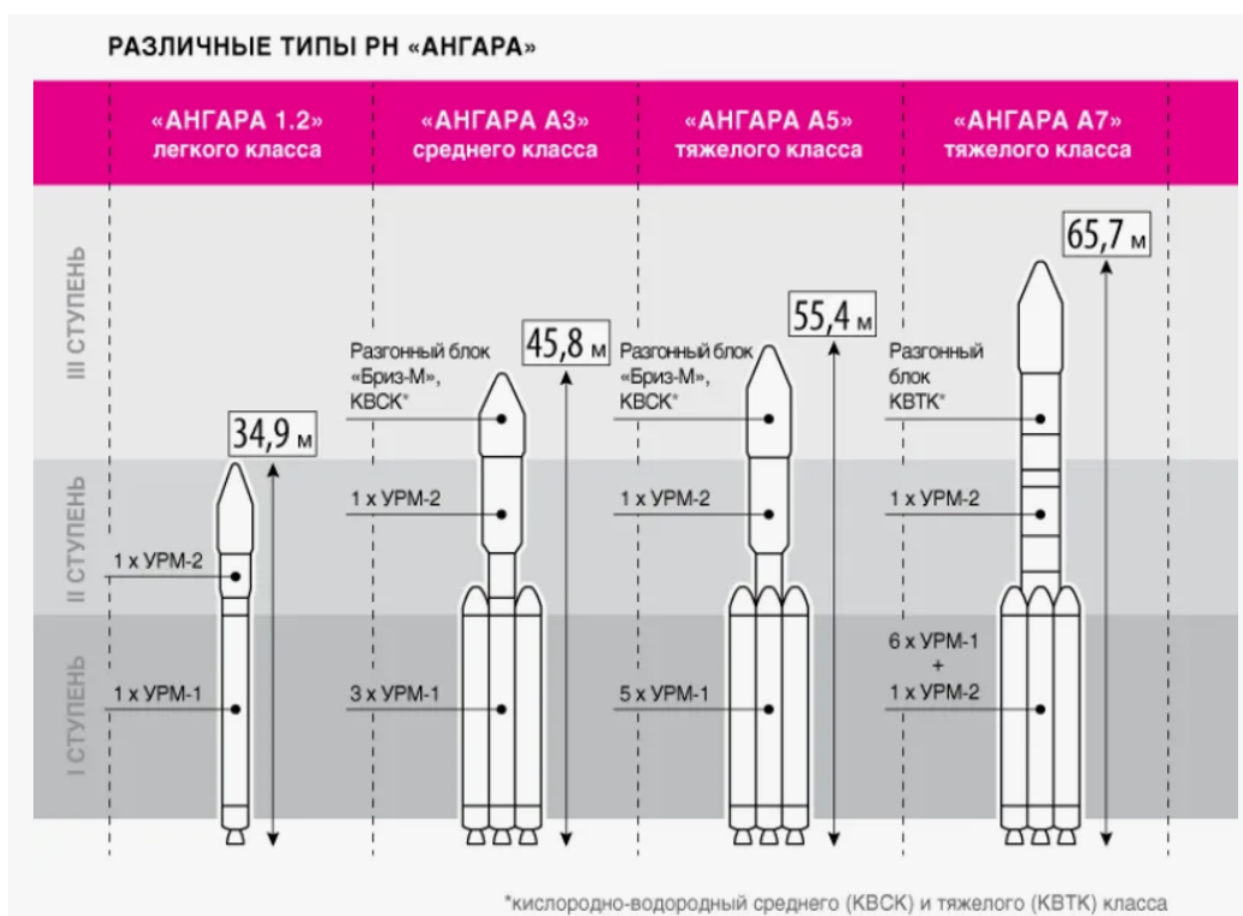


Рисунок 1 – Семейство РН «Ангара»

## 1.2 Конструкция стеллажа для хранения УРМ РН «Ангара»

Комплект для хранения УРМ состоит из следующих СЧ:

- опора;
- 2 опоры передние;
- 2 опоры задние;
- стеллаж.

Общий вид комплекта для хранения УРМ представлен на рисунке 2.

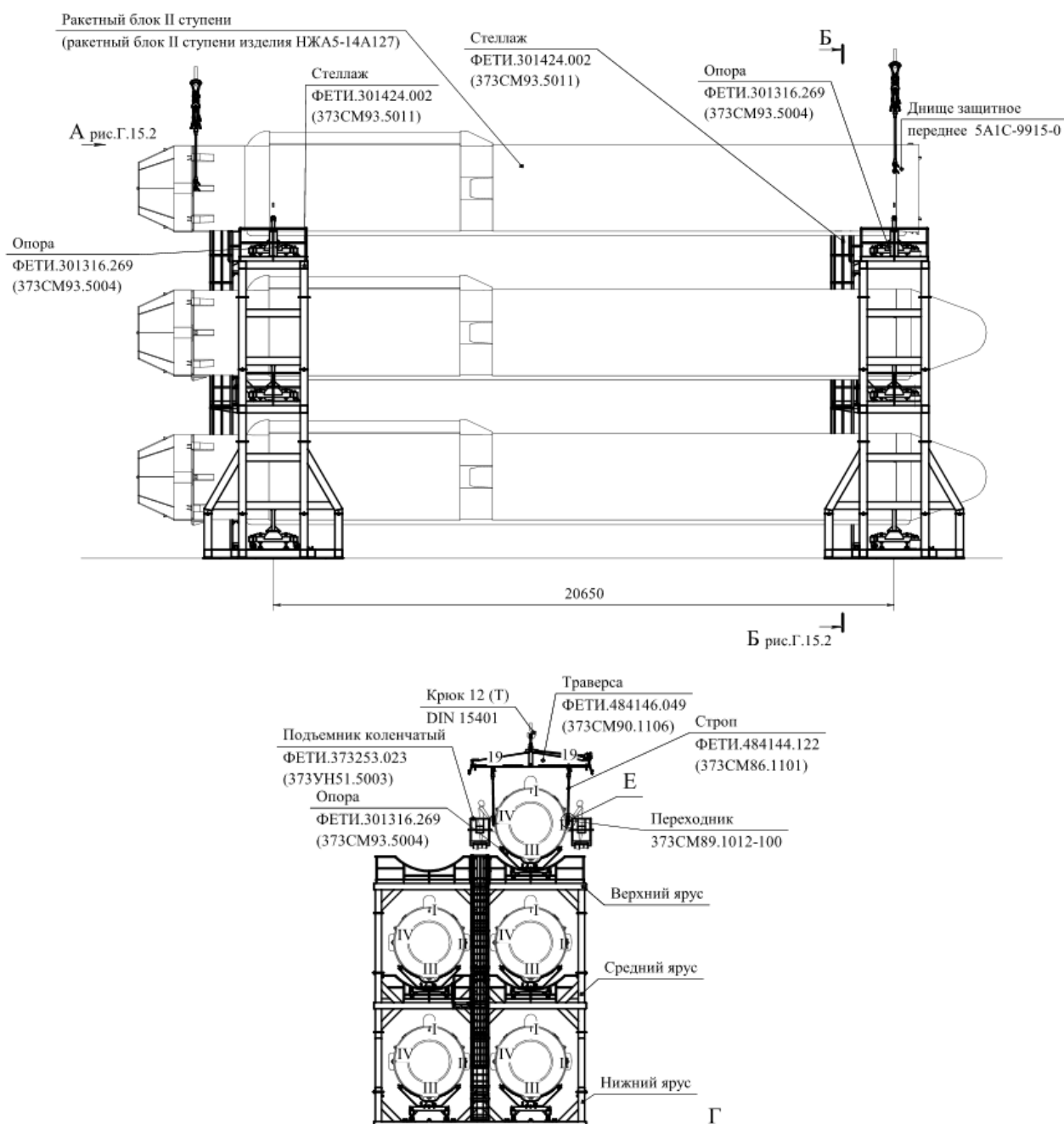


Рисунок 2 – Общий вид комплекта для хранения УРМ

Опора ФЕТИ.301316.269 (373СМ93.5004) предназначена для установки (снятия) РБ II ступени (РБ II ступени изделия НЖА5-14А127) и боковых блоков РБ I ступени (боковых блоков изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Опора состоит из подставки и ложемент, на рабочей поверхности которого закреплены резиновые ложементы.

На подставке имеются отверстия, через которые ложемент крепится к подставке болтами с гайками и шайбами.

Для передвижения опоры в нижней части подставки закреплены колеса, а на раме подставки закреплена табличка с указанием о размещении изделия только при вывешенных колесах.

Также для установки опоры в рабочее положение на подставке закреплены опоры. Опора состоит из пяты с винтом и воротком.

Для закрепления заземляющего провода на корпусе ложемент имеет бонка с болтом и шайбами. Рядом с бонкой установлен знак заземления.

Для подъема и переноса опоры на ложементе приварены скобы.

На корпусе ложемент закреплена заводской знак, а также с двух сторон нанесена маркировка «О3А, О4А», обозначающая номера опорной поверхности изделия, устанавливаемого на ложемент опоры.

Стеллаж ФЕТИ.301424.002 (373СМ93.5011) совместно с составными частями комплекта предназначен для размещения РБ II ступени (РБ II ступени изделия НЖА5-14А127) и боковых блоков I ступени (боковых блоков изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Стеллаж представляет собой металлоконструкцию, состоящую из трёх ярусов. Каждый ярус выполнен в виде каркаса, состоящего из стоек, балок, распорок и площадок.

На площадках второго и третьего яруса установлены перила.

Стойки соединены между собой через фланцы и зафиксированы болтами с гайками и шайбами.

Ярусы этажей соединяются между собой через фланцы, установленные на стойках.

На стойках во фланцах и гайками с шайбами закреплены направляющие штыри, а также для крепления фланцев стоек между собой устанавливаются болты с гайками и шайбами. При снятии яруса стеллажа болты с гайками и шайбами выкручиваются и устанавливаются в кронштейны, приваренные на стойках.

Для подъема на второй и третий ярус на стеллаже имеются лестницы с ограждениями.

На втором ярусе стеллажа для перехода с лестницы на площадку установлен балкон.

На стеллаже закреплен заводской знак. На каждом ярусе стеллажа имеются бонки с болтами, предназначенные для крепления на них проводов заземления от составных частей комплекта и перемычек, соединяемых между собой ярусы стеллажа. Рядом с бонками установлены знаки заземления.

В целях безопасности проведения работ на высоте, на площадках установлены стойки с проушинами и таблички. Проушины предназначены для крепления удерживающих систем. Места крепления удерживающих систем обозначено на табличках.

На полу всех этажей стеллажа нанесена маркировка «М», определяющая места установки опор с ложементами, на которые укладываются блоки РН «Ангара-А5» (блоки изделия НЖА5-14А127).

Опора передняя ФЕТИ.301316.270 (373СМ93.5005) совместно с опорой задней ФЕТИ.301316.271 (373СМ93.5006) предназначена для установки (снятия) РБ III ступени (РБ III ступени изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Опора передняя состоит из подставки и ложемента, на рабочей поверхности которого закреплены резиновые ложементы.

На подставке имеются отверстия, через которые ложемент крепится к подставке болтами с гайками и шайбами.

Для передвижения опоры в нижней части подставки закреплены колёса, а на раме подставки закреплена табличка с указанием о размещении изделия только при вывешенных колесах.

Также для установки опоры в рабочее положение на подставке закреплены опоры. Опора состоит из пяты с винтом и воротком.

Для закрепления заземляющего провода на корпусе ложемент имеет бонка с болтом и шайбами. Рядом с бонкой установлен знак заземления.

Для подъема и переноса опоры на ложементе имеются отверстия «Ж».

На корпусе ложемент закреплен заводской знак, а также с двух сторон нанесена маркировка «О14», обозначающая номер опорной поверхности изделия, устанавливаемого на ложемент опоры.

Опора задняя ФЕТИ.301316.271 (373СМ93.5006) совместно с опорой передней ФЕТИ.301316.270 (373СМ93.5005) предназначена для установки (снятия) РБ III ступени (РБ III ступени изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Опора задняя состоит из подставки и ложемент, на рабочей поверхности которого закреплены резиновые ложементы.

На подставке имеются отверстия, через которые ложемент крепится к подставке болтами с гайками и шайбами.

Для передвижения опоры в нижней части подставки закреплены колеса, а на раме подставки закреплена табличка с указанием о размещении изделия только при вывешенных колесах.

Также для установки опоры в рабочее положение на подставке закреплены опоры. Опора состоит из пяты с винтом и воротком.

Для закрепления заземляющего провода на корпусе ложемент имеет бонка с болтом и шайбами. Рядом с бонкой установлен знак заземления.

Для подъема и переноса опоры на ложементе имеются отверстия «Ж».

На корпусе ложемент закреплен заводской знак, а также с двух сторон нанесена маркировка «О15», обозначающая номер опорной поверхности изделия, устанавливаемого на ложемент опоры.

Опора передняя ФЕТИ.301316.273 (373СМ93.5007) совместно с опорой задней ФЕТИ.301316.274 (373СМ93.5008) предназначена для установки (снятия)

отсека промежуточного (отсека промежуточного изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Опора передняя состоит из подставки и ложемент, на рабочей поверхности которого закреплены резиновые ложементы.

На подставке имеются отверстия, через которые ложемент крепится к подставке болтами с гайками и шайбами.

Для передвижения опоры в нижней части подставки закреплены колеса, а на раме подставки закреплена табличка с указанием о размещении изделия только при вывешенных колесах.

Также для установки опоры в рабочее положение на подставке закреплены опоры. Опора состоит из пяты с винтом и воротком.

Для закрепления заземляющего провода на корпусе ложемент имеет бонка с болтом и шайбами. Рядом с бонкой установлен знак заземления.

Для подъема и переноса опоры на ложементе имеются отверстия «Ж».

На корпусе ложемент закреплена заводской знак, а также с двух сторон нанесена маркировка «О24», обозначающая номер опорной поверхности изделия, устанавливаемого на ложемент опоры.

Опора задняя ФЕТИ.301316.274 (373СМ93.5008) совместно с опорой передней ФЕТИ.301316.273 (373СМ93.5007) предназначена для установки (снятия) отсека промежуточного (отсека промежуточного изделия НЖА5-14А127) в процессе хранения.

Опора задняя состоит из подставки и ложемент, на рабочей поверхности которого закреплены резиновые ложементы.

На подставке имеются отверстия, через которые ложемент крепится к подставке болтами с гайками и шайбами.

Для передвижения опоры в нижней части подставки закреплены колеса, а на раме подставки закреплена табличка с указанием о размещении изделия только при вывешенных колесах.

Также для установки опоры в рабочее положение на подставке закреплены опоры. Опора состоит из пяты с винтом и воротком.

Для закрепления заземляющего провода на корпусе ложемент имеет бонка с болтом и шайбами. Рядом с бонкой установлен знак заземления.

Для подъема и переноса опоры на ложементе имеются отверстия «Ж».

На корпусе ложемент закреплен заводской знак, а также с двух сторон нанесена маркировка «О25», обозначающая номер опорной поверхности изделия, устанавливаемого на ложемент опоры.

### **1.3 Особенности эксплуатации изделия**

Комплект может эксплуатироваться в закрытых отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 281 К до 298 К (от плюс 8 °С до плюс 25 °С) и относительной влажности до 80 % при температуре 293 К (плюс 20 °С).

Комплект может находиться на кратковременном хранении без консервации составных частей и на длительном хранении с консервацией их.

Комплект устанавливать на кратковременное хранение при перерыве в его применении более 30 суток, но не свыше 2 лет.

Комплект устанавливать на длительное хранение при предполагаемом перерыве в его применении более 2 лет.

Составные части комплекта сохраняют эксплуатационные характеристики при хранении на открытых площадках при температуре окружающего воздуха от 233 до 313 К (от минус 40 до плюс 40 °С) и атмосферном давлении от 96 до 103,7 кПа (от 700 до 780 мм.рт.ст). Категория размещения КМТО – 2.

Перед установкой на длительное хранение подвергнуть составные части комплекта консервации.

Один раз в пять лет комплект подвергнуть переконсервации.

Консервацию и расконсервацию комплекта проводить в условиях, исключающих попадание на составные части пыли, грязи и атмосферных осадков.

При проведении работ по консервации температура окружающего воздуха должна быть не ниже плюс 15°С, влажность не должна превышать 70%. В

помещениях для консервации допускаются суточные перепады температуры, не вызывающие конденсацию влаги.

Запрещается консервацию и расконсервацию проводить в помещениях, где хранят кислоты, щелочи и другие агрессивные вещества.

Лица, проводящие консервацию и расконсервацию, должны быть обеспечены спецодеждой, резиновыми или хлопчатобумажными перчатками.

Место хранения должно обеспечивать:

- полную сохранность комплекта независимо от метеорологических условий и срока хранения;
- удобство проведения технического обслуживания;
- биологическую защиту;
- пожаробезопасность;
- беспрепятственный вывоз составных частей комплекта.

О постановке комплекта на хранение, о консервации и расконсервации внести запись в соответствующие разделы паспорта.

#### 1) Кратковременное хранение

При установке комплекта на кратковременное хранение выполнить следующие работы:

- установить составные части комплекта на отведенное место;
- проверить комплектность в соответствии с ТУ.

Для подготовки комплекта к проведению работ после кратковременного хранения необходимо очистить составные части комплекта от пыли, грязи и следов атмосферных осадков.

#### 2) Длительное хранение

При установке комплекта на длительное хранение выполнить следующие работы:

- провести техническое обслуживание составных частей комплекта в соответствии с ТУ;
- законсервировать составные части комплекта в соответствии с ТУ.



В процессе хранения законсервированного комплекта проводить техническое обслуживание согласно ТУ.

Об установке составных частей комплекта на длительное хранение, о консервации и расконсервации записать в соответствующие разделы паспорта.

Для подготовки комплекта к работе после длительного хранения необходимо:

- очистить составные части комплекта от пыли и грязи;
- расконсервировать комплект согласно ТУ;
- выполнить работы в объеме полного технического обслуживания комплекта, при использовании по назначению, в соответствии с ТУ.
- Сделать запись в соответствующем разделе паспорта о расконсервации и снятии комплекта с хранения.

Консервацию комплекта проводить в следующем порядке:

- проверить, отсутствие дефектов на составных частях комплекта, подлежащих консервации (коррозионных повреждений металла, механических повреждений металла, повреждений лакокрасочных и других постоянных покрытий);
- подготовить составные части комплекта к консервации в соответствии с ТУ;
- законсервировать металлические и неметаллические составные части комплекта.

Подготовку поверхностей к консервации проводить в следующем порядке:

- очистить от пыли и грязи и смазочных материалов в соответствии с ТУ;
- удалить продукты коррозии с неокрашенных и окрашенных поверхностей в соответствии с ТУ.
- тщательно очистить составные части комплекта от пыли, грязи и смазки, при этом грубо обработанные (неполированные) поверхности промыть растворителем Нефрас-С или протереть ветошью, смоченной растворителем Нефрас-С, до полного удаления смазки, затем протереть сухой чистой ветошью.

Очищать поверхности составных частей комплекта от продуктов коррозии следующим образом:

- с грубо обработанных поверхностей, продукты коррозии удалить крупнозернистой шкуркой и металлической щеткой (перед зачисткой пораженные места смочить растворителем Нефрас-С);

- с хорошо обработанных поверхностей продукты коррозии удалить порошком мела и пемзы, смоченных растворителем Нефрас-С, затем протереть чистой ветошью;

- с поверхностей из цветных металлов продукты коррозии удалить мелким порошком пемзы с помощью ветоши, смоченной растворителем Нефрас-С;

- с окрашенных поверхностей продукты коррозии удалить вместе с краской шкуркой, металлической щеткой или пемзой.

Составные части комплекта после удаления продуктов коррозии обезжирить ветошью, смоченной растворителем Нефрас-С, и просушить на воздухе в течение 20-30 минут.

Подкрасить поверхности с нарушением лакокрасочного покрытия в соответствии с ТУ.

Поверхности, подготовленные к консервации, не допускается трогать руками без резиновых перчаток.

Покрывать консервационной смазкой все неокрашенные металлические поверхности.

Запрещается покрывать смазкой:

- поверхности с лакокрасочными покрытиями;
- резиновые и прорезиненные составные части.

Консервационную смазку наносить на поверхности деревянными лопатками, кистями, волосяными щетками, чистой ветошью или руками в чистых резиновых перчатках. Для каждой смазки должны быть отдельные лопатки, кисти и щетки.

Смазочные материалы наносить равномерным сплошным слоем, без разрывов, трещин, пропусков и пузырьков. При нанесении консистентных смазок на открытые поверхности слой должен быть равномерным по толщине и не должен содержать заметных на глаз инородных включений.

Работы по консервации (от подготовки поверхностей до консервации) должны составлять единый и непрерывный процесс.

Промывать, очищать и сушить поверхности составных частей без длительного перерыва между отдельными операциями, а последнюю операцию заканчивать перед началом консервации. В случае вынужденного перерыва (более 2 ч) в работе перед нанесением консервационных материалов ранее обезжиренные поверхности вновь обезжирить и протереть насухо чистой ветошью.

Во избежание образования на поверхности металла под смазкой конденсата при консервации не допускать разности температур смазки и составных частей комплекта более 10 °С, для чего необходимо поместить консервируемые изделия и смазку за сутки до работы в помещение для консервации.

Резиновые составные части посыпать тальком и обернуть парафинированной бумагой.

Расконсервацию комплекта проводить в следующем порядке:

- снять бумагу с составных частей комплекта;
- удалить с поверхностей составных частей старую консервационную смазку, грязь, пыль, продукты коррозии и обезжирить поверхность;
- тщательно осмотреть составные части с целью выявления дефектов.

Старую консервационную смазку с металлических поверхностей снять деревянной лопаткой, промыть поверхности растворителем Нефрас-С до полного удаления смазки, затем протереть сухой чистой ветошью.

Составные части комплекта после удаления с них пыли, грязи, старой консервационной смазки и обезжиривания тщательно осмотреть и проверить, нет ли на них коррозии и дефектов.

Составные части комплекта, пораженные коррозией, очистить согласно ТУ.

Составные части комплекта после удаления продуктов коррозии обезжирить, протирая поверхности два-три раза ветошью, смоченной растворителем Нефрас-С. После обезжиривания составные части комплекта просушить на воздухе в течение 20-30 минут и протереть чистой сухой ветошью.

Подкрасить поверхности с нарушенным лакокрасочным покрытием в соответствии с ТУ.

Перечень расходных материалов, используемых при консервации и расконсервации комплекта, приведен в ТУ.

Сделать запись в соответствующем разделе паспорта о проведении расконсервации.

#### **1.4 Обоснование модернизации имеющегося места хранения**

В производственной практике существует проблема, связанная с необходимостью сборки стеллажей по секциям, что составляет значительную часть вспомогательного времени при нормировании операций. По рекомендации специалистов было предложено разработать модернизированное место хранения УРМ, представляющее собой неразборные стеллажи и включающее в свой состав подвижные опоры. Применение разрабатываемого стеллажа в перспективе должно позволить сократить временные затраты, а значит, повысить экономическую эффективность выполняемых работ.

По результатам выполнения первой главы дипломной работы были рассмотрены основные особенности мест хранения УРМ РН «Ангара-А5». Габаритные размеры и масса используемого стеллажа в дальнейшем выступает в качестве исходных данных для проработки конструкции модернизированного стеллажа. Описаны особенности эксплуатации стеллажей и обоснована идея модернизации имеющегося места хранения, которая заключается в том, чтобы разработать модернизированное место хранения УРМ, представляющее собой неразборные стеллажи и включающее в свой состав подвижные опоры, что позволит повысить экономическую эффективность выполняемых работ.

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СТЕЛЛАЖА

### 2.1 Описание и функционирование изделия

Проектируемый модернизированный стеллаж предназначен для хранения УРМ РН «Ангара». На этапе выполнения обзорно-теоретической части было принято решение сделать секции неразборными, но при этом обеспечить перемещение опор в осевом направлении относительно главной центральной оси УРМ. Помимо этого, автором предлагается использовать ГП для перемещения выдвижных площадок.

### 2.2 Выбор материала конструкции

В качестве материала для изготовления стеллажа выбираем сталь 3.

Свойства стали 3 представлены на рисунках 3-6 [3].

Химический состав в % материала Ст3сп ГОСТ 380 - 2005									
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.14 - 0.22	0.15 - 0.3	0.4 - 0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Рисунок 3 – Химические свойства стали 3 [3]

Механические свойства при T=20°C материала Ст3сп .								
Сортамент	Размер	Напр.	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	KCU	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Трубы, ГОСТ 8696-74			372	245	23			
Трубы, ГОСТ 10705-80			372	225	22			
Прокат, ГОСТ 535-2005			370-490	205-255	23-26			
Лист толстый, ГОСТ 14637-89			370-480	205-245	23-26			
Арматура, ГОСТ 5781-82			373	235	25			
Катанка, ГОСТ 30136-95			490-540			60		

Твердость Ст3сп ,	HB 10 <sup>-1</sup> = 131 МПа
-------------------	-------------------------------

Рисунок 4 – Механические свойства стали 3 [3]

Свариваемость:	трудносвариваемая.
Флокеночувствительность:	малочувствительна.
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна.

Рисунок 5 – Технологические свойства стали 3 [3]

Физические свойства материала Ст3сп .						
T	E 10 <sup>-5</sup>	α 10 <sup>6</sup>	λ	ρ	C	R 10 <sup>9</sup>
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)	Ом·м
20				7850		

Рисунок 6 – Физические свойства стали 3 [3]

### 2.3 Расчёт габаритных характеристик лестниц

В соответствии с ГОСТ Р 53254—2009, ширина лестниц должна быть не менее 0,9 м [4].

Таким образом, принимаем ширину лестниц, равной 900 мм.

В соответствии с ГОСТ Р 53254—2009, расстояние между перекладинами лестниц должно располагаться в диапазоне от 15 до 35 см [4].

Таким образом, для обеспечения эргономичности принято использовать расстояние между перекладинами, равное 350 мм.

Выполним расчёт диаметра перекладины лестницы [5].

В первом приближении принимаем, что сечение перекладины имеет форму сплошного круглого профиля. Его момент сопротивления можно рассчитать по формуле:

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр круглого профиля.

Примем массу рабочего с необходимым снаряжением  $m_p = 120$  кг.

Для расчётного случая примем, что вся нагрузка сосредоточена посередине перекладины лестницы. Тогда, зная ширину лестничного пролёта, можно воспользоваться формулой:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16m_p gL}{\pi\sigma}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 120 \cdot 9,81 \cdot 350}{\pi \cdot 260}} = 20,06 \text{ мм.} \quad (2)$$

Исходя из конструкторских соображений, принят диаметр перекладины лестницы, равный  $\varnothing 30$  мм.

#### **2.4 Расчёт габаритных характеристик перил**

Согласно ГОСТ 25772-83, высота перил должна составлять 0,9 м [6].

В соответствии с этим, высота перил принята равной 900 мм.

В качестве профиля для перил принято решение использовать тот же круглый профиль, что и для лестницы (см. пункт 2.2.3), таким образом, равный  $\varnothing 30$  мм.

Расстояние между крайними точками лестниц и перил принято равным 800 мм для обеспечения удобства перемещения с лестницы на секцию и обратно.

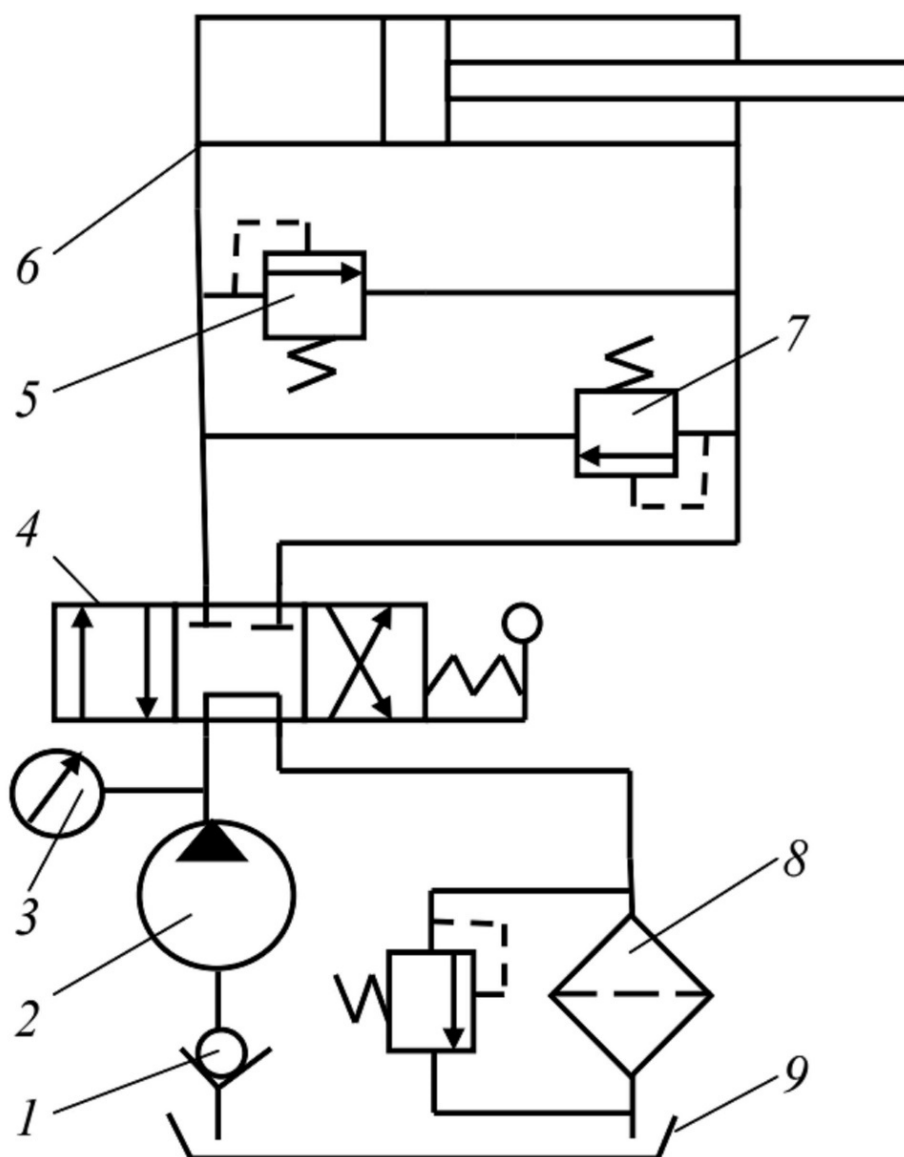
#### **2.5 Расчёт гидропривода**

Выполним расчёт гидропривода с возвратно-поступательным движением выходного звена [7]. Схема и обозначения всех элементов гидропривода представлены на рисунке 9.

Необходимо рассчитать требуемую мощность и подачу насосов; на основании гидравлических расчётов осуществить выбор насоса и его привода; выбрать гидроцилиндр, гидроаппаратуру и диаметр трубопроводов; осуществить выбор рабочей жидкости и стандартного оборудования.

Все исходные данные принимаются взятыми из технических условий на выбираемое оборудование.

Гидравлическая схема привода представлена на рисунке 7.



- 1 – Обратный клапан;
- 2 – Односторонний нерегулируемый гидронасос;
- 3 – Манометр;
- 4 – Четырехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель с ручным управлением и проточной разгрузкой насоса в нейтральной секции;
- 5 – Предохранительный клапан;
- 6 – Паршневой гидроцилиндр двустороннего действия с односторонним штоком;
- 7 – Предохранительный клапан;
- 8 – Фильтр, совмещенный с предохранительным клапаном;
- 9 – Гидробак

Рисунок 7 – Принципиальная схема гидропривода



### 2.5.1 Расчёт требуемой мощности и подачи насосов

Полезная мощность рассчитывается по формуле [7]:

$$N_u = Fv = 100000 \cdot 0,03 = 3000 \text{ Вт}. \quad (3)$$

Мощность насосной установки для гидроагрегата, имеющего в своём составе 1  $z_u = 1$  гидроцилиндр и  $z_m = 0$  гидромоторов рассчитывается по формуле [7]:

$$N_{ny} = k_{zy} k_{zc} (N_u z_u + N_m z_m), \quad (4)$$

где  $k_{zy} = 1,1 - 1,2$  – коэффициент запаса по усилию;

$k_{zc} = 1,1 - 1,3$  – коэффициент запаса по скорости.

Для режима работы, соответствующего разрабатываемому стеллажу, следует принять  $k_{zy} = 1,1$ ;  $k_{zc} = 1,1$ .

$$N_{ny} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot (3000 \cdot 1 + 0) = 3630 \text{ Вт}.$$

Необходимый расход рабочей жидкости в гидросистеме [7]

$$Q_{zn} = \frac{N_{ny}}{P_n} = \frac{3630}{10000000} = 21,78 \frac{\text{л}}{\text{мин}}. \quad (5)$$

Поскольку используемый гидропривод является однопоточным, то расчётная подача насоса  $Q_{np}$  равна расходу в гидросистеме [7]:

$$Q_{np} = Q_{zn} = 21,78 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Выберем нерегулируемый пластинчатый насос Г12-23А с параметрами:

$$q_n = 23,4 \frac{\text{см}^3}{\text{об}};$$

$$P_{nn} = 12,5 \text{ МПа};$$

$$P_{max} = 16,0 \text{ МПа};$$

$$n_n = 1450 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$N_H = 7,5 \text{ кВт};$$

$$\eta_n = 0,68;$$

$$\eta_{он} = 0,74.$$

Проверяем условие, при котором рабочий объём выбранного гидронасоса  $q_n$  должен превышать расчётный рабочий объём  $q_{np}$  [7]:

$$q_n = 23,4 \geq q_{np} = \frac{1000 Q_{np}}{n_n \eta_{он}} = \frac{1000 \cdot 21,78}{1450 \cdot 0,74} = 20,29 \frac{\text{см}^3}{\text{об}}, \quad (6)$$

где  $\eta_{он} = 0,74$  – объёмный КПД выбранного насоса;

$n_n = 1450 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$  – номинальная частота вращения вала насоса.

Условие выполняется.

### 2.5.2 Выбор насоса и его привода

Предварительная подача насоса рассчитывается по формуле [7]:

$$Q_{nn} = q_n n_n \eta_{он} \cdot 1000 = 23,4 \cdot 1450 \cdot 0,74 \cdot 1000 = 0,000419 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (7)$$

Проверяем условие, при котором максимальное давление, создаваемое насосом  $P_{nmax}$  и ограничиваемое предохранительным клапаном, не должно превышать допустимого максимального давления  $P_{max}$ , приведенного в его технической характеристике [7]:

$$P_{\max} = 16 \text{ МПа} \geq 1,2 P_{\text{нн}} = P_{\text{ннmax}} = 1,2 \cdot 12,5 = 15 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Расчетная мощность двигателя, необходимого для привода гидронасоса:

$$N_{\text{рдов}} = P_{\text{н}} Q_{\text{нн}} \varepsilon_{\text{н}} = 10000000 \cdot 0,000419 \cdot 0,68 = 6,16 \text{ кВт}, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_{\text{н}} = 0,68$  – полный КПД выбранного насоса.

Выбираем асинхронный электродвигатель серии 4А с синхронной частотой вращения ротора  $n_{\text{с}} \approx n_{\text{н}} = 1500$  об/мин и мощностью  $N_{\text{дов}} \geq N_{\text{рдов}}$ . Это двигатель 4А132S4У3 мощностью  $N_{\text{дов}} = 7,5$  кВт и номинальной частотой вращения вала  $n_{\text{дов}} = 1455$  об/мин. Действительная (фактическая) подача насоса

$$Q_{\text{н}} = q_{\text{н}} n_{\text{дов}} \eta_{\text{он}} 1000 = 23,4 \cdot 1455 \cdot 0,74 \cdot 1000 = 0,00042 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (9)$$

Мощность двигателя, необходимая для привода гидронасоса с учетом действительной подачи [7]:

$$N_{\text{дов}} = P_{\text{н}} Q_{\text{н}} \eta_{\text{н}} = 10000000 \cdot 0,00042 \cdot 0,68 = 6176,47 \text{ Вт} \approx 6,18 \text{ кВт}. \quad (10)$$

### 2.5.3 Выбор гидроцилиндра

Расчетная активная площадь поршня гидроцилиндра, необходимая для совершения работы [7]:

$$S_{\text{пн}} = k_{\text{зп}} k_{\text{зс}} F P_{\text{н}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 100000 \cdot 10000000 = 0,0121 \text{ м}^2. \quad (11)$$

Предварительный диаметр цилиндра при подаче рабочей жидкости в поршневую полость [7]:

$$D_{нц} = 4S_{pn} \pi = 4 \cdot 0,0121 \cdot 3,14 = 0,124 \text{ м.} \quad (12)$$

Поскольку номинальное давление в системе  $P_n = 10$  МПа, то можно принять рекомендуемое соотношение диаметра цилиндра и штока  $\varphi = d/D = 0,5$ .

Выбираем гидроцилиндр с диаметром  $D = 125 \text{ мм}$  ( $D \geq D_{нц}$ ), диаметром штока  $d = 60 \text{ мм}$ , ходом штока  $L = 250 \text{ мм}$  и активной площадью поршня [7]

$$S_n = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 0,0123 \text{ м}^2. \quad (13)$$

Расчетная скорость поршня в гидроцилиндре при действительной подаче насоса [7]:

$$Q_n = 0,000420 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

$$v_p = Q_n S_n k_{зс} = 0,00042 \cdot 0,0123 \cdot 1,1 = 0,031 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (14)$$

Относительное отклонение расчетной и заданной скорости движения поршня [7]:

$$\delta = 0,03\%$$

Полученная величина менее 15 %, поэтому условие задания выполняется.

Расчетное усилие на штоке гидроцилиндра при давлении в гидросистеме

$$P_n = 10 \text{ МПа};$$

$$F_p = P_n S_n k_{зз} = 10000000 \cdot 0,0123 \cdot 1,1 = 111818,18 \text{ Н.} \quad (15)$$

Относительное отклонение расчетного и заданного усилия на штоке гидроцилиндра [7]:

$$\delta_F = \left| \frac{F - F_p}{F} \right| \cdot 100 \% = \left| \frac{100000 - 111818,18}{100000} \right| \cdot 100 \% = 11,82 \%. \quad (16)$$

Полученная величина менее 15 %, поэтому условие задания выполняется.

#### **2.5.4 Выбор оборудования и материалов**

Выбранное стандартное оборудование и материалы представлены в таблице 1.

Элементы гидропривода на сборочных чертежах условно не отображены во избежание перегруженности разрабатываемой технической документации и могут быть проработаны на дальнейших этапах разработки модернизированного стеллажа [7].

Питание гидропривода осуществляется от трёхфазной сети с напряжением 220 / 380 В. При наличии существующей гидросистемы на местах хранения возможна адаптация разрабатываемого стеллажа под её технические характеристики [7].

№ п/п	Наименование оборудования, материалов	Кол-во (шт.)	Краткая техническая характеристика оборудования, материалов
1	Гидравлический насос Г 12-23А	1	$q_n = 23,4 \text{ см}^3/\text{об}$ ; $P_{\text{нн}} = 12,5 \text{ МПа}$ ; $P_{\text{max}} = 16,0 \text{ МПа}$ ; $n_n = 1\,450 \text{ об/мин}$ ; $N_n = 7,5 \text{ кВт}$ ; $\eta_n = 0,68$ ; $\eta_{\text{он}} = 0,74$
2	Гидроцилиндр одноштоковый двухстороннего действия	1	$D = 125 \text{ мм}$ ; $d = 60 \text{ мм}$ ; $L = 250 \text{ мм}$
3	Электродвигатель 4А132S4У3	1	$N_{\text{пдв}} = 7,5 \text{ кВт}$ ; $n_{\text{дв}} = 1\,455 \text{ об/мин}$
4	Гидравлический распределитель золотникового типа ВММ 16.64	1	$D_y = 16 \text{ мм}$ ; $P_{\text{max}} = 25 \text{ МПа}$ ; $Q_{\text{max}} = 80 \text{ л/мин}$ ; $\Delta Q_p = 0,35 \text{ л/мин}$ ; $\Delta P$ при $Q_{\text{max}} = 0,23 \text{ МПа}$ ; $m = 7,3 \text{ кг}$
5	Предохранительный клапан КПЕ-16	2	$Q_n = 40 \text{ л/мин}$ ; $Q_{\text{min}} = 8 \text{ л/мин}$ ; $P_n = 32 \text{ МПа}$ ; $P_{\text{min}} = 5 \text{ МПа}$ ; $\Delta Q_{\text{пк}} = 0,4 \text{ л/мин}$
6	Обратный клапан КО-12	1	$Q_n = 32 \text{ л/мин}$ ; $P_n = 32 \text{ МПа}$ ; $\Delta P = 0,25 \text{ МПа}$ ; $\Delta Q_{\text{ок}} = 0,3 \text{ л/мин}$
7	Фильтр тонкой очистки ОМТФ091С25НА	1	Тонкость очистки $0,025 \text{ мм}$ ; $D_y = 16 \text{ мм}$ ; $Q_n = 40 \text{ л/мин}$ ; $\Delta P = 0,1 \text{ МПа}$
8	Рабочая жидкость – масло гидравлическое МГ-32А	1	$\nu = 32 \text{ сСт} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; $\rho_{\text{ж}} = 900 \text{ кг/м}^3$ ; $V_{\text{м}} = 37,79 \text{ л}$

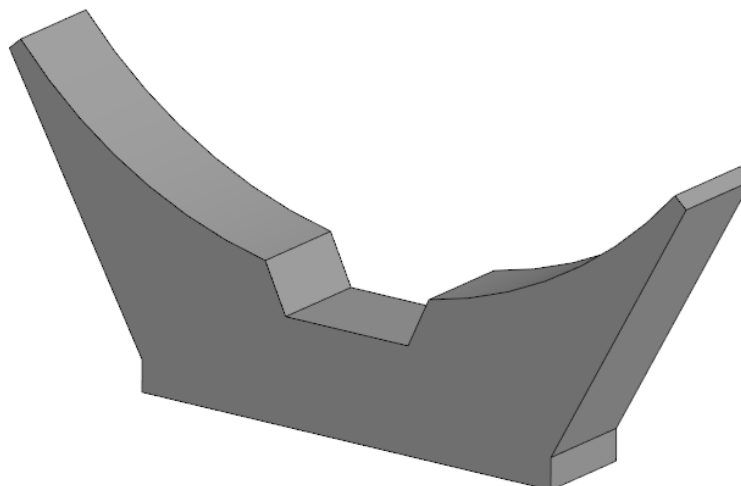
Рисунок 8 – Выбранное стандартное оборудование и материалы

## 2.6 Разработка твердотельных моделей стеллажа

По результатам выполнения курсового проекта был разработан проектный облик модернизируемых мест хранения с использованием программного пакета Компас-3D. Также для каждой модели был выполнен расчёт массовых, центровочных и инерционных характеристик.

Для обеспечения устойчивости к опрокидыванию в состав стеллажа также входит противовес общей массой 40 тонн, устанавливаемый соответственно впереди и позади мест хранения.

На рисунке 9 представлена твердотельная модель опоры и её характеристики.



Масса	M = 250.000 кг
Материал тел	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Плотность материала тел	Ro = 7810.000 кг/м3

Расчетные параметры (тела и компоненты)

Площадь	S = 3.508 м2
Объем	V = 0.251 м3
Центр масс	Xc = 0.150 м
	Yc = 0.000 м
	Zc = -1.563 м

Моменты инерции при заданной массе

В абсолютной системе координат:

Осевые моменты инерции	Jx = 704.448 кг*м2
	Jy = 629.010 кг*м2
	Jz = 90.438 кг*м2
Центробежные моменты инерции	Jxy = 0.000 кг*м2
	Jxz = -58.611 кг*м2
	Jyz = -0.000 кг*м2

В центральной системе координат:

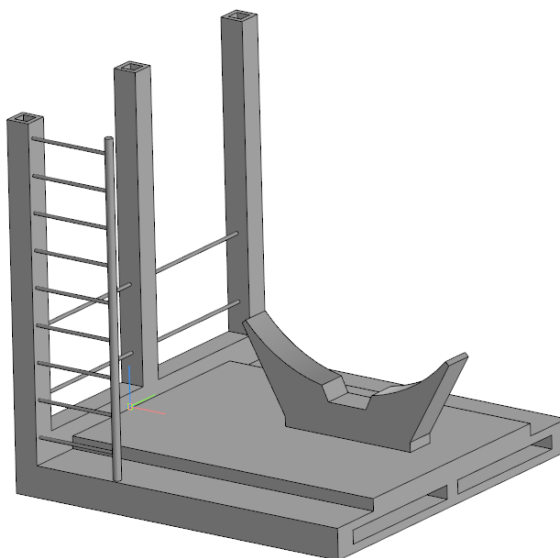
Осевые моменты инерции	Jx = 93.728 кг*м2
	Jy = 12.664 кг*м2
	Jz = 84.813 кг*м2
Центробежные моменты инерции	Jxy = -0.000 кг*м2
	Jxz = -0.000 кг*м2
	Jyz = -0.000 кг*м2

В главной центральной системе координат:

J1 = 93.728 кг*м2
J2 = 84.813 кг*м2
J3 = 12.664 кг*м2

Рисунок 9 – Твёрдотельная модель опоры и её характеристики [8]

На рисунке 10 представлена твердотельная модель секции и её характеристики. Каждая секция включает в себя основание с рельсовыми направляющими, опору, лестницу, перила и стойки.

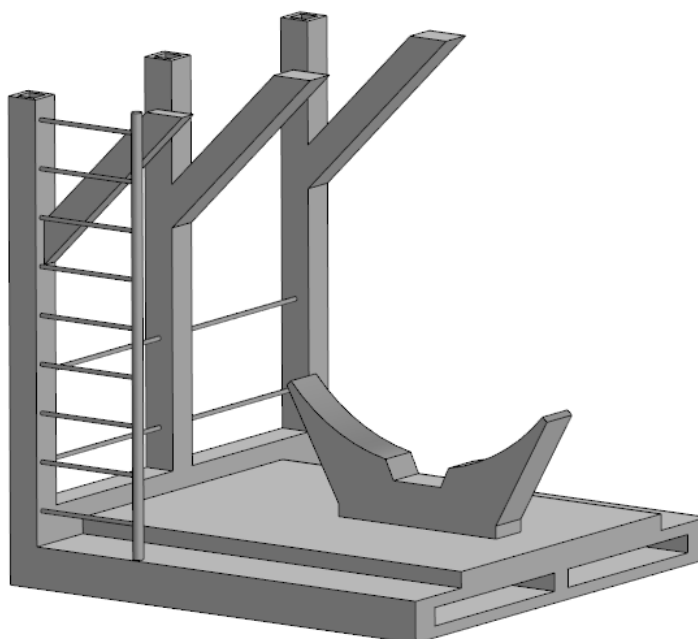


Масса	$M = 1000.000 \text{ кг}$
Площадь	$S = 71790431.484 \text{ мм}^2$
Объем	$V = 4049386867.629 \text{ мм}^3$
Центр масс	$X_c = 1760.359 \text{ мм}$
	$Y_c = 30.698 \text{ мм}$
	$Z_c = 171.220 \text{ мм}$
Моменты инерции	
В абсолютной системе координат:	
Осевые моменты инерции	$J_x = 1099769725.602 \text{ кг*мм}^2$
	$J_y = 4507305028.414 \text{ кг*мм}^2$
	$J_z = 4964536557.964 \text{ кг*мм}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = 82419471.279 \text{ кг*мм}^2$
	$J_{xz} = 177484656.339 \text{ кг*мм}^2$
	$J_{yz} = 5464250.564 \text{ кг*мм}^2$
В центральной системе координат:	
Осевые моменты инерции	$J_x = 1069511006.730 \text{ кг*мм}^2$
	$J_y = 1379123374.797 \text{ кг*мм}^2$
	$J_z = 1864728835.970 \text{ кг*мм}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = 28379199.910 \text{ кг*мм}^2$
	$J_{xz} = -123924274.955 \text{ кг*мм}^2$
	$J_{yz} = 208062.020 \text{ кг*мм}^2$
В главной центральной системе координат:	
	$J_1 = 1883633094.620 \text{ кг*мм}^2$
	$J_2 = 1381457579.833 \text{ кг*мм}^2$
	$J_3 = 1048272543.043 \text{ кг*мм}^2$

Рисунок 10 – Твердотельная модель секции верхней и её характеристики



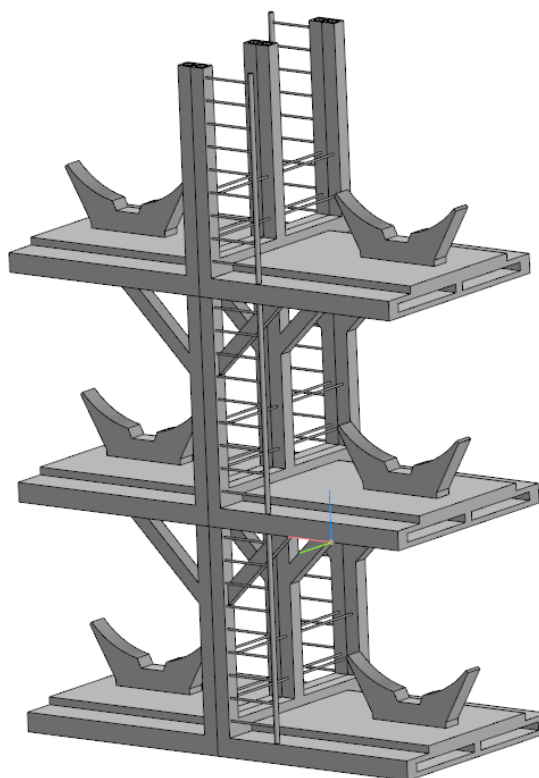
На рисунке 11 представлена твердотельная модель секции и её МЦХ.



Масса	$M = 1105.000 \text{ кг}$
Площадь	$S = 75.248 \text{ м}^2$
Объем	$V = 4.259 \text{ м}^3$
Центр масс	$X_c = 0.085 \text{ м}$
	$Y_c = 0.003 \text{ м}$
	$Z_c = -1.617 \text{ м}$
Моменты инерции	
В абсолютной системе координат:	
Осевые моменты инерции	$J_x = 4375.137 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_y = 4688.158 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_z = 2126.257 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = -8.027 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{xz} = -394.472 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{yz} = 14.624 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
В центральной системе координат:	
Осевые моменты инерции	$J_x = 1485.772 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_y = 1790.772 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_z = 2118.221 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = -8.265 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{xz} = -242.161 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{yz} = 19.146 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
В главной центральной системе координат:	
	$J_1 = 2200.877 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_2 = 1790.691 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_3 = 1403.196 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Рисунок 11 – Твердотельная модель стандартной секции и её характеристики [8]

На рисунке 12 представлена твердотельная модель стеллажа и её МЦХ.



Масса	$M = 6420.000 \text{ кг}$
Площадь	$S = 444.574 \text{ м}^2$
Объем	$V = 25.137 \text{ м}^3$
Центр масс	$X_c = -1.621 \text{ м}$
	$Y_c = 3.391 \text{ м}$
	$Z_c = 1.910 \text{ м}$

Моменты инерции

В абсолютной системе координат:

Осевые моменты инерции	$J_x = 155457.934 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_y = 119424.201 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_z = 121978.843 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = -35148.859 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{xz} = -19883.169 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{yz} = 41581.950 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

В центральной системе координат:

Осевые моменты инерции	$J_x = 58213.380 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_y = 79123.254 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_z = 31276.816 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Центробежные моменты инерции	$J_{xy} = 150.869 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{xz} = -0.000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_{yz} = -0.000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

В главной центральной системе координат:

	$J_1 = 79124.342 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_2 = 58212.292 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$J_3 = 31276.816 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Рисунок 12– Твердотельная модель стеллажа и её характеристики [8]

## 2.7 Порядок действий при эксплуатации стеллажа

Эксплуатация стеллажа должна выполняться в соответствии с порядком действий в соответствии со схемой на рисунках 13-18 [9-10].

1. Выдвинуть гидроприводом нижнюю правую секцию.
2. Разместить краном УРМ на опору.
3. Отцепить стропы крана.
4. Задвинуть гидроприводом секцию в исходную позицию.

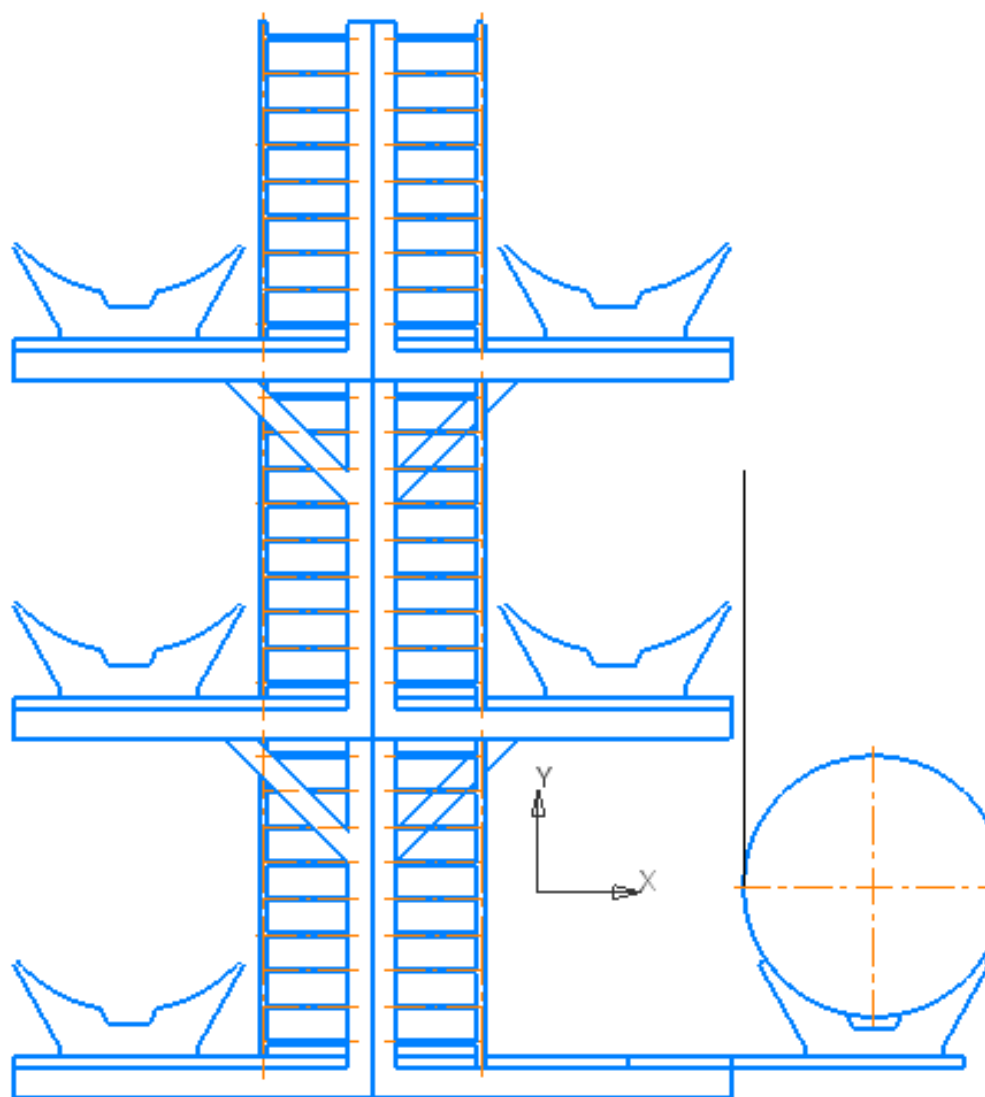


Рисунок 13 – Операция 005

1. Выдвинуть гидроприводом нижнюю левую секцию.
2. Разместить краном УРМ на опору.
3. Отцепить стропы крана.
4. Задвинуть гидроприводом секцию в исходную позицию.

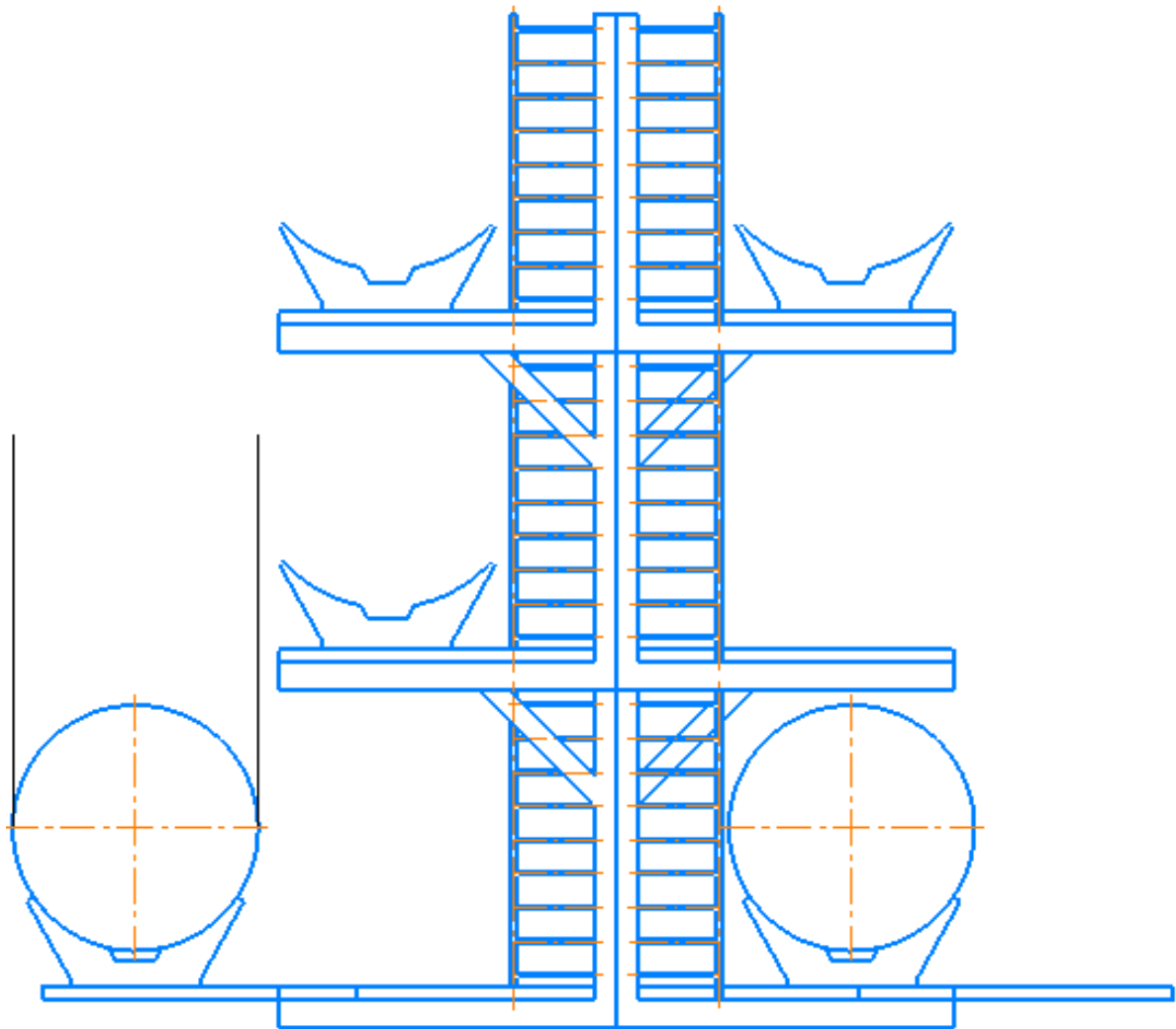


Рисунок 14 – Операция 010

1. Выдвинуть гидроприводом среднюю левую секцию.
2. Разместить краном УРМ на опору.
3. Отцепить стропы крана.
4. Задвинуть гидроприводом секцию в исходную позицию.

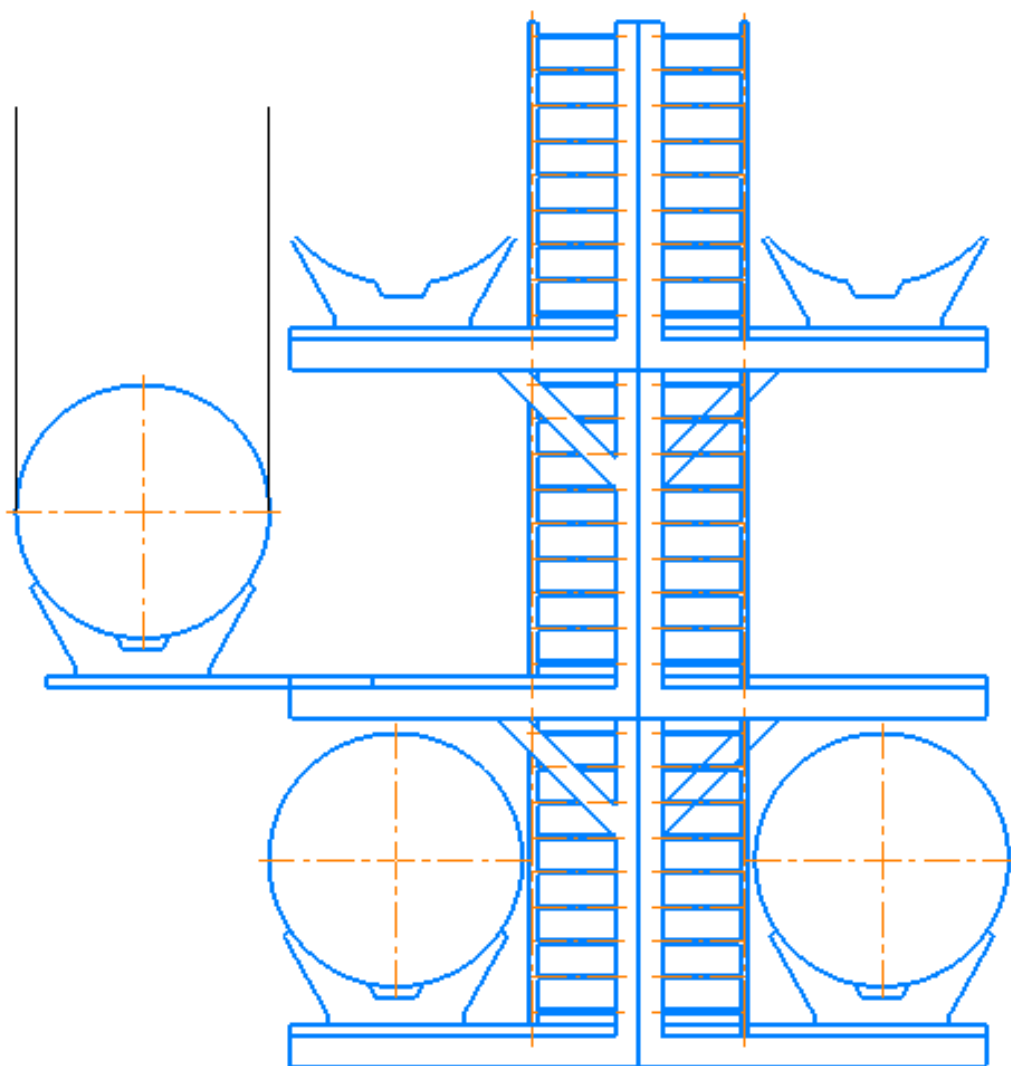


Рисунок 15 – Операция 015

1. Выдвинуть гидроприводом среднюю правую секцию.
2. Разместить краном УРМ на опору.
3. Отцепить стропы крана.
4. Задвинуть гидроприводом секцию в исходную позицию.

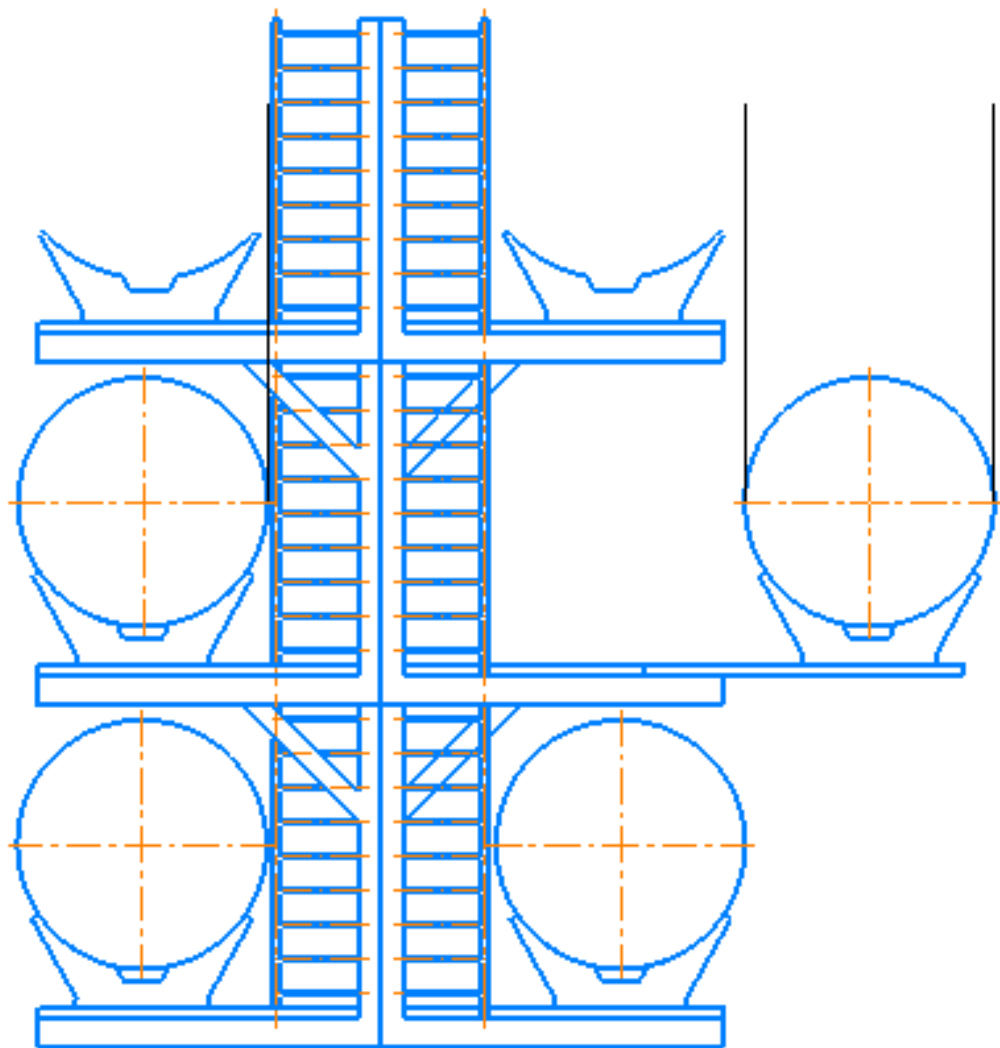


Рисунок 16 – Операция 020

1. Разместить краном УРМ на верхнюю левую опору.
2. Отцепить стропы крана.

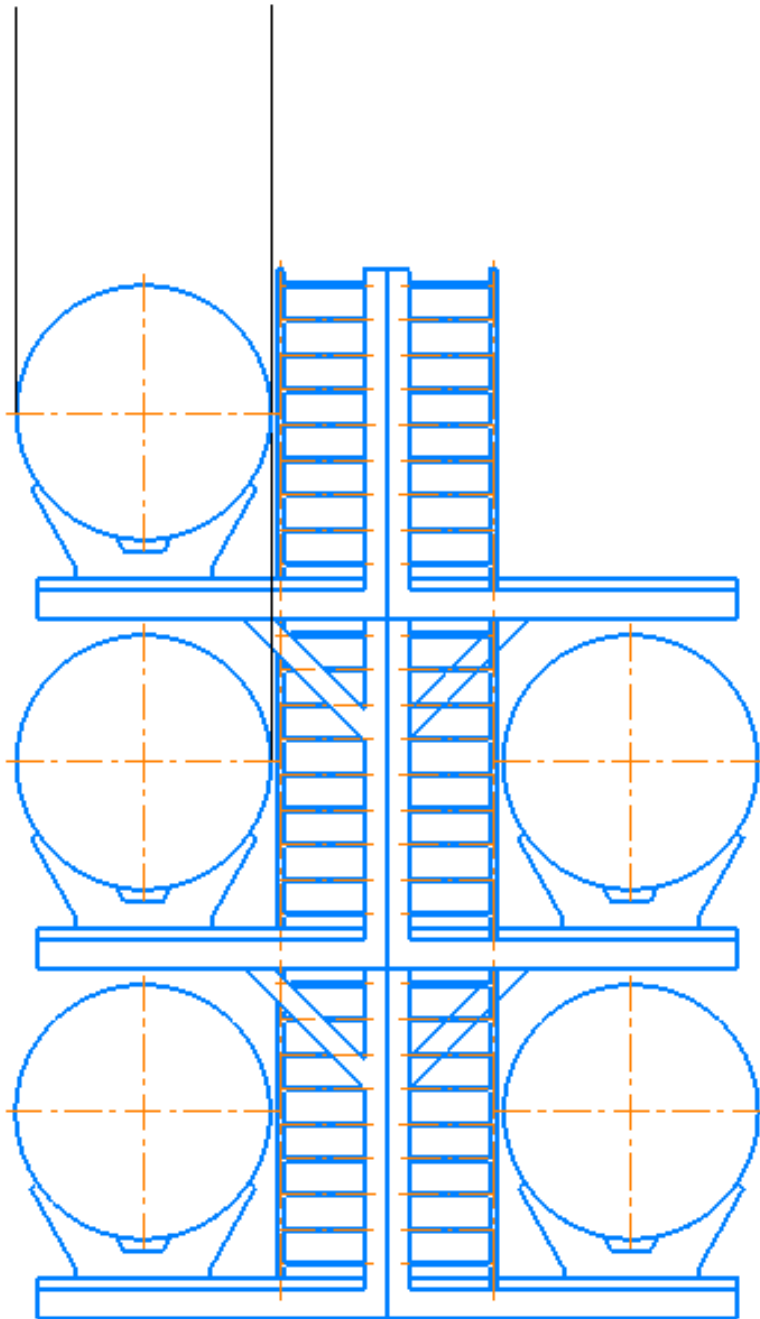


Рисунок 17 – Операция 025

1. Разместить краном УРМ на верхнюю правую опору.
2. Отцепить стропы крана

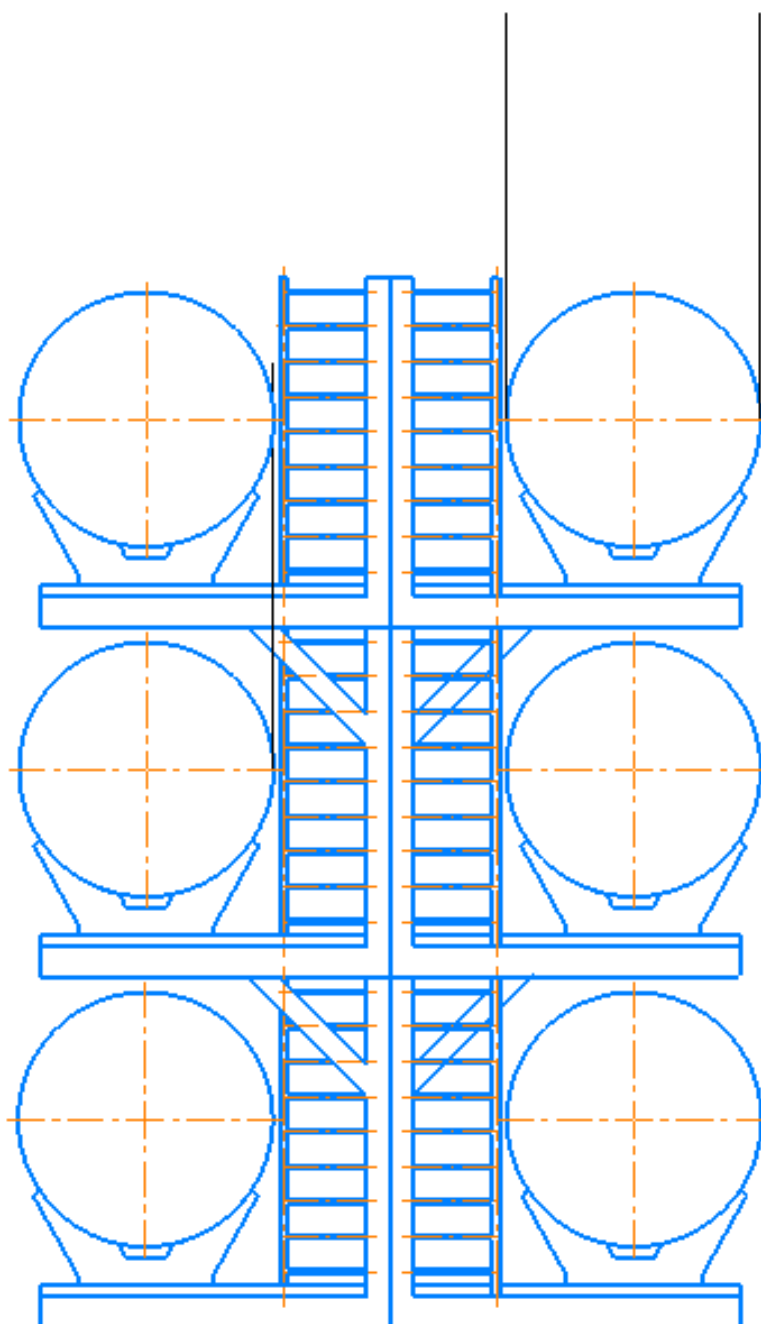


Рисунок 18 – Операция 030



По результатам выполнения второй, проектно-конструкторской главы дипломной работы был сформирован проектный облик модернизированного стеллажа. Прежде всего, произведён выбор материала всей конструкции стеллажа, которым выступает конструкционная сталь 3, позволяющая обеспечить требуемые механические и технологические характеристики. Были рассчитаны основные габаритные размеры перил и лестниц на основании существующей нормативной документации с целью обеспечения эргономичности конструкции и безопасности при выполнении высотных работ.

Из условия прочности определены основные размеры опоры под размещение УРМ. Выполнен проектный расчёт ГП, в рамках которого потребовалось рассчитать требуемую мощность и подачу насосов; на основании гидравлических расчётов осуществить выбор насоса и его привода; выбрать гидроцилиндр, гидроаппаратуру и диаметр трубопроводов; осуществить выбор рабочей жидкости и стандартного оборудования.

Результаты показали, что выбранный гидропривод позволяет осуществлять перемещение элементов конструкции и может быть установлен в местах хранения УРМ на космодроме. Для обеспечения устойчивости к опрокидыванию в состав конструкции введены противовесы общей массой 40 тонн, что позволяет осуществлять установку и снятие УРМ без опасности опрокидывания конструкции и, вследствие этого, повреждения и разрушения других УРМ. С помощью ПО Компас-3D были разработаны твердотельные модели опоры, секции верхней, стандартной секции и общей сборки стеллажа. Также разработан процесс по укладке УРМ на стеллаж с иллюстрациями.

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕЛЛАЖА

### 3.1 Расчёт стеллажа на прочность методом конечных элементов

Выполним построение опоры при помощи Solidworks. Окончательный вид опоры представлен на рисунке 19 [11].

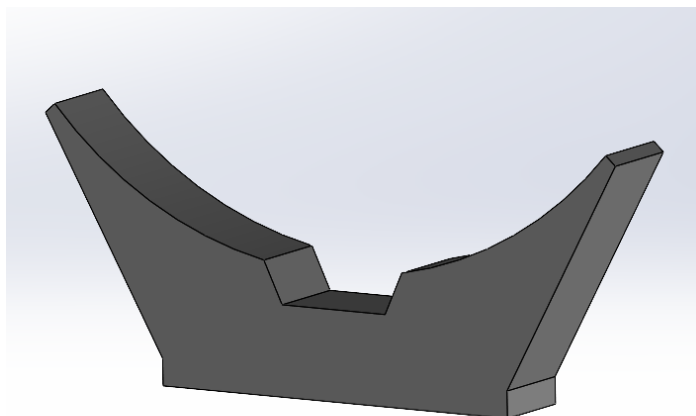


Рисунок 19 – Опора

Проведём расчёт ложементов на прочность. Воспользуемся дополнением «SolidWorks Simulation» и выберем вкладку «Новое исследование». Вкладка показана на рисунке 20.

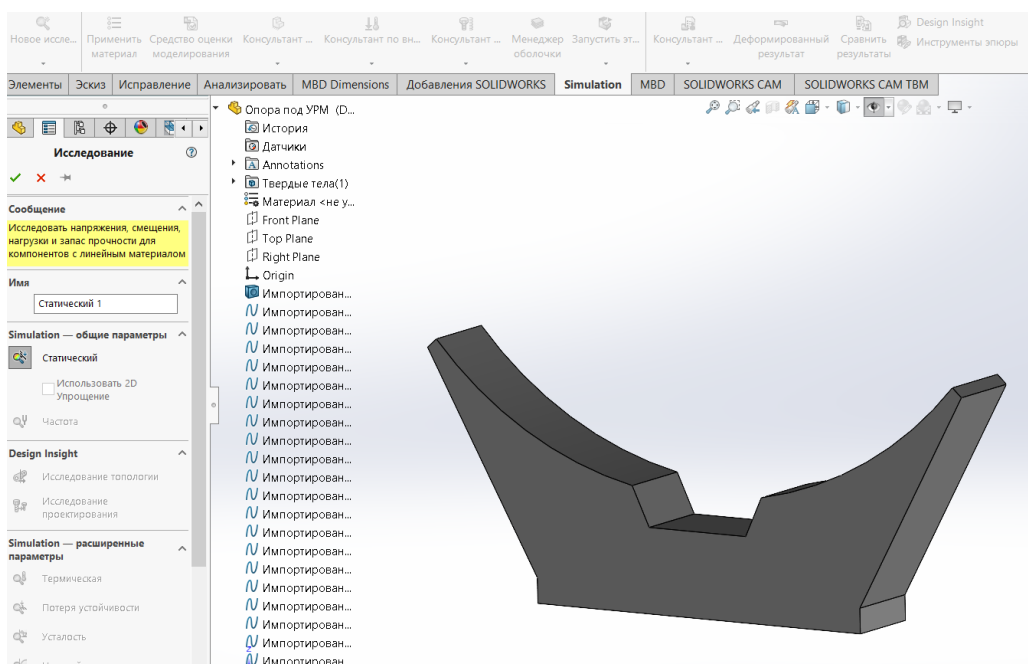


Рисунок 20 – Вкладка «Новое исследование»

Далее выбираем в появившемся окне функцию «Статический анализ».

Функция «Статический анализ» представлена на рисунке 21.

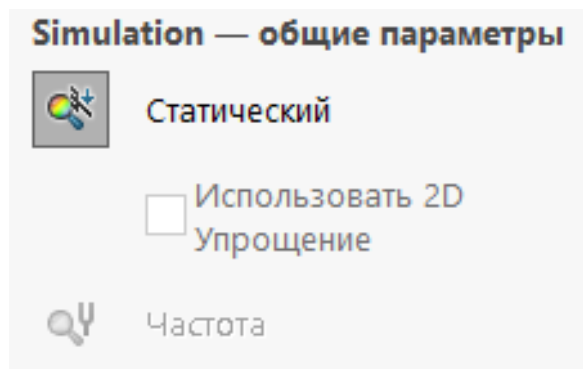


Рисунок 21 – Функция «Статический анализ»

Далее задаём опоре с ложементом материал, с помощью функции «Применить/редактировать материал». Функция «Применить/редактировать материал» представлена на рисунке 22 [11].

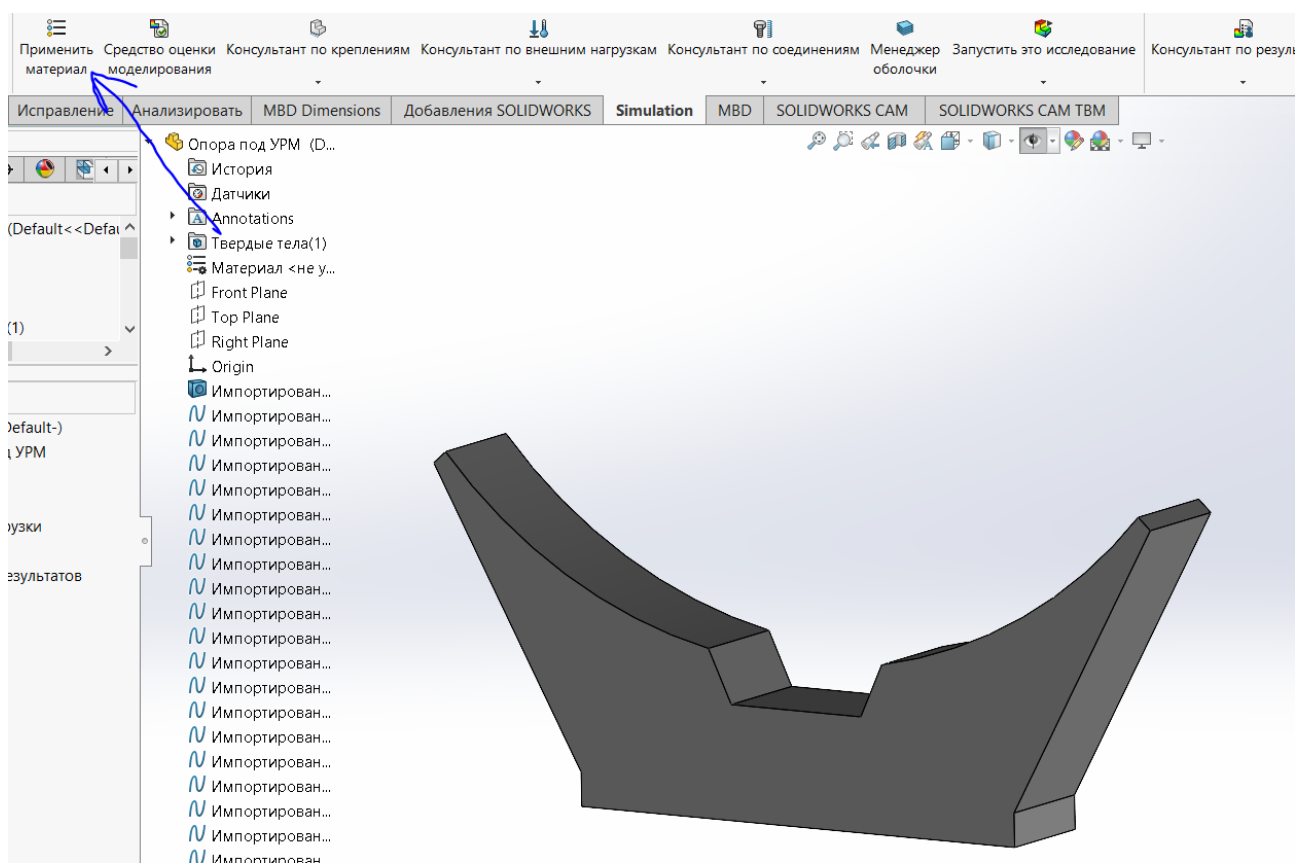


Рисунок 22 – Функция «Применить/редактировать материал»

После чего в представленном каталоге выбираем материал: Сталь 3. Каталог материалов представлен на рисунке 23.

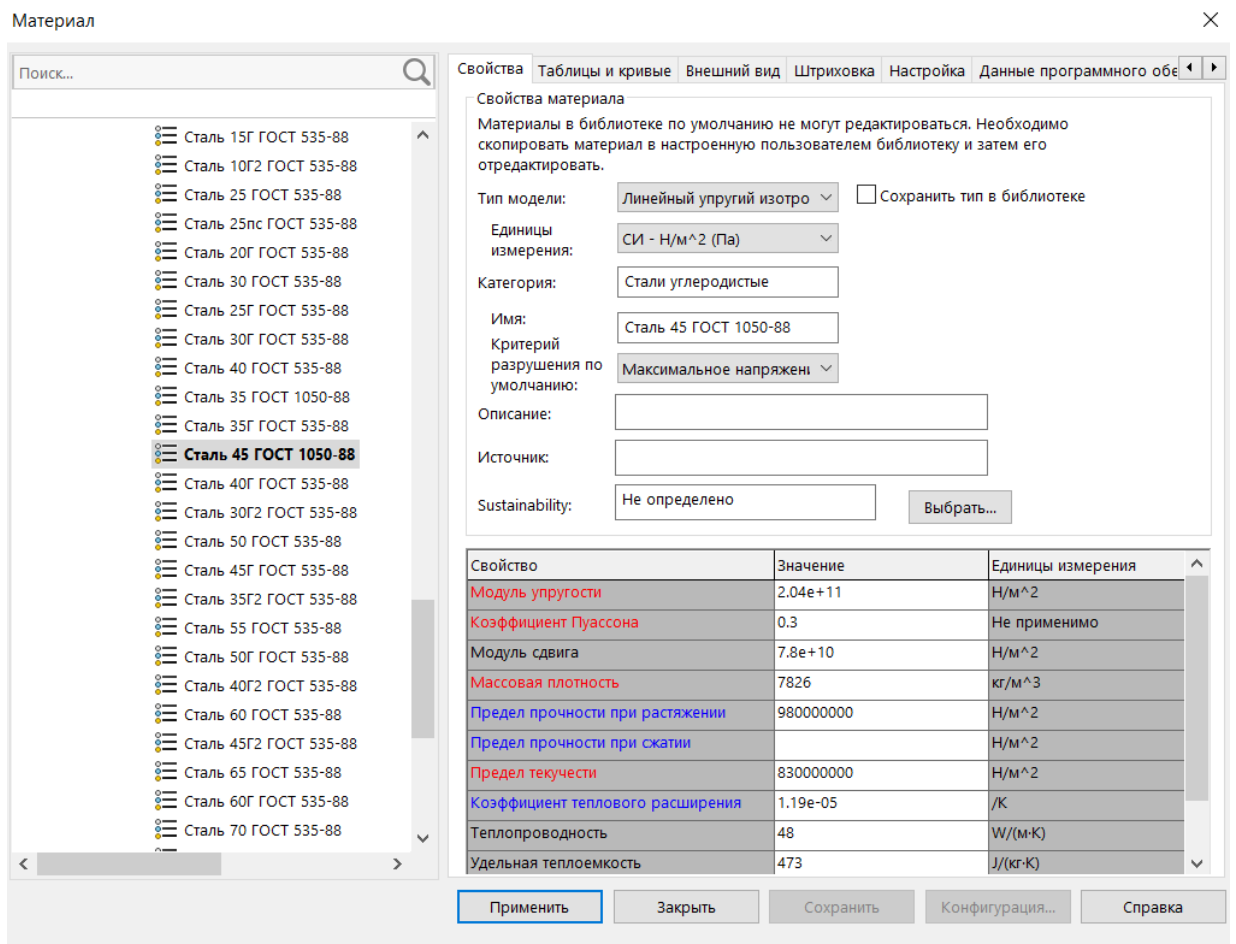


Рисунок 23 – Каталог материалов

После чего задаём закрепление для опоры с помощью функции «Зафиксированная геометрия». Функция «Зафиксированная геометрия» представлена на рисунке 24.

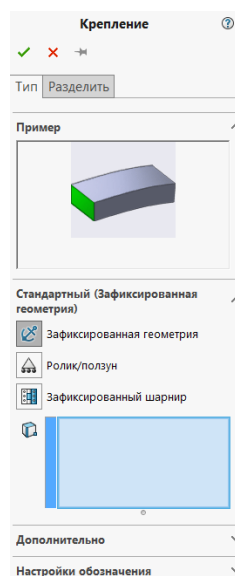


Рисунок 24 – Функция «Зафиксированная геометрия»

Задаём закрепление на нижней грани опоры так, как показано на рисунке 25 [11].

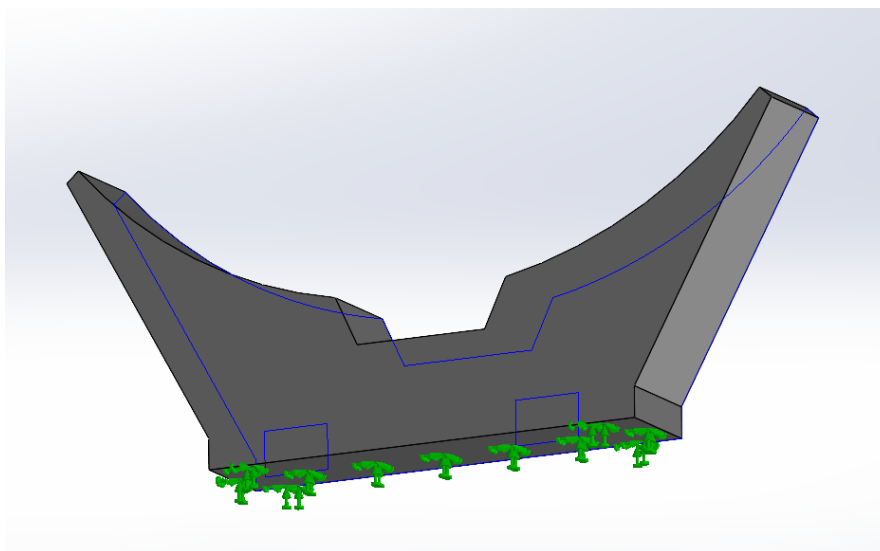


Рисунок 25 – Закрепление опоры

Далее задаём нагрузку с помощью функции «Сила», как показано на рисунке 26.

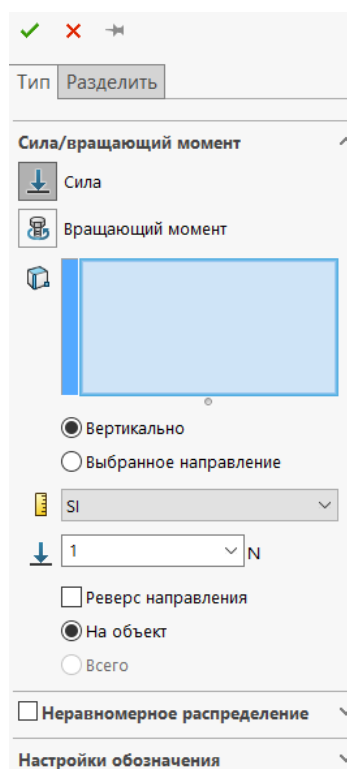


Рисунок 26 – Функция «Сила»

Далее задаём усилие, приходящее на опору, так, как показано на рисунке 27.

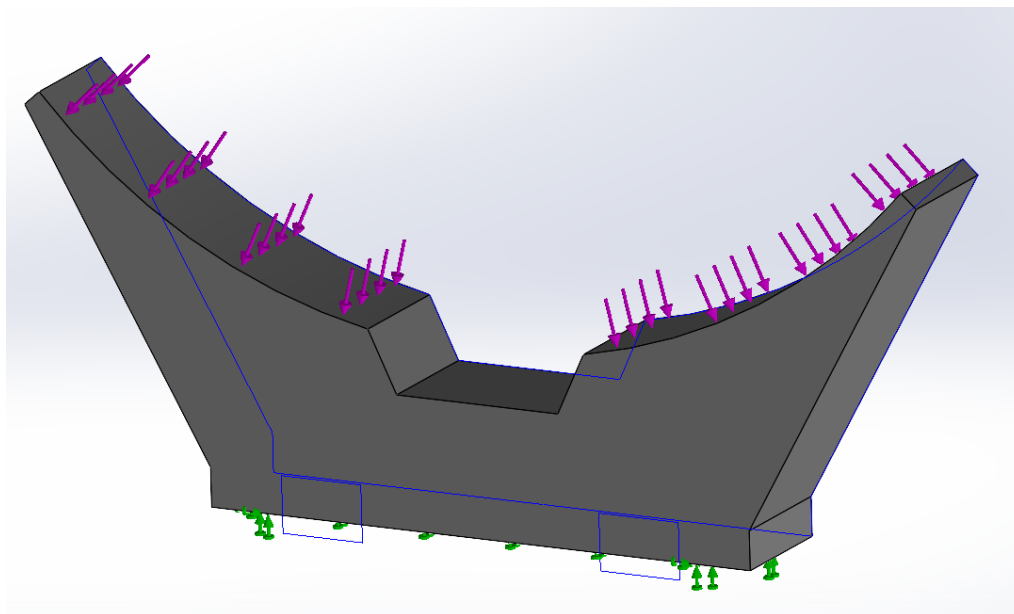


Рисунок 27 – Усилие от УРМ, приходящее на опору

После чего создаём сетку на поверхности ложементка с помощью функции «Создать сетку», как показано на рисунке 28 [11].

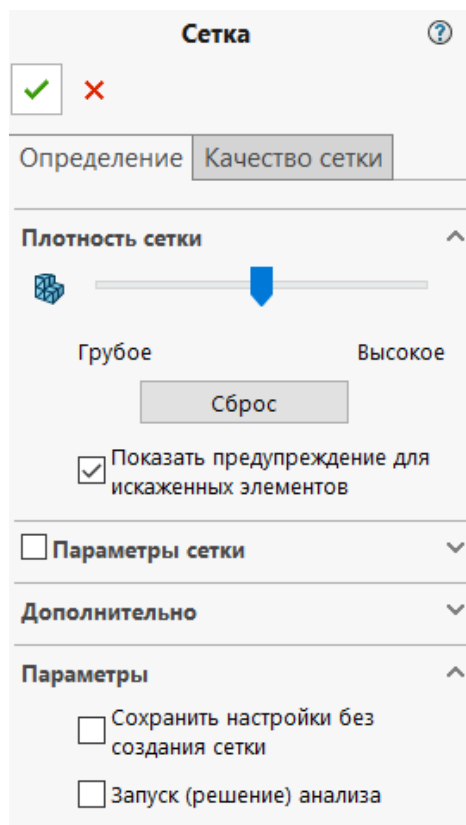


Рисунок 28 – Функция «Создать сетку»

В появившемся окне, выбираем значение параметра «Плотность сетки – высокая», как показано на рисунке 29.

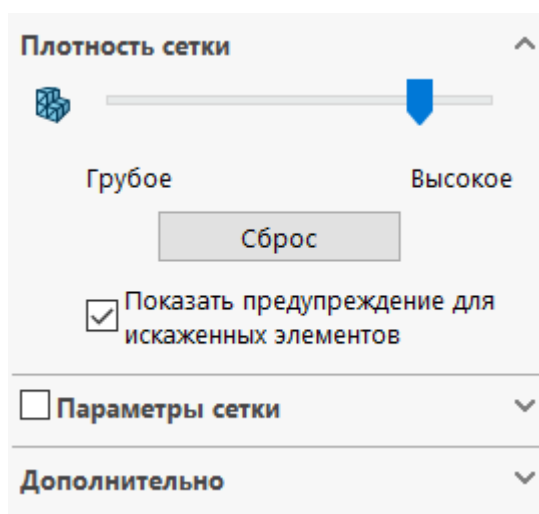


Рисунок 29 – Параметр «Плотность сетки»

После чего получаем разбиение матрицы на сетку, как показано на рисунке 30.

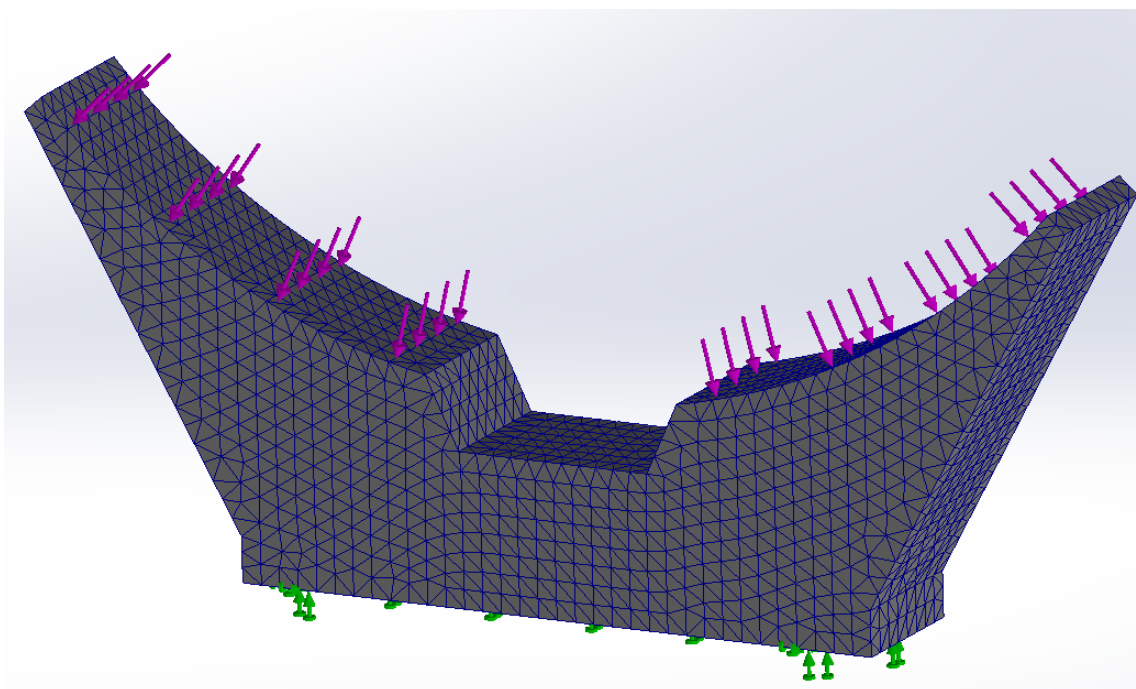


Рисунок 30 – Готовая сетка

Приступаем к исследованию с помощью функции «Запустить это исследование», как показано на рисунке 31 [11].

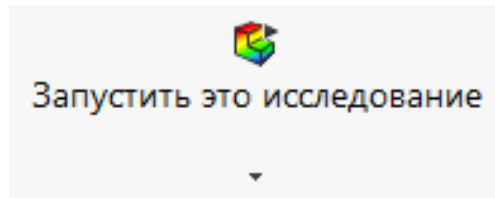


Рисунок 31 – Функция «Запустить это исследование»

После завершения исследования получаем результаты, в которых видим, что максимальные напряжения в ложементе составляют  $\sigma = 9,71$  МПа (рисунок 32).

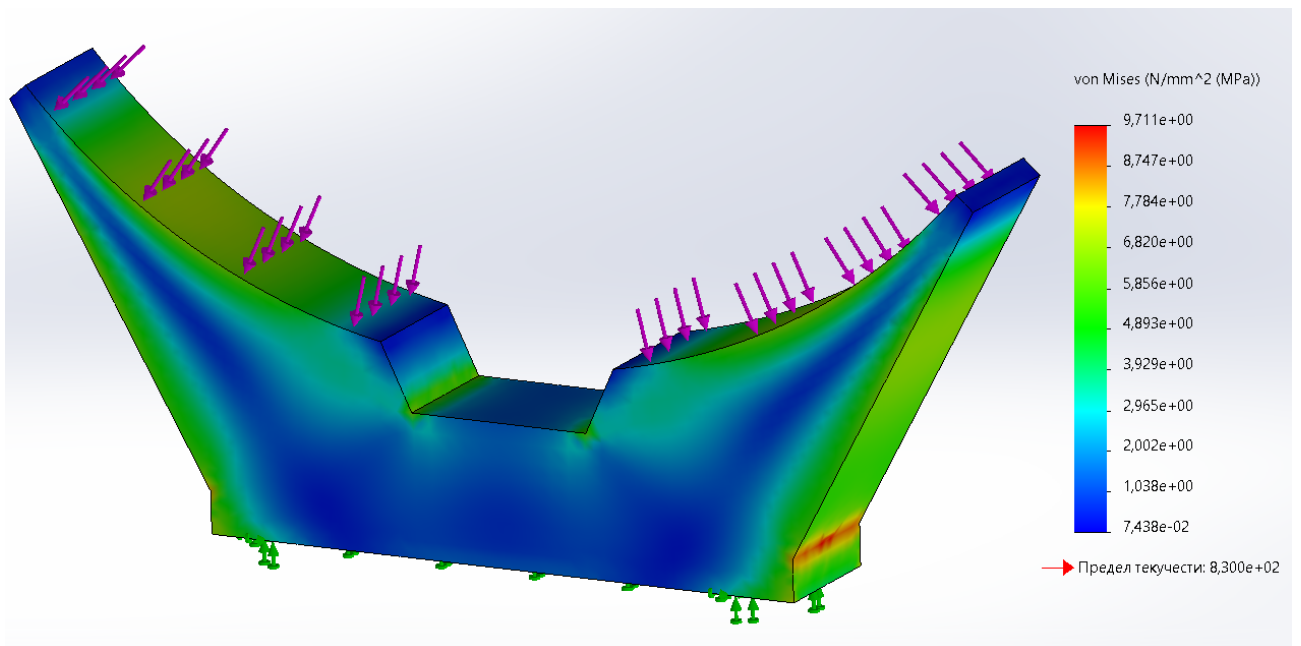


Рисунок 32 – Результаты исследования

Определим коэффициент запаса прочности ложемента с помощью функции «Отобразить эпюру проверки запаса прочности», как показано на рисунке 33 [11].



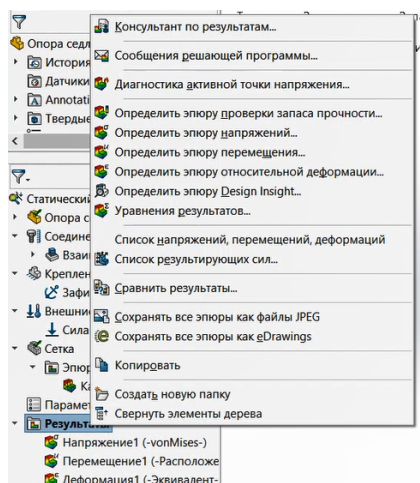


Рисунок 33 – Функция «Определить эпюру коэффициента проверки запаса прочности»

По полученным результатам видим, что коэффициент запаса прочности для построенной опоры с ложементом, в наиболее опасных сечениях, составляет  $\eta = 85,47$ . Из чего делаем вывод, что опора выдержит нагрузку. Результаты расчёта коэффициента запаса прочности представлены на рисунке 34 [11].

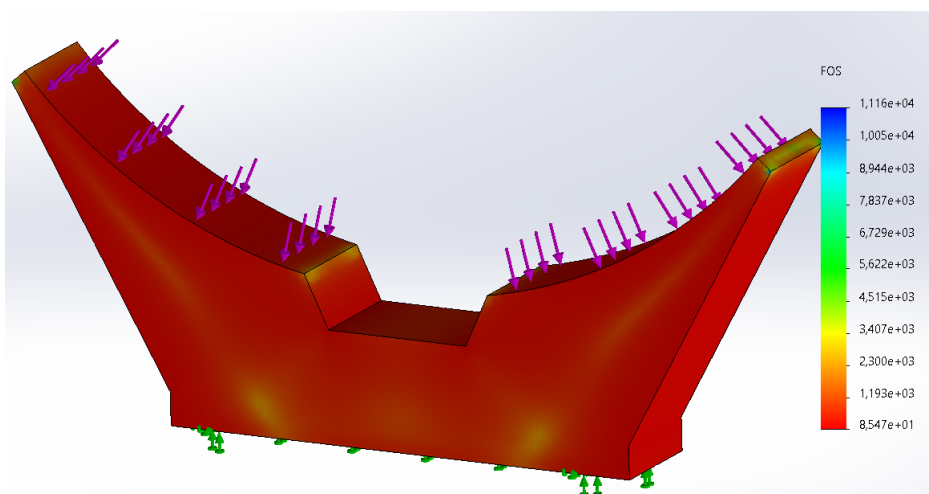


Рисунок 34 – Результаты определения коэффициента запаса прочности

### 3.2 Разработка технологического процесса сварки

Данный параграф посвящён разработке технологического процесса сварки стеллажа, включающий в себя расчёт режимов сварки на тавровое соединение элементов конструкции секции. Рассмотрены такие типы сварки, как РДС (ручная дуговая сварка), сварка под флюсом и аргонодуговая сварка. Поскольку

предполагается, что изделие изготавливается в условиях единичного производства, окончательного выбора в пользу того или иного способа сварки не делается и должно быть осуществлено впоследствии главным сварщиком предприятия на основании технических возможностей предприятия [12-16].

### 3.2.1 Расчёт режимов ручной дуговой сварки

Диаметр электрода. При выборе диаметра электрода для сварки можно использовать следующие ориентировочные данные таблицы 1.

Таблица 1 – Определение диаметра электрода

Толщина детали, мм	1-2	3	4-5	6-10	> 10
Диаметр электрода, мм	1,6-2,0	3,0	4,0	5,0	6,0 и более

Исходя из заданной толщины детали = 8 мм и данных таблицы 1, выбираю диаметр электрода равным 5 мм.

Сила свариваемого тока рассчитывается по формуле:

$$I_{св} = K \cdot d_{э}; \quad (17)$$

где  $K$  – коэффициент, определяемый из таблицы 2 в зависимости от диаметра электрода.

Таблица 2 – Определение коэффициента  $K$

$d_{э}$ , мм	1-2	3-4	5-6
$K$ , А/мм	25	30	45

Исходя из данных таблицы 2 принимается  $K = 45$ .

$$I_{св} = 45 \cdot 5 = 225 \text{ А.}$$

В соответствии с особенностями свариваемого материала полярность тока

обратная [12, 15].

Напряжение горения дуги пропорционально длине дуги:

$$U_A = \alpha + \beta \cdot l_A; \quad (18)$$

где  $\alpha, \beta$  – опытные коэффициенты;

$l_A$  – вылет электрода.

Для стальных электродов:

$$\alpha = 10 \text{ В};$$

$$\beta = 2 \frac{\text{В}}{\text{мм}}$$

$$l_A = 0,5 \cdot (d_s + 2) = 0,5 \cdot (5 + 2) = 3,5 \text{ мм}. \quad (19)$$

Количество проходов при сварке устанавливают в зависимости от толщины свариваемых кромок и вида сварного соединения (таблица 3).

Таблица 3 – Количество проходов при сварке тавровых соединений

Толщина металла, мм	2-8	10	12	14	16	18-20	22
Количество проходов, n	1	2	3	4	5	6	7

Исходя из данных таблицы, при толщине металла, равной 8 мм, принимаю количество проходов  $n = 1$ .

Для соединения Т1 (тавровое) площадь наплавки определяется из выражения [13]:

$$F_{ув} = \frac{K_V \cdot K^2}{2}; \quad (20)$$

где  $K=8$  мм, принимаемый для  $\delta=8$  мм по ГОСТ 5264-80.

$K_V = 1,1$  при  $K=8$  мм.

$$F_{шв} = \frac{1,1 \cdot 0,8^2}{2} = 0,352 \text{ см}^2.$$

Скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св} \cdot \eta}{100 \cdot F_{шв} \cdot \rho};$$

(21)

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, принимается равным 8;

$F_{шв}$  – площадь поперечного сечения шва;

$\rho$  – плотность металла электрода ( $\rho = 7,8$  г / см<sup>3</sup>).

$$V_{св} = \frac{8 \cdot 225 \cdot 1}{100 \cdot 0,352 \cdot 7,8} = 6,556 \frac{\text{м}}{\text{ч}}.$$

Масса наплавленного металла для ручной дуговой сварки рассчитывается по формуле:

$$G_H = F_{шв} \cdot L \cdot \rho; \tag{22}$$

где  $L$  – длина шва.

$$G_H = 0,352 \cdot 30 \cdot 7,8 = 82,37 \text{ г}.$$

Время горения дуги определяется по формуле [14]:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{св} \cdot \alpha_n}; \tag{23}$$

$$t_0 = \frac{82,37}{225 \cdot 8} = 0,046 \text{ ч.}$$

Полное время сварки приближенно определится по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_n}; \quad (24)$$

где  $t_0$  – время горения дуги;

$k_{\Pi}$  – коэффициент использования сварочного поста, принимается для ручной сварки 0,5 - 0,55.

$$T = \frac{0,046}{0,55} = 0,084 \text{ ч.}$$

Расход электроэнергии определяется по формуле:

$$A = \frac{U_A \cdot I_A}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0) \quad (25)$$

$$A = \frac{18 \cdot 225}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,046 + 3 \cdot (0,084 - 0,046) = 0,38 \text{ кВт} / \text{ч}$$

### **3.2.2 Особенности технологии и выбор оборудования для ручной дуговой сварки**

С помощью ручной дуговой сварки выполняется большой объем сварочных работ при производстве сварных конструкций. Наибольшее применение находит ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Схема процесса ручной дуговой сварки металлическим покрытым электродом показана на рисунке 35 [15-16].

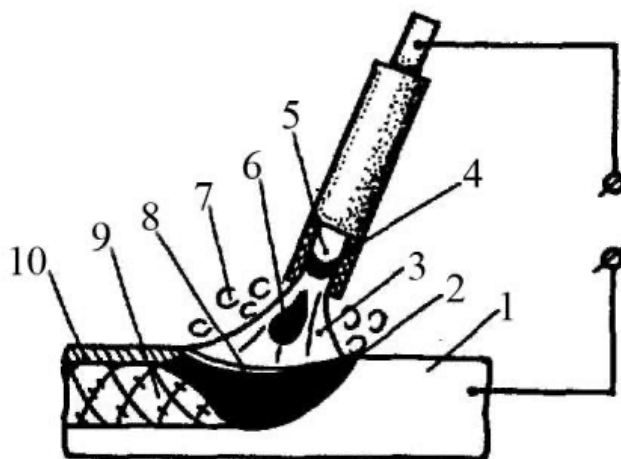


Рисунок 35 – Схема процесса ручной дуговой сварки с покрытыми электродами

Для ручной дуговой сварки необходимо следующее оборудование:

- источник питания;
- электрододержатель;
- сварочные кабели и зажимы.

В качестве источника питания выбираем сварочный выпрямитель СИМЗ ВДМ-6303 (рисунок 36-37).



Рисунок 36 – Сварочный выпрямитель СИМЗ ВДМ-6303

## Технические характеристики СИМЗ ВДМ- 6303 Супер серия 03 8010250

Напряжение ?	380 В
Мах мощность ?	39.1 кВт
Min ток ?	50 А
Мах ток ?	315 А
Диаметр электр/провол	2.000-6.000 мм
ПВ на максимальном токе	60 %
Количество постов ?	4
Степень защиты	IP22
Наличие сетевой вилки	нет
Сертификат Накс	нет
Вес нетто ?	140 кг
Габариты без упаковки	410x780x680 мм
Класс товара	Профессиональный
Напряжение холостого хода	75 В

Рисунок 37 – Характеристики выпрямителя СИМЗ ВДМ-6303

В качестве электрододержателя выбираем ЭД-5001 пассатижного типа (таблица 4).

Таблица 4 – Характеристики ЭД-5001

Марка	$I_{св}, А$	$d_э, мм$	Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>	Масса, кг
ЭД-5001	500	4...16	70	0,62

Сталь 3 относится к мартенситным сталям. Мартенситные и мартенситно-ферритные хромистые стали сваривают либо с применением сварочных материалов, обеспечивающих образование металла шва, близкого по составу и свойствам к основному металлу (иногда с несколько меньшим содержанием углерода), либо с применением аустенитных присадочных материалов [14].

Принимается решение в качестве электрода для сварки стали 3 использовать электрод Э85 ГОСТ 9467-75.

### 3.2.3 Расчёт режимов сварки под флюсом

Установим требуемую глубину проплавления. Для одностороннего шва толщиной не более 10-12 мм глубина проплавления равна толщине свариваемых деталей, т.е.  $h = 8$  мм.

Определим силу сварочного тока по формуле:

$$I_{св} = \frac{h}{k} = \frac{8}{0,012} = 666 \text{ A}, \quad (26)$$

где  $k = 0,012 \frac{\text{мм}}{\text{A}}$  – коэффициент пропорциональности.

Для подбора возможных диаметров сварочной проволоки используем зависимость

$$i = \frac{4I_{св}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot I_{св}}{\pi \cdot 4^2} = 52,99 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}. \quad (27)$$

Значение плотности тока попадает в диапазон  $30 - 60 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}$ , характерный для диаметра проволоки  $d = 4$  мм. Таким образом,  $d = 4$  мм.

Напряжение выбираем в соответствии с таблицей 5.



Таблица 5 – Выбор напряжения для сварки под флюсом

Сила сварочного тока, А	180-300	300-400	500-600	600-700	700-850	850-1000
Напряжение дуги, В	32-34	34-36	36-40	38-40	40-42	41-43

Так как  $I_{св} = 666 \text{ А}$ , принимаем  $U = 38 \text{ В}$ .

Коэффициент провара формы выбираем в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Значения коэффициента провара формы

Диаметр сварочной проволоки, $d$ , мм	Сила сварочного тока, $I_{св}$					
	400-500	501-600	601-700	701-800	801-900	901-1000
2	2,7	2,1	—	—	—	—
3	3,7	3	2,1	—	—	—
4	4,5	3,9	3,3	2,4	—	—
5	—	4,8	3,9	3,3	2,8	2,2

Принимаем  $\psi_{np} = 3,3$ .

Коэффициент формы валика выбираем в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 – Зависимость коэффициента формы валика от силы тока

Сила сварочного тока, А	400-500	501 -600	601-700	701-800	801-900	901 -1000
Коэффициент формы валика $\psi_{г}$	5	5,5	6	6,5	7	7,5

Принимаем  $\psi_{г} = 6$ .

Ширину шва определяем по формуле:

$$B = \psi_{np} \cdot h = 3,3 \cdot 8 = 26,4 \text{ мм.} \quad (28)$$

Выпуклость шва определяем по формуле:

$$g = \frac{B}{\psi_g} = \frac{26,4}{6} = 4,4 \text{ мм.} \quad (29)$$

Площадь наплавленного металла определяем по формуле:

$$F_{н.м} = 0,751 \cdot B \cdot g = 0,751 \cdot 26,4 \cdot 4,4 = 87,24 \text{ мм}^2. \quad (30)$$

Массу наплавленного металла определяем по формуле:

$$G_n = F_{н.м} \cdot L \cdot \gamma = 0,8724 \cdot 12,56 \cdot 7,8 = 85,47 \text{ г.} \quad (31)$$

Расход сварочной проволоки определяем по формуле:

$$G_{np} = G_n \cdot (1 + \psi) = 85,47 \cdot (1 + 0,02) = 87,18 \text{ г,} \quad (32)$$

где  $\psi = 0,02$  – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание.

Коэффициент наплавки определяем по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi) = 12 \cdot (1 - 0,02) = 11,76 \frac{\text{г} \cdot \text{А}}{\text{ч}}, \quad (33)$$

где  $\alpha_p = 12 \frac{\text{г} \cdot \text{А}}{\text{ч}}$  – коэффициент расплавления электродной проволоки.

Скорость перемещения дуги определяем по формуле:

$$V_{н.д.} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_{н.м} \cdot \gamma} = \frac{11,76 \cdot 666}{0,8724 \cdot 7,8} = 11,52 \frac{\text{м}}{\text{ч}}. \quad (34)$$

Скорость подачи электронной проволоки определяем по формуле:

$$V_{n.n.} = \frac{\alpha_p \cdot I_{cs}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \gamma} = \frac{12 \cdot 666}{\frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \cdot 7,8} = 81,4 \frac{м}{ч}. \quad (35)$$

Время горения дуги определяется по формуле:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{cs} \times \alpha_H} = \frac{85,47}{666 \times 11,76} = 0,011 ч. \quad (36)$$

Полное время сварки приближенно определится по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_n} = \frac{0,011}{0,65} = 0,017 ч, \quad (37)$$

где  $k_n$  – коэффициент использования сварочного поста, для сварки под флюсом принимается равным 0,6 – 0,7.

Расход электроэнергии определяется по формуле:

$$A = \frac{U_A \times I_{cs}}{\eta \times 1000} \times t_0 + W_0 \times (T - t_0) \quad (38)$$

$$A = \frac{38 \times 666}{0,7 \times 1000} \times 0,011 + 2,5 \times (0,017 - 0,011) = 0,413 \frac{кВ}{ч},$$

где  $\eta = 0,7$  – КПД источника питания, работающего на постоянном токе;

$W_0 = 2,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  – мощность источника питания, работающего на

постоянном токе.

### 3.2.4 Особенности технологии и выбор оборудования для сварки под флюсом

Особенностью процесса автоматической дуговой сварки под флюсом является применение непокрытой сварочной проволоки и гранулированного (зернистого) флюса (рисунок 38) [12-13].

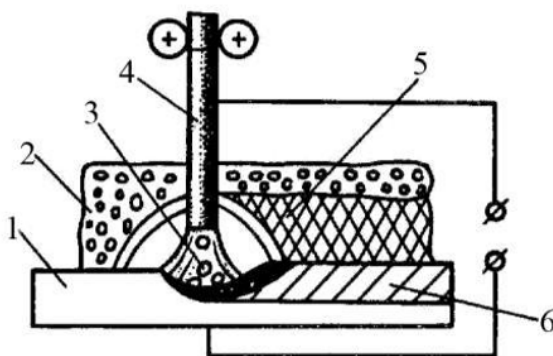


Рисунок 38 – Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом

1 – деталь; 2 – флюс; 3 – дуга; 4 – электродная проволока;  
5 – твердый шлак; 6 – сварной шов

Для сварки под флюсом необходимо следующее оборудование:

- источник питания;
- механизм подачи проволоки и флюса;
- система сбора флюса.

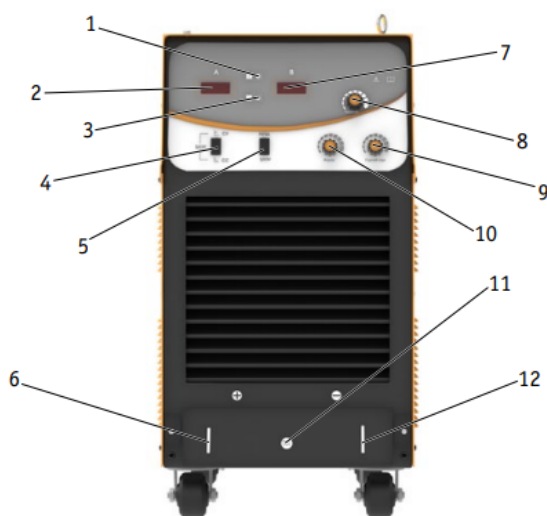
Выбираем автомат для сварки под флюсом "Сварог" MZ 1000 (M308), который включает в себя источник питания MZ-1000, сварочный трактор АТ-1, встроенные механизмы подачи проволоки и флюса и систему сбора флюса (рисунок 37).

Характеристики MZ 1000 (M308) представлены на рисунке 39.

Наименование параметра	Единица измерения	АТ-1
Диаметр проволоки	мм	2,0/3,0/4,0/5,0/6,0
Скорость сварки (трактора)	см/мин	5-170
Скорость подачи проволоки	см/мин	30-300
Тип подачи проволоки		Непрерывная подача проволоки
Тип применяемой проволоки		Малоуглеродистая, легированная, высоколегированная, порошковая
Регулируемая высота сварочной головки	мм	100
Регулируемое расстояние поперечной балки (вперед-назад)	мм	±100
Регулируемое расстояние вертикальной колонны	мм	±100
Угол поворота поперечной балки вокруг вертикальной колонны	°	±9
Наклон горелки	°	±45
Объём контейнера флюса	л	6

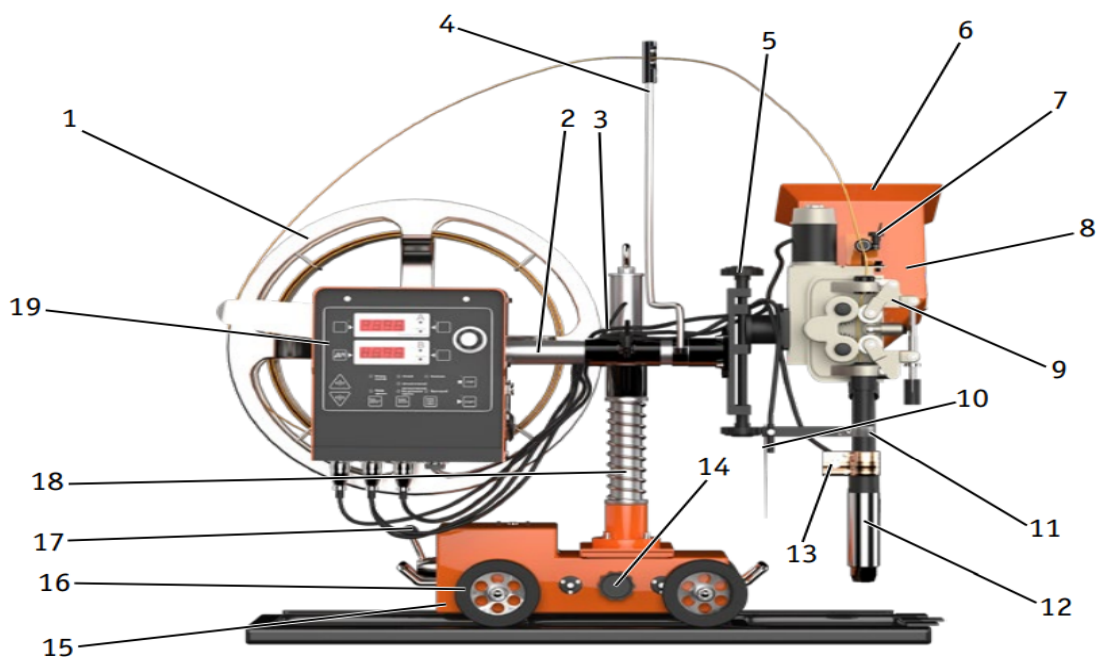
Рисунок 39 – Характеристики MZ 1000 (M308)

Сварка под слоем флюса также требует специальных сварочных материалов. Рекомендуемый сварочный материал для флюса – АН-15. Сварочная проволока – 0Х4МА.



1. Индикатор перегрузки.
2. Индикатор силы тока.
3. Индикатор сети.
4. Кнопка переключения режимов для SAW сварки.  
**CV:** постоянное напряжение (ВАХ жесткая);  
**CC:** постоянный ток (ВАХ падающая).
5. Кнопка переключения способов сварки.  
**Способ MMA DC:** постоянный сварочный ток;  
**Способ SAW DC:** сварки под флюсом.
6. Выход сварочный ток «+».
7. Индикатор напряжения.
8. Регулятор силы тока.
9. Регулятор горячего старта.
10. Регулятор форсажа дуги.
11. Разъём для подключения сварочного трактора.
12. Выход сварочный ток «-».

Рисунок 40 – Автомат для сварки под флюсом "Сварог" MZ 1000 (M308)



- |   |   |
|---|---|
| 1. Барабан проволоки.                         | 11. Индикатор.                            |
| 2. Поперечная балка.                          | 12. Выходная трубка флюса.                |
| 3. Регулировочная рукоятка затяжки балки.     | 13. Токоподвод.                           |
| 4. Направляющая рама сварочной проволоки.     | 14. Винт поперечного перемещения колонны. |
| 5. Винт регулировки высоты сварочной головки. | 15. Основание трактора.                   |
| 6. Сито для флюса.                            | 16. Ведущие колеса.                       |
| 7. Винт затяжки флюсобункера.                 | 17. Сцепление.                            |
| 8. Флюсобункер.                               | 18. Вертикальная колонна.                 |
| 9. Редуктор подачи сварочной проволоки.       | 19. Тумблер включения.                    |
| 10. Крепежная гайка индикатора.               |   |

Продолжение рисунка 40 – Автомат для сварки под флюсом "Сварог" MZ 1000 (M308)

### 3.2.5 Расчёт режимов сварки в защитных газах

Диаметр электродной проволоки выбирается по таблице 8 в зависимости от толщины свариваемого металла [14-15].

Таблица 8 – Зависимость диаметра проволоки от толщины детали

Толщина свариваемого металла $S$ , мм	0,6-1,0	1,2-2,0	3,0-4,0	5,0-8,0	9,0-10,0	11,0-15,0
Диаметр электродной проволоки $d_э$ , мм	0,5	0,8	1,0	1,4	1,6	2,0

Исходя из таблицы 8, принимаю диаметр электродной проволоки  $d_э = 1,4$  мм.

Выбираем Проволоку 2,0 Св-08Х19Н10Б ГОСТ 2246-70.

Величину сварочного тока определяют по формуле:

$$I_{св} = 100 \cdot d_э \cdot (d_э - 0,5) + 50; \quad (39)$$

$$I_{св} = 100 \cdot 1,4 \cdot (1,4 - 0,5) + 50 = 176 \text{ A.}$$

Плотность тока определяется по формуле:

$$J = \frac{4 \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2}; \quad (40)$$

$$J = \frac{4 \cdot 176}{\pi \cdot 1,4^2} = 114,3 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}.$$

Напряжение на дуге найдём по формуле:

$$U_д = 8 \cdot (d_{np} + 1,6); \quad (41)$$

$$U_д = 8 \cdot (1,4 + 1,6) = 24 \text{ В.}$$

Коэффициент расплавления определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left[ 8,3 + 0,22 \cdot \left( \frac{I_{св}}{d_э} \right) \right] \cdot 0,36; \quad (42)$$

$$\alpha_p = \left[ 8,3 + 0,22 \cdot \left( \frac{176}{1,4} \right) \right] \cdot 0,36 = 18,26 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{ч}}.$$

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right); \quad (43)$$

$$\alpha_n = 18,26 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16,43 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{ч}}.$$

где  $\varphi$  – потери электродного металла вследствие окисления, испарения и разбрызгивания принимают обычно  $\varphi = 10\%$ .

Скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_n \cdot \gamma}; \quad (44)$$

где  $\gamma$  – плотность наплавленного металла,  $F_n$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла

$$V_{св} = \frac{16,43 \cdot 176}{0,352 \cdot 7,8} = 10,53 \frac{\text{м}}{\text{ч}}.$$

Вылет электрода рассчитывается по формуле:

$$l_э = 10 \cdot d_э = 10 \cdot 1,4 = 14 \text{ мм}. \quad (45)$$

Скорость подачи электродной проволоки определяется по формуле:

$$V_{mn} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2 \cdot \gamma}; \quad (46)$$

$$V_{mn} = \frac{4 \cdot 18,26 \cdot 176}{\pi \cdot 0,14^2 \cdot 7,8} = 267,7 \frac{\text{м}}{\text{А} \cdot \text{ч}}.$$



Выбираем аргон в качестве защитного газа.

Расход газа определяется по таблице 9.

Таблица 9 – Расход аргона в зависимости от силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А	50-60	90-100	150-160	220-240	280-300	360-380	430-450
Расход	8-10	8-10	9-10	15-16	15-16	18-20	18-20

Исходя из данных принимаю расход газа 15 л/мин.

Для сварки используется технический жидкий аргон в баллонах чёрного цвета, технические условия в соответствии с ГОСТ 10157-2016 [16].

### **3.2.6 Выбор материалов для процесса сварки в защитных газах**

Для сварки узла из стали 3, представленного в задании, приоритетной в условиях авиационной промышленности является сварка в защитных газах на постоянном токе обратной полярности.

Для дуговой сварки низкоуглеродистых мартенситно-ферритных сталей применяют различные электроды в зависимости от прочности и пластичности свариваемой стали, а также условий эксплуатации сварных конструкций. В качестве сварочной проволоки для аргонодуговой сварки выбираем Св-15Х12НМВФБ.

### **3.2.7 Выбор оборудования для сварки в защитных газах**

В качестве сварочного полуавтомата выбираем Brima MIG-500 DIGITAL БП-00000727.

Сварочный полуавтомат BRIMA MIG-500 DIGITAL БП-00000727 предназначен для сварки сплошной проволокой в защитных газах (данный способ сварки в соответствии с ИСО 4063-90 имеет следующее сокращение – MIG Metal Inert Gas, MAG Metal Active Gas) таких материалов, как углеродистая и легированная стали. В качестве защитных газов используются активные газы (углекислый газ, газовая смесь) при сварке MAG, которые принимают участие в формировании сварного соединения, и инертные – при сварке MIG (аргон,

гелий), которые не вступают в химическое взаимодействие с металлами и практически не растворяются в них. Благодаря защите зона сварки не подвергается вредному окислительному воздействию окружающей среды и резко возрастает качество сварного соединения.

Основные характеристики полуавтомата представлены на рисунке 41.



### Технические характеристики Brima MIG-500 DIGITAL БП-00000727

Номинальное напряжение на входе, В ? .....	380
Max ток, А ? .....	500
Min ток, А ? .....	60
Вес нетто, кг ? .....	50
Max мощность, кВт ? .....	11,1
Степень защиты .....	IP21S
Наличие сетевой вилки .....	да
Габариты без упаковки, мм .....	570/280/400
Режим сварки .....	с газом/без газа
Класс товара .....	Профессиональный
Разъем горелки .....	EURO
Охлаждение горелки .....	воздушное
Max диаметр проволоки .....	1.2
Min диаметр проволоки .....	0.8
Min входное напряжение .....	380
Кейс .....	нет
Количество подающих роликов .....	4
Сварка MMA .....	да
TIG сварка .....	нет
Водное охлаждение в комплекте .....	нет
Напряжение холостого хода, В .....	65

Рисунок 41 – Сварочный полуавтомат Brima MIG-500 DIGITAL БП-00000727 и его характеристики

В качестве источника тока в данном полуавтомате используется

ВДУ-504, характеристики которого представлены на рисунке 42.

Параметры	Тип выпрямителя					
	ВСУ-300		ВСУ-500		ВДУ-504	
	Вид характеристики					
	жесткая	падающая	жесткая	падающая	жесткая	падающая
Напряжение питающей сети, В	220/380		220/380		220/380	
Номинальный сварочный ток, А	300	240	500	350	500	

Рисунок 42 – Сварочный выпрямитель ВДУ-504 и его характеристики

В качестве механизма подачи проволоки в данном полуавтомате используется механизм подачи толкающего типа, характеристики которого представлены на рисунке 43.

Механизм подачи электродной проволоки ПДГ - 502				
1 - прижимное устройство; 2 - рычаг; 3 - ручка; 4 - кассета; 5 - тормозное устройство; 6 - основание; 7 - плоская пружина; 8 - регулирующий винт; 9 - электродвигательный привод				
Модель	Сварочный ток, А	Напряжение питания, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Диаметр проволоки, мм
ПДГ-516	100...500	48	100...1200	1,2...2,0

Рисунок 43 – Механизм подачи проволоки ПДГ-502 и его характеристики

В качестве горелки используем горелку А-1231-4, схема которой представлена на рисунке 44.



1 - рукоятка; 2 – переходная втулка; 3 – сопло; 4 – токоподвод;  
5 - щиток; 6 - пусковая кнопка

Марка горелки	Диаметр электродной проволоки, мм	Размеры присоединительного шланга		Сварочный ток, А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		Диаметр, мм	Длина, м			
А-1231-4	1,6...2	15; 12	3	400	284x110x160	5,4

Рисунок 44 – Сварочная горелка А-1231-4 и её характеристики

Газовая аппаратура служит для подачи защитного газа в зону сварки — газовые редукторы, подогреватели и осушителя газов, расходомеры, смесители газов, электромагнитные газовые клапаны.

В качестве редуктора и расходомера используем совмещенный прибор, регулятор аргоновый с ротаметром АР-40-КР1-м-Р1 REDIUS 055021 (рисунок 45).



#### Технические характеристики аргонового регулятора REDIUS 055021

Тип газа .....	аргон
Мах рабочее давление .....	1.6 МПа
Мах пропускная способность .....	2.4 м³/ч
Входное соединение .....	G3/4
Выходное соединение .....	M16x1.5
Материал .....	пластик
Количество манометров .....	1 шт
Назначение .....	расходомеры (с ротаметром)
Входное давление .....	200 бар
Класс товара .....	Профессиональный
Подогреватель газа .....	нет
Вес нетто .....	0.8 кг
Габариты без упаковки .....	187x142x81 мм

Рисунок 45 – Регулятор аргоновый с ротаметром AP-40-КР1-м-Р1  
REDIUS 055021

Для предварительного нагрева и термообработки изделия выбираю камерную печь для металлов была выбрана печь RVST-669 (рисунок 46, таблица 10).



Рисунок 46 – Печь RVST-669

Таблица 10 – Характеристики печи RVST-669

Параметр	Значение
Внутренние размеры (Г×Ш×В)	600 ×600×900 мм
Максимальная масса загрузки	600 кг
Питание	380 В
Потребляемая мощность	180 кВт
Рабочая температура	250-1350 °С
Нагревательная мощность	90 кВт

### 3.2.8 Выбор механического оборудования

В качестве основного оборудования для изготовления стеллажа предлагается использовать кондуктор для сварки металлоконструкций (рисунок 47).



Рисунок 47 – Кондуктор для сварки металлоконструкций

На основании результатов сравнения технологических процессов принято решение рекомендовать аргонодуговую сварку для изготовления стеллажа.

В результате работы над третьей главой дипломной работы были подробно раскрыты некоторые технологические вопросы изготовления

модернизированного стеллажа. Элементом стеллажа, воспринимающим нагрузки от УРМ, является опора, соответственно, был выполнен её проверочный расчёт на прочность с использованием МКЭ. Реализация данного расчёта проводилась при помощи дополнения Simulation к ПО Solidworks. Разработана конечно-элементная сетка, приложены нагрузки и закрепления, смоделирован проверочный расчёт на статическую прочность. По результатам анализа эпюр эквивалентных напряжений по Мизесу и запасов прочности было получено, что опоры выдержат нагрузку при перемещении вдоль направляющих на всех секциях стеллажа. В дополнение к этому, в рамках данной главы был разработан технологический процесс на выполнение тавровых соединений Т1 посредством РДС, сварки под флюсом и аргонодуговой сварки. Сравнение особенностей технологического процесса и результатов расчёта режимов позволило рекомендовать аргонодуговую сварку для изготовления стеллажа.



## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

В рамках выполнения части, посвящённой проработке вопросов безопасности жизнедеятельности, рассматриваются особенности выполнения сварочных работ для изготовления проектируемых стеллажей и предъявляемые к данному процессу требования.

### 4.1 Опасные производственные факторы

Перечень опасных и вредных производственных факторов, возникающих при сварке, приведен в справочном приложении в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [17].

При выполнении сварочных работ могут возникнуть ситуации, способные привести к производственным травмам:

- поражение электрическим током;
- поражение органов зрения и открытой поверхности кожи световым излучением электрической дуги;
- отравление организма вредными газами, пылью и испарениями, выделяющимися при расплавлении металла;
- травмы при взрыве баллонов со сжатыми газами, ацетиленовых генераторов и емкостей из-под горючих веществ;
- возникновение пожаров и ожогов;
- механические травмы при заготовительных и сборочно-сварочных операциях;
- радиационное поражение при контроле сварных соединений радиационными методами.

Поражение электрическим током происходит при касании токоведущих частей электропроводки и сварочной аппаратуры, которая применяется при дуговых, контактных и лучевых способах сварки. Токи, большие чем 0,05 А (при частоте 50 Гц), проходящие через тело человека, могут вызывать тяжелые последствия и даже смерть ( $> 0,1$  А). Сопротивление человеческого организма в зависимости от обстоятельств (утомление, влажность кожи, состояние здоровья)

изменяется в широких пределах (от 1000 до 20000 Ом). Напряжение холостого хода источников питания свободной дуги достигает 90 В, а сжатой дуги — 200 В. Поэтому при плохом состоянии сварщика через него может пройти ток, близкий к критическому (0,09 А).

#### **4.2 Меры безопасности при выполнении сварочных работ**

Сварка должна выполняться в соответствии с требованиями настоящего стандарта, ГОСТ 12.1.004-85, ГОСТ 12.1.010-76, ГОСТ 12.3.002-75, санитарными правилами при сварке, наплавке и резке металлов [17].

Электрические поля токов промышленной частоты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.002-84; магнитные поля – предельно допустимым уровням магнитных полей частотой 50 Гц, утвержденных Минздравом РФ; предельно допустимые уровни напряжений и токов – по ГОСТ 12.1.038-82; защитное заземление и зануление – по ГОСТ 12.1.030-81; электромагнитные поля радиочастот – по ГОСТ 12.1.006-84; уровни ионизирующего излучения не должны превышать норм, радиационной безопасности утвержденных Минздравом РФ [17].

Работающему с электросварочным оборудованием в целях безопасности необходимо соблюдать основные требования: проверять надежность изоляции, использовать защитные ограждения, автоблокировки, заземление электрооборудования и его элементов, ограничение напряжения холостого хода источников питания (генераторов постоянного тока — до 90 В, трансформаторов — до 75 В) [17].

Длина проводов между сетью и передвижным сварочным агрегатом не должна превышать 13 м. При работе в стесненных условиях или в закрытых сосудах сварочная установка должна быть снабжена блокирующим устройством для автоматического отключения сварочной цепи или снижения напряжения при обрыве дуги до 12 В. При сварке на переменном токе можно использовать устройство УСНТ-4. Корпуса сварочных аппаратов, каркасы распределительных щитов и корпуса шкафов управления должны быть заземлены медным проводом

сечением не менее 6 мм<sup>2</sup> или стальным сечением не менее 12 мм<sup>2</sup>. Температура нагрева отдельных частей сварочного агрегата не должна превышать 75 °С.

Оборудование, используемое для сварки должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-74, ГОСТ 12.2.049-80; требования безопасности к электротехническим устройствам в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.8-75, правилами устройства электроустановок (ПУЭ), правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ).

К индивидуальным способам защиты относится работа в сухой, прочной спецодежде и рукавицах, не впитывающих влагу и металлическую пыль, в ботинках без металлических шпилек и гвоздей [14-17].

Необходимо соблюдение определенных условий работы (прекращение работы во время дождя и сильного снегопада при отсутствии укрытия; использование резинового диэлектрического коврика, резинового шлема и галош при работе внутри изделия, а также переносной лампы напряжением не более 12 В; проводить ремонт электросварочного оборудования и аппаратуры специалистами-электриками).

Электрическая сварочная дуга создает три вида излучения: световое, ультрафиолетовое, инфракрасное. Световое излучение действует ослепляюще, так как его яркость значительно превышает допустимые нормы. Ультрафиолетовое излучение даже при кратковременном воздействии на протяжении нескольких секунд вызывает заболевание глаз — электроофтальмию. Оно сопровождается острой болью и резью в глазах, слезотечением, спазмами век. Продолжительное действие ультрафиолетового излучения приводит к ожогам кожи [12, 16].

При продолжительном воздействии инфракрасного излучения происходит помутнение хрусталика глаза (катаракта), что приводит к ослаблению или потере зрения; тепловое воздействие вызывает ожоги кожи [13].

Защита зрения и кожи лица при дуговой сварке обеспечивается использованием щитков, масок или шлемов из жаростойких диэлектриков

(фибры, пропитанной специальным раствором, фанеры и т. д.) с защитными стеклами — светофильтрами (размер 52×102 мм), которые задерживают и поглощают излучение дуги. В зависимости от мощности дуги применяют светофильтры различной степени прозрачности. Для защиты посторонних от излучения дуги в стационарных условиях сварку ведут в закрытых кабинах, а в монтажных условиях используют переносные щиты и ширмы. Тело защищают спецодеждой из крепкого брезента или сукна, иногда с асбестовой прослойкой.

Основными мероприятиями, направленными на защиту от отравления вредными выделениями и на улучшение условий труда, являются [15]:

- устройство общеобменной и, в большей степени, местной вентиляции;
- механизация и автоматизация сварочных процессов;
- применение изолирующих и защитных устройств.

В особо опасных случаях необходимо использовать индивидуальные методы защиты (респираторы с химическими реагентами, противогазы).

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗРАБОТАННОГО ИЗДЕЛИЯ

После того, как теоретические расчёты и моделирование в САД-системе, показали, что спроектированный стеллаж позволяет обеспечить удобство хранения и эксплуатации УРМ на космодроме и способен выдержать расчётные нагрузки, рассматривается расчёт затрат на разработку, проектирование и ввод в эксплуатацию стеллажа.

Оценка стоимости разрабатываемого стеллажа проводится исходя из себестоимости материалов и готовых изделий, размер оплаты труда, косвенных расходов и стоимости создания прототипов.

Расчёт стоимости создания изделия будем производить по следующей зависимости

$$C = C_{cm} \cdot N + C_A + C_k, \quad (47)$$

где  $C_{cm}$  – стоимость изготовления стеллажа и его составных частей;

$C_A$  – стоимость затрат на рабочую жидкость гидропривода;

$C_k$  – косвенные затраты на изготовление;

$N=2$  – количество разрабатываемых изделий прототипов.

Стоимость изготовления стеллажа определим методом удельных показателей. В данном случае принимаем, что разрабатывается автоматизированная система на базе отработанных решений.

$$C_{cm} = C_{cm.y} \cdot m_{cm} \cdot k_{инф} = 322817,60 \text{ у.е.}, \quad (48)$$

где  $C_{cm.y} = 1000 \text{ у.е./кг}$  – удельная стоимость изготовления стеллажа;

$m_{cm} = 6420 \text{ кг}$  – масса стеллажа.

$k_{инф} = 1,52$  – коэффициент инфляции от ЦБ РФ (принимается на основе анализа статистики оптовых цен на материалы).

Стоимость закупки рабочей жидкости гидропривода, необходимой для перемещения секций стеллажа, рассчитывается по формуле:

$$C_A = C_{A1} \cdot V_A = 846000 \text{ у.е.}, \quad (49)$$

где  $C_{A1} = 172,8 \text{ у.е./л}$  – стоимость рабочей жидкости гидропривода;

$V_A = 5000 \text{ л}$  – требуемый объем рабочей жидкости гидропривода.

Для ракетно-космической отрасли, косвенные расходы составляют 8-10% от стоимости расходов на производство.

$$C_k = 0,1 \cdot (C_A + C_{см} \cdot N). \quad (50)$$

Результирующие затраты на разработку и ввод в эксплуатацию стеллажа составляют  $C = 1640798,6 \text{ у.е.}$ . На основе анализа экономических документов можно сделать вывод, что затраты на разработку и ввод в эксплуатацию стеллажа могут быть скомпенсированы выигрышем трудоёмкости, сэкономленной на поэтапной сборке-разборке стандартных стеллажей. При этом, использование разработанного стеллажа в дальнейшей перспективе обеспечивает значительную экономию средств за счёт исключения многократных сборочно-разборных операций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках первой главы дипломной работы были рассмотрены основные особенности мест хранения УРМ РН «Ангара-А5». Подробно описана конструкция существующего стеллажа, используемого для хранения УРМ на космодроме «Восточный». Габаритные размеры и масса используемого стеллажа в дальнейшем выступает в качестве исходных данных для проработки конструкции модернизированного стеллажа. Описаны особенности эксплуатации стеллажей и обоснована идея модернизации имеющегося места хранения, которая заключается в том, чтобы разработать модернизированное место хранения УРМ, представляющее собой неразборные стеллажи и включающее в свой состав подвижные опоры, что позволит повысить экономическую эффективность выполняемых работ.

В рамках второй, проектно-конструкторской главы дипломной работы был сформирован проектный облик модернизированного стеллажа. Прежде всего, произведён выбор материала всей конструкции стеллажа, которым выступает конструкционная сталь 3, позволяющая обеспечить требуемые механические и технологические характеристики. Были рассчитаны основные габаритные размеры перил и лестниц на основании существующей нормативной документации с целью обеспечения эргономичности конструкции и безопасности при выполнении высотных работ. Из условия прочности определены основные размеры опоры под размещение УРМ. Выполнен проектный расчёт ГП, в рамках которого потребовалось рассчитать требуемую мощность и подачу насосов; на основании гидравлических расчётов осуществить выбор насоса и его привода; выбрать гидроцилиндр, гидроаппаратуру и диаметр трубопроводов; осуществить выбор рабочей жидкости и стандартного оборудования. Результаты показали, что выбранный гидропривод позволяет осуществлять перемещение элементов конструкции и может быть установлен в местах хранения УРМ на космодроме. Для обеспечения устойчивости к опрокидыванию в состав конструкции введены противовесы общей массой 40

тонн, что позволяет осуществлять установку и снятие УРМ без опасности опрокидывания конструкции и, вследствие этого, повреждения и разрушения других УРМ. С помощью ПО Компас-3D были разработаны твердотельные модели опоры, секции верхней, стандартной секции и общей сборки стеллажа. Также разработан процесс по укладке УРМ на стеллаж с иллюстрациями.

В рамках третьей главы дипломной работы были подробно раскрыты некоторые технологические вопросы изготовления модернизированного стеллажа. Элементом стеллажа, воспринимающим нагрузки от УРМ, является опора, соответственно, был выполнен её проверочный расчёт на прочность с использованием МКЭ. Реализация данного расчёта проводилась при помощи дополнения Simulation к ПО Solidworks. Разработана конечно-элементная сетка, приложены нагрузки и закрепления, смоделирован проверочный расчёт на статическую прочность. По результатам анализа эпюр эквивалентных напряжений по Мизесу и запасов прочности было получено, что опоры выдержат нагрузку при перемещении вдоль направляющих на всех секциях стеллажа. В дополнение к этому, в рамках данной главы был разработан технологический процесс на выполнение тавровых соединений Т1 посредством РДС, сварки под флюсом и аргонодуговой сварки. Сравнение особенностей технологического процесса и результатов расчёта режимов позволило рекомендовать аргонодуговую сварку для изготовления стеллажа.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1 Универсальный ракетный модуль [Электронный ресурс]: материалы сайта Ruwiki.ru. Режим доступа: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Универсальный\\_ракетный\\_модуль](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Универсальный_ракетный_модуль) (дата обращения 27.12.2024)

2 Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов [Текст] : Учеб. для вузов / Б. В. Грабин ; под ред. В. П. Мишин, В. К. Карраска. - М. : Машиностроение, 1991. - 415 с. - ISBN 5-217-01004-5.

3 Сталь 3 [Электронный ресурс]: материалы марочника сталей и сплавов. Режим доступа: [https://splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=348](https://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=348) (дата обращения 28.12.2024)

4 ГОСТ Р 53254-2009“ Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли. Общие технические требования. Методы испытаний” (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. N 25-ст)

5 Дмитриев, В.Г. Основы прочности и проектирование силовой конструкции летательных аппаратов [Текст] / В. Г. Дмитриев, В. М. Чижов ; [Центр. аэрогидродинам. ин-т им. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ)]. - М. : Бумажная галерея [вып. дан.], 2005. - 414 с. - ISBN 5-900504-80-2.

6 ГОСТ 25772-83 Группа Ж34. Государственный стандарт союза ССР. Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные. Общие технические условия. Steel guardrailing of stalrways, balkonies and roofs. General specifications ОКП 52 6200 Дата введения 1984-01-01.

7 Яблонев, А.Л. Гидропривод горных, транспортных и технологических машин: расчет и лабораторный практикум : учебное пособие / А. Л. Яблонев ; Минобрнауки России, Тверской государственный технический университет (ТвГТУ). - Тверь : ТвГТУ, 2024. - 111 с. : ил., граф., табл. - Библиогр.: с. 108-109 (25 назв.). - 100 экз. - ISBN 978-5-7995-1327-6. - Текст (визуальный) : непосредственный.

8 Потемкин, А.Л. Твердотельное моделирование в системе Компас-3D / Александр Потемкин. — СПб. : БХВ-Петербург, 2004. — 501, [2] с. : ил. : 23 см — (Мастер решений).; ISBN 5-94157-472-X (в обл.).

9 Голубев, И.С. Проектирование конструкций летательных аппаратов [Текст] : Учеб. для вузов / И. С. Голубев, А. В. Самарин. - М. : Машиностроение, 1991. - 511 с. - ISBN 5-217-01041-X.

10 Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы) [Текст] : [учеб. для вузов / В. П. Мишин, В. К. Безвербый, Б. М. Панкратов, Д. Н. Щевров] ; под ред. В. П. Мишина. - М. : Машиностроение, 1985. - 360 с.

11 Пересыпкин, К. В. Автоматизированное проектирование и моделирование конструкций ракетно-космической техники в среде MSC.Patran/MSC.Nastran : [учеб. пособие] / К. В. Пересыпкин, В. П. Пересыпкин, Е. А. Иванова. - Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 189 с. - ISBN 978-5-7883-0624-7.

12 Барвинок, В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: учебник для студентов высших технических учебных заведений/ В.А. Барвинок, В.И. Богданович, П.А. Бордаков, Б.П. Пешков, И.Н. Желтов, И.А. Докукина. -М.:Машиностроение, 1996.-576с.:ил.

13 Демичев, С.Ф. Основные способы сварки, их применение при изготовлении узлов летательных аппаратов и их двигателей: учебное пособие/ С.Ф.Демичев, А.В. Рясный, А.Л. Усольцев.- Самара: Издательство СГАУ, 2007.- 76с.:ил.

14 Фетисов, Г.П. Сварка и пайка в авиационной промышленности: учебное пособие для авиационных ВУЗов/Г.П. Фетисов. – М.: Машиностроение, 1983. - 320с.

15 Фролов, В.А. Технологические основы сварки и пайки в авиастроении: учебник для ВУЗов/ В.А. Фролов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский, В.А. Казаков; под общей редакцией В.А. Фролова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. -456 с.: ил.

16 Глизманенко, Д.Л. Сварка и резка металлов. Издание 8-е, доп. учеб. для проф.-техн. училищ [Текст]/ Д.Л. Глизманенко. – М.: Высш. школа, 1974.-479с.: ил.

17 ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности (с Изменением N 1)