

Всероссийская олимпиада школьников  
«Шаг в будущее, Космонавтика»

16280
-------

***Орбитальная станция ремонта и  
обслуживания космических аппаратов  
«Аврора»***

**Космические аппараты и ракеты-носители**

**Специальное машиностроение, СМ-1**

**Автор:** Сунцов Иван Алексеевич,  
МОАУ Лицей №21 г. Кирова, 11 «Б».

**Научный руководитель:**

Товарных Геннадий Николаевич,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры СМ-1 МГТУ  
им. Н.Э. Баумана.

Москва – 2024

## **1.Аннотация**

В данной работе была разработана макет орбитальной космической станции. Цель исследовательской работы: Разработать прототип орбитальной станции на околоземной орбите Земли, позволяющей ремонтировать и обслуживать спутники. Предметом исследования являются спутники и космические станции. В работе были использованы теоретические и эмпирические методы исследования. Структура работы делится на две части: исследовательская и практическая. Основные задачи исследовательской части: Изучение классификации спутников. Изучение конструкции спутников. Изучение методов решения проблемы необходимости ремонта спутников. Изучение пилотируемых орбитальных станций. Основные задачи практической части: Создание чертежа станции. Создание 3Д-модели станции. Продумывание компоновки станции. Продумывание принципа ремонта. Создание макета ремонтной станции. В результате работы были определены методы ремонта, создана компоновка станции. Также разработана 3Д-модель ремонтной станции. Посредством 3Д-печати был изготовлен макет станции в масштабе 1:20, а также оснащен оборудованием (платы, датчики, светодиоды, сервоприводы) для получения наглядной информации о функционировании реальной станции

## 2.Содержание

1.Аннотация.....	2
2.Содержание .....	3
3.Введение .....	4
4.Основная часть.....	7
<b>4.1 Теоретическая часть</b> .....	7
4.1.1 Классификация спутников .....	7
4.1.2 Конструкция спутников.....	8
4.1.3 Компоновка целевого оборудования .....	8
4.1.4 Компоновка систем управления движением КА .....	9
4.1.5 Обеспечивающее бортовое оборудование .....	9
4.1.6 Ремонт на орбите.....	9
4.1.7 Существующие прототипы решения проблемы .....	10
4.1.8 Результаты анализа.....	10
<b>4.2 Практическая часть</b> .....	11
4.2.1 Расположение станции .....	11
4.2.2 Подходящие спутники .....	11
4.2.3 Цикл ремонта спутника .....	11
4.2.4 Способы ремонта .....	12
4.2.5 Определение основных частей .....	12
4.2.6 Определение облика и компоновки станции.....	13
4.2.7 Модульная компоновка станции .....	16
4.2.8 Построение космического комплекса .....	18
4.2.9 Характеристики внутреннего объема станции .....	19
4.2.10 Герметичный модуль ремонта .....	20
4.2.11 Негерметичный модуль ремонта .....	25
4.2.12 Габариты станции .....	29
4.2.13 Создание макета станции .....	29
4.2.14 Оборудование макета .....	29
5.Заключение .....	29
6.Список использованных источников .....	30
<b>Приложения</b> .....	31

### 3. Введение

В настоящее время всё больше возрастает интерес к изучению космоса. На околоземную орбиту запускают огромное количество спутников, которые выполняют различные задачи (навигационные, связные, астрономические, военные и так далее). Все эти спутники играют важную роль в современном мире и стали неотъемлемой частью нашей жизни. Уже не представляется возможным существование человека без Интернета, спутниковой связи, навигации, предсказания погоды и природных катаклизмов. Но, как и другим техническим устройствам, спутникам свойственно ломаться, выходить из строя, или просто заканчивать эксплуатационный срок. Выход из строя спутника – огромная потеря. Во-первых, неисправный спутник нарушает целостность системы всех спутников, что в дальнейшем может привести к сбоям аппаратуры на Земле. Во-вторых, ломаясь, аппарат становится космическим мусором, то есть засоряет околоземную орбиту, а также потенциальной опасностью для других спутников. В-третьих, не стоит забывать, что на сломанный спутник были потрачены огромные средства на разработку, производство, сборку, выведение на орбиту, то есть использование ракеты-носителя и так далее. А на отправку нового спутника будут потрачены такие же большие средства. Очевидно, что такой вариант является крайне невыгодным, ведь порой причиной выхода из строя могут быть банальные проблемы, которые, казалось бы, можно легко исправить. Главной проблемой является то, что на орбите Земли никто не имеет доступа к спутникам. Орбитальная станция по ремонту и обслуживанию спутников может решить данную проблему. Сломанные или нуждающиеся в техническом обслуживании спутники можно будет чинить прямо в космосе. Этот способ поможет уменьшить количество сломанных спутников, а также увеличить их эксплуатационный срок спутников. Появление орбитальных станций по ремонту спутников – это всего лишь вопрос времени, так как сейчас происходит интенсивное освоение орбиты и космоса в

целом, и возможность ремонтировать спутники в космическом пространстве крайне актуальна.

Целью моей работы является создание прототипа системы ремонта и обслуживания спутников. Данная система должна оптимально выполнять задачи доставки сломанных аппаратов, починки необходимых приборов, должного обслуживания аппаратов, а также обратной отправки на рабочую орбиту.

Работа разделена на две части

1. Задачи теоретической части:

- a. Изучить классификацию искусственных спутников Земли;
- b. Изучить принципы и типы конструкций спутников;
- c. Изучить опыт ремонта на орбите Земли;
- d. Изучить имеющиеся предложения для решения проблемы;
- e. Изучение основ компоновки орбитальных пилотируемых станций.

2. Задачи практической части:

- a. Придумывание идеи принципа ремонта на станции, логистики;
- b. Построение эскиза, чертежей орбитальной станции;
- c. Разработка внутренней компоновки станции;
- d. Моделирование станции при помощи САПР;
- e. Создание макета станции посредством 3Д-печати
- f. Оснащение макета электроникой для демонстрации функционирования станции.

В процессе работы были использованы два метода решения задач.

Теоретический (анализ научной литературы, синтез существующих подходов в создании космических ремонтных станций, классификация составных элементов спутника). Эмпирический (моделирование: построение схемы и чертежа орбитальной станции и дополнительных систем с помощью САПР -

«Компас-3Д», «Autodesk Fusion 360» а также изготовление макета станции посредством 3D-печати).

Структура работы также делится на два раздела. В первом разделе рассмотрены разные виды спутников, их устройство. Также рассмотрены опыты проведения ремонта на орбите. Во втором разделе описаны конструкция станции, её составные элементы и механизм взаимодействия. В третьем разделе автор подводит итоги проделанной работы, предлагает возможную область применения орбитальной станции. В Приложении даны детальные описания и схемы станции и дополнительных систем.

## **4.Основная часть**

### **4.1 Теоретическая часть**

#### **4.1.1 Классификация спутников**

Искусственный спутник Земли (ИСЗ) —космический летательный аппарат, вращающийся вокруг Земли по геоцентрической орбите. Полёты ИСЗ выполняются на высотах до нескольких сотен тысяч километров. Различают следующие типы спутников:

**Астрономические спутники** — это спутники, предназначенные для исследования планет, галактик и других космических объектов. [1]

**Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)** – наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры.

**Космические корабли** — пилотируемые космические аппараты, предназначенные для выполнения полётов людей в космическом пространстве и, в частности, доставки людей в космос безопасного их возвращения на Землю (или иную планету/луну/космическую станцию).

**Космические станции** — космические корабли, предназначенные для длительного пребывания людей на околопланетной или, реже, околозвездной орбите с целью проведения научных исследований в условиях космического пространства, разведки, наблюдений за поверхностью и атмосферой планеты, астрономических наблюдений и т.п.

**Метеорологические спутники** — это спутники, предназначенные для передачи данных в целях предсказания погоды, а также для наблюдения климата Земли.

**Малые спутники**— спутники малого веса (менее 1 или 0.5 тонн)

и размера, которые применяются для исследования систем связи, калибровки РЛС и оптических систем контроля космического пространства (в том числе пассивные КА), Дистанционного Зондирования Земли (ДЗЗ), исследования тросовых систем и в образовательных целях.

**Разведывательные спутники** - искусственный спутник Земли, предназначенный для наблюдения Земли (телевизионная съёмка, фотосъёмка) в целях обеспечения разведывательной деятельности или спутник связи, применяющийся для разведки.

**Навигационные спутники** - комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения и точного времени, а также параметров движения для наземных, водных и воздушных объектов.

**Экспериментальные спутники** – ИСЗ, запущенный с целью подготовки полета человека в космическое пространство, испытания и отработки конструкции и систем космического корабля.

#### *4.1.2 Конструкция спутников*

По исполнению конструктивно-силовые схемы могут быть различными: Оболочечные; Ферменные; С несущими баками; Смешанные

Внешний вид и форма отсеков КА существенно зависят от назначения (орбитальный, агрегатный отсек и другие), типа бортового оборудования (необходима герметизация или нет), наличия раскрывающихся элементов (солнечных батарей, антенн и тому подобное).

#### *4.1.3 Компоновка целевого оборудования*

На борту КА может располагаться различное целевое (информационное) оборудование: 1) Фотоаппаратура с большим фокусным расстоянием и высоким разрешением; 2) Радиолокационная аппаратура всепогодного



наблюдения высокого разрешения; 3)ИК-аппаратура наблюдения;  
4)Оптическая аппаратура для фотографирования отдельных, выбранных объектов при хорошей освещенности и контрастности; 4)Научная аппаратура для проведения астрономических исследований, исследований космического пространства, Солнца, планет и спутников солнечной системы;

#### 4.1.4 Компоновка систем управления движением КА

Система управления движением КА представляет собой единый комплекс, состоящий из отдельных бортовых и наземных систем, которые объединены единой циклограммой для решения функциональных задач:

В зависимости от способа создания управляющих импульсов и моментов стабилизации и управления ориентацией КА существующие СУД подразделяют на активные, пассивные и комбинированные.

#### 4.1.5 Обеспечивающее бортовое оборудование

В КА обеспечивающее бортовое оборудование подразделяется на: Системы радиотехнической связи; Радиотелеметрические системы; Бортовые АФУ (Антенны); Электрохимические источники тока (Аккумуляторные батареи); Физические источники электроэнергии (Генераторы, солнечные батареи); Системы терморегулирования (СОТР)

#### 4.1.6 Ремонт на орбите

В мировой космонавтике уже есть опыт ремонта на орбите. Орбитальные станции нового поколения стали намного сложнее, возросли их техническая оснащенность и разнообразие средств обслуживания. А где увеличивается количество взаимосвязанных систем и возрастает продолжительность их службы, там повышается вероятность возникновения неисправностей, более насущной становится необходимость контроля за состоянием отдельных узлов и агрегатов, в том числе и находящихся снаружи — в открытом космосе.

1)Ремонт станции «Салют-7»; 2)Ремонт на станции «Skylab»; 3)Ремонт спутников; 4)Ремонт телескопа Hubble.

#### *4.1.7 Существующие прототипы решения проблемы*

**Американский ремонтный корабль «OSAM-1».** OSAM-1 роботизированный космический корабль, оснащенный инструментами, технологиями и методами, необходимыми для продления срока службы спутников, даже если они не предназначены для обслуживания на орбите.

**Американский ремонтный корабль «RSGS».** В сотрудничестве с американским ведомством разработала проект "Роботизированное обслуживание геосинхронных спутников"

**Патент системы ремонта Роскосмоса.** Роскосмос разработал и запатентовал способ ремонта космических аппаратов на орбите. Он будет использован при сервисном обслуживании спутников.

**Космические доки:** 1) Космический док на базе ОС Freedom; 2) Космический док Atrium. Иллюстрации прототипов в Приложении А.

#### *4.1.8 Результаты анализа*

После анализа существующих решений выявлены существенные недостатки. Ремонтные корабли слишком малоэффективны, так как они могут выполнить только примитивный ремонт или обслуживание, также данная система ещё не испытана, и непонятно, как поведёт себя на практике. В то время как станции-доки слишком громоздки и требуют больших затрат на производство, вывод на орбиту, монтаж, обслуживание и так далее. В результате анализа было принято решение о создании прототипа станции ремонта и обслуживания космических аппаратов так, чтобы своей разработкой убрать недостатки существующих решений и выдвинуть новое предложение.

## **4.2 Практическая часть**

### *4.2.1 Расположение станции*

Ремонтная станция будет расположена примерно на той же орбите, на которой расположена Международная космическая станция. То есть это орбита 300-400 км. Станция будет расположена именно там, так как, во-первых, она будет обитаема, то есть необходимо будет регулярно отправлять новые экипажи и всегда иметь возможность экстренного возвращения на Землю. Во-вторых, для ремонта спутников необходимо будет регулярно отправлять на станцию транспортные корабли.

### *4.2.2 Подходящие спутники*

Исходя из расположения станции, определим, какие спутники используются вблизи. Низкая околоземная орбита – наиболее часто используемая орбита для запуска КА. На ней работают спутники ДЗЗ, ССС, военные, МКА, ПКА, орбитальные станции и т.д. Рассмотрим спутники, которые будет возможно ремонтировать на станции. Главным ограничением являются габариты спутника. Спутник должен входить в ремонтные отсеки станции. В итоге получаем, что основные спутники для ремонта (при определенном размере) – это ДЗЗ, ССС, МКА и военные. В работе для примера неисправного КА был выбран МКА «АИСТ-«2Д».

### *4.2.3 Цикл ремонта спутника*

Рассмотрим схему процесса ремонта спутника. Когда при помощи бортового оборудования, либо же в центре управления полётами обнаруживается, что в спутнике неисправен какой-то агрегат, информация о спутнике и его орбите посылаются на орбитальную станцию ремонта. Далее со станции отправляется специальный корабль, который добирается до сломанного спутника, фиксирует его на своем борту и доставляет его на станцию. Затем происходит процесс непосредственного ремонта. После всех операций отремонтированный спутник

снова устанавливается в буксир, и он уже доставляет спутник на его рабочую орбиту.

#### *4.2.4 Способы ремонта*

При проектировании станции было рассмотрено два способа ремонта спутников. **Первый** – ремонт спутника непосредственно в открытом космосе. Данный способ наиболее эффективен тогда, когда на ремонт не нужно тратить большое количество времени. Также способ подходит тогда, когда необходимо обслужить спутник (заправить, поменять мелкие детали и прочее). Существенным недостатком можно назвать то, что каждый раз космонавтам необходимо выходить в скафандрах, что ограничивает возможности движения, времени обслуживания и так далее. **Второй** – ремонт спутника в герметичном пространстве. Данный способ наиболее эффективен тогда, когда спутник имеет значительные повреждения, то есть нуждается в долгом, сложном и кропотливом ремонте. В закрытом герметичном пространстве космонавты могут комфортно (без скафандров) ремонтировать спутник. Также при закрытом ремонте космонавты могут разобрать спутник и добраться до элементов, которые могут быть в глубине КА. В то же время при открытом ремонте такие операции совершать нельзя. Главным недостатком является то, что при закрытом ремонте надо выполнять много операций по разгерметизации, перемещению, фиксации спутника, герметизации, и т.д.

#### *4.2.5 Определение основных частей*

На станции ремонт и обслуживание будут осуществлять люди, значит она должна быть обитаема. Поэтому на станции должны быть все необходимые для комфортной жизнедеятельности космонавтов условия. Соответственно будет жилой модуль с системой жизнеобеспечения (СЖО).

Станция обитаема, значит на неё нужно доставлять экипаж. Соответственно на станции должно быть предусмотрено место для стыковки пилотируемого космического аппарата (для примера выбран ПКА «Союз»).

Проанализировав способы ремонта, было принято решение об использовании в станции обоих способов ремонта. Значит у станции будет ещё два модуля – модуль герметичного ремонта (МГР) и модуль негерметичного ремонта (МНР).

Для ремонта спутников необходима периодическая доставка расходных материалов, инструментов, запасных частей агрегатов и т.д. Соответственно необходимо предусмотреть место для стыковки транспортного космического аппарата (для примера выбран ТКА «Прогресс»).

Для транспортировки неисправных КА понадобятся определенные ТКА, которые будут доставлять неисправный КА на станцию, а затем возвращать КА на исходную орбиту. Таких «буксиров» должно быть 2: для МГР и МНР.

Для монтажа неисправных КА необходимы манипуляторы у каждого ремонтного блока, то есть манипулятор у МГР и МНР

Для питания энергией всей станции понадобятся солнечные панели, а также топливные модули.

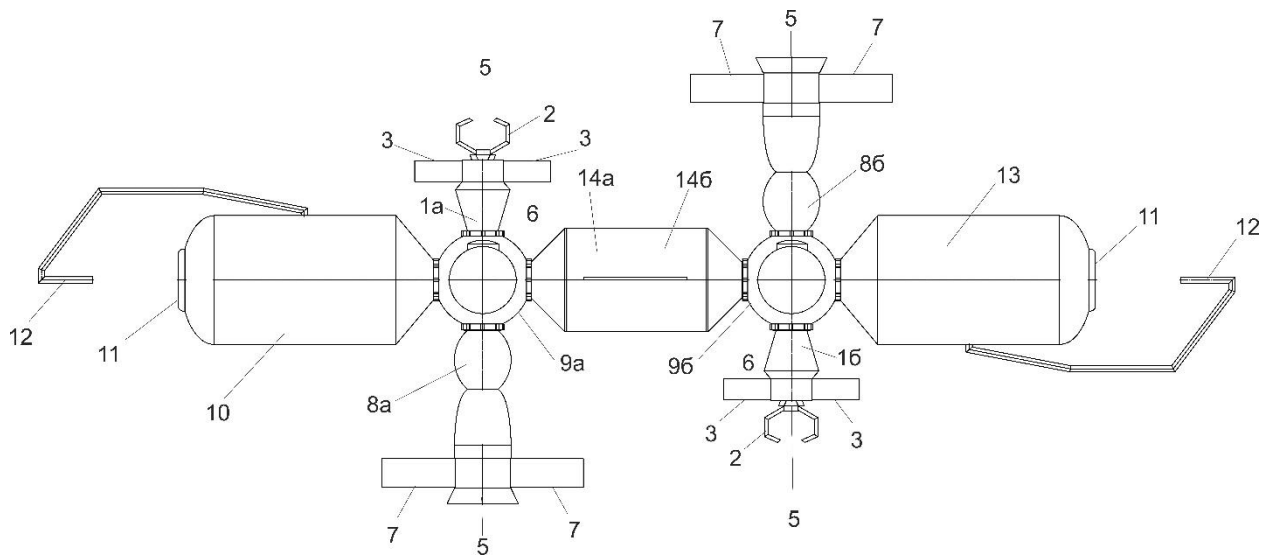
#### 4.2.6 Определение облика и компоновки станции

Компоновку ПКА в значительной степени определяют параметры обитаемого пространства, в котором обитает экипаж. Как уже выяснилось, на станции обитаемое пространство включает в себя *герметичный объем*, а также *негерметичное пространство*.

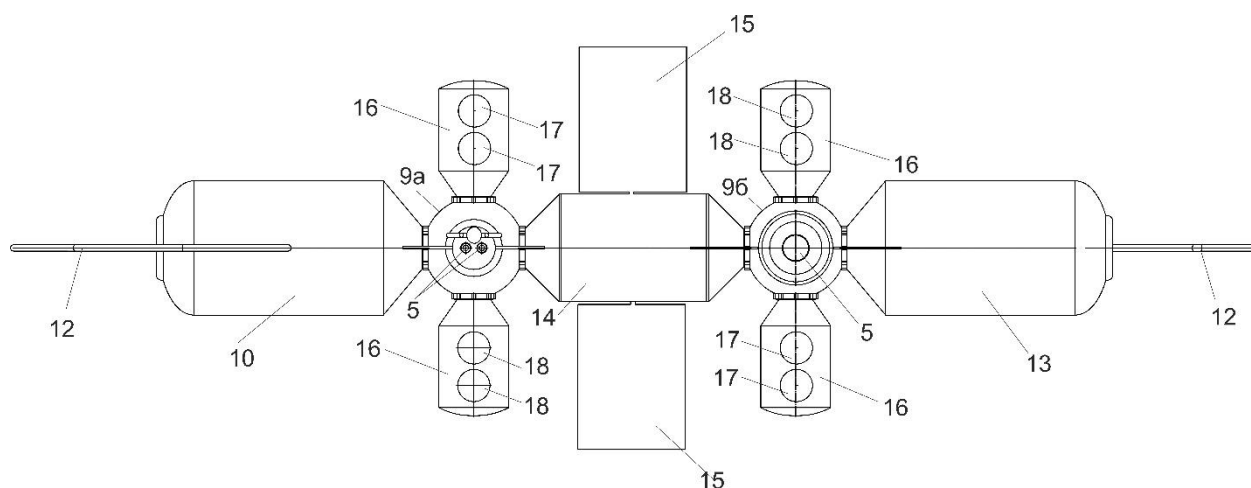
Облик ПКА формируется в условиях ограничений, важнейшие из которых:

*Технологические* (необходимость изготовления и испытания всех элементов ПКА в земных условиях), *экономические* (требования снижения стоимости элементов ПКА), *транспортные* (энергетические возможности средств выведения- максимально допустимая выводимая масса и габариты зоны полезного груза), *функциональные* (при выполнении целевых задач).

Эффективным подходом к определению облика ПКА, позволяющим удовлетворить указанные требования, является использование **блочно-модульной компоновки**, в которой все элементы ПКА организованы в виде иерархической системы блоков и модулей. Созданная на базе блочно-модульного подхода, иерархия ПКА составляет пилотируемую космическую инфраструктуру из отсеков, объединенных в специализированные модули транспортных и орбитальных ПКА. Такая инфраструктура позволяет эффективно строить ряды моделей и модификаций ПКА для каждой целевой задачи и, исходя из конкретного объема требований, комплектовать ПКА минимально необходимым числом блоков. Блочно-модульное разделение позволяет удовлетворить ограничения средств выведения. Унификация блоков и модулей, а также интерфейсов для конструктивного, энергетического и информационного сопряжения модулей позволяет удовлетворить экономическим и технологическим ограничениям.



(a)



(б)

Рисунок 1 – Эскиз станции ремонта и обслуживания КА

(а): 1а, 1б – грузовые буксиры; 2 – манипуляторы для крепления неисправного КА; 3 – солнечные батареи грузовых буксиров; 5 – маршевые (основные) двигатели; 6 – микродвигатели ориентации и причаливания; 7 – солнечные батареи космических кораблей; 8а, 8б – пилотируемые КА; 9а, 9б – стыковочные модули; 10 – модуль герметичного ремонта; 11 – внешний люк ремонтного модуля; 12 – манипулятор для монтажа неисправного КА; 13 – модуль негерметичного ремонта; 14а, 14б – жилой модуль.

(б): 15 – солнечные панели; 16 – топливные отсеки; 17 – сферические баки окислителя; 18 – сферические баки горючего;

На рисунке 1 представлен эскиз станции. При проектировании было рассмотрено множество различных вариантов расположения модулей на примере различных космических станций и аппаратов: вертикальная компоновка, горизонтальная компоновка. Была выбрана горизонтальная компоновка, так как это более эффективно для жизнедеятельности и работы космонавтов, распределения оборудования) Также были рассмотрены различные варианты расположения модулей между собой. В итоге была утверждена данная схема, так как она:

- Позволяет осуществлять правильное взаимодействие функций блоков (Из жилого модуля космонавт попадает в ремонтный),
- Правильно организовать все потоки информации, энергии, материальных средств (распределение энергии из топливных баков и т.д.),
- Создать эффективную структуру целевых и вспомогательных объектов на всех уровнях системы (Целевые объекты – ремонтные модули, вспомогательные объекты – топливные модули, буксиры и т.д.);
- Упростить проектирование, монтаж и эксплуатацию (Есть опыт в создании орбитальных станций по такому принципу);
- Повысить надежность и безопасность (Все модули продублированы, тем самым повышается безопасность космонавтов, а также сокращается время восстановления работоспособности);
- Создать интегрированную систему выполнения целевых задач (Ремонт распределяется на 2 зоны, тем самым увеличивая продуктивность, надежность и т.д.).

Также блочно-модульная компоновка позволяет модернизировать орбитальные комплексы путем замены отдельных модулей более совершенными без изменения остальных и всей структуры в целом.

#### *4.2.7 Модульная компоновка станции*

Для определения облика модульного космического комплекса требуется установить номенклатуру модулей и построить компоновочную схему их размещения, которая позволяет реализовать организацию общего герметичного обитаемого объема, зоны внекорабельной деятельности, а также расположения бортового оборудования. Компоновочная схема должна предусматривать развитие такой «пещеры» с учетом требований к логистике (грузопотокам и зонам хранения), а также путей эвакуации в аварийной ситуации.



Компоновка общего герметичного объема ПКА выполняется путем герметичного соединения внутренними переходами объемов отдельных модулей, в результате чего формируется обитаемое пространство в виде разветвленного коридора. При этом схемы соединения могут быть различными. Отработанными на практике схемами компоновки герметичных модулей являются линейная и лучевая компоновка. При проектировании станции были рассмотрены оба варианта. Однако, при линейной компоновке проектирование, монтаж, эксплуатация существенно усложняются, а также при большой длине увеличивается уровень микрогравитации на краях ПКА. Поэтому использование линейной компоновки нецелесообразно. Лучевая же компоновка, основанная на построении системы разветвленных коридоров путем соединения отсеков в узловых модулях, позволяет создать компактную конфигурацию ОС с большим герметичным объемом и высоким потенциалом развертывания. На рисунках представлена компоновка станции.

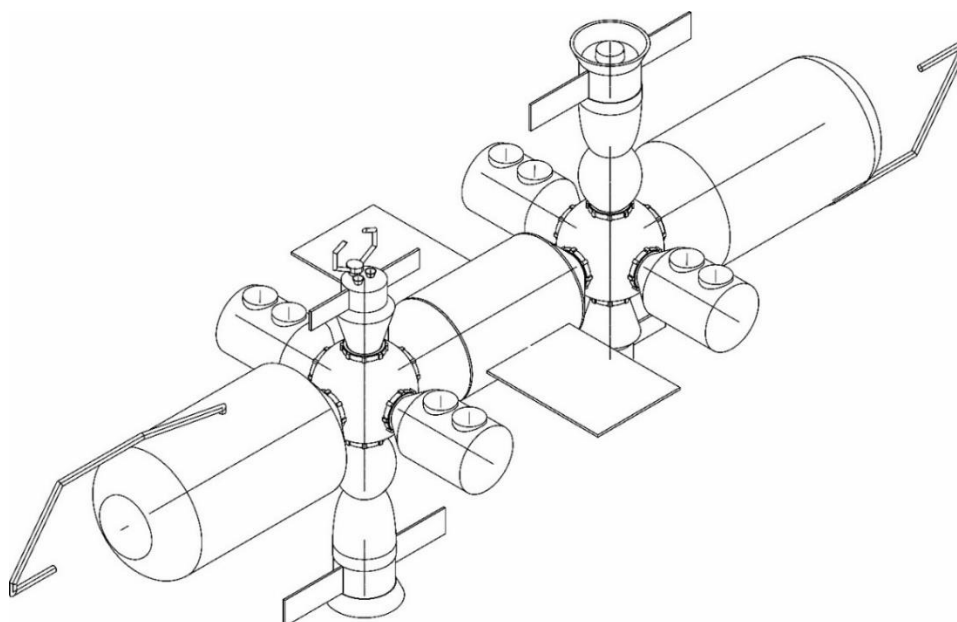


Рисунок 2 – Общий вид станции

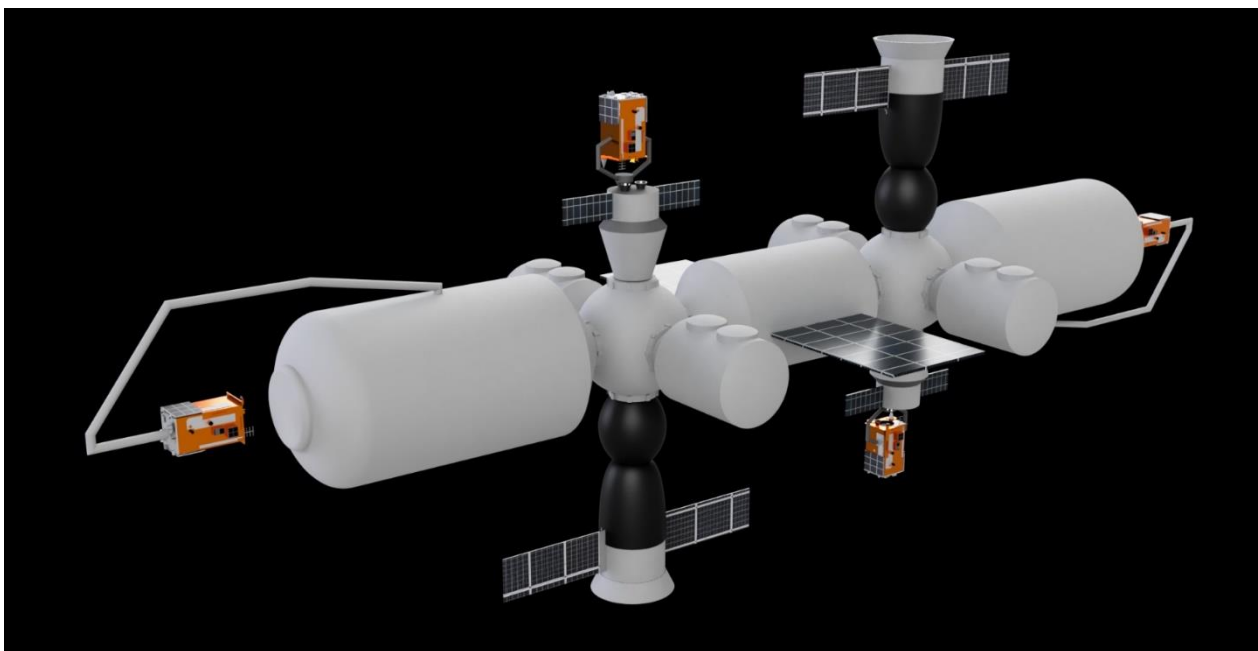


Рисунок 3 – Общий вид станции

#### *4.2.8 Построение космического комплекса*

Методы монтажа космического комплекса можно разделить на непосредственную стыковку модулей, стыковку модулей с применением промежуточных механизмов и сборку конструкций. При сборке компонентов комплекса используются, как правило, специальные разъемные соединения — стыковочные узлы, в конструкции которых имеются устройства, обеспечивающие заданную точность позиционирования, жесткость, прочность и герметичность соединения, а также возможность разъединения компонентов.

При непосредственной стыковке компонент комплекса доставляется к месту установки и причаливает к заданному стыковочному узлу с помощью собственной автономной системы управления движением.

При стыковке с использованием промежуточных механизмов компонент комплекса доставляется к стыковочному узлу дистанционно управляемой робототехнической системой.

Непосредственная стыковка аналогична операциям по приему транспортных КА — в качестве компонентов комплекса применяются специализированные транспортные корабли-модули, масса и габариты которых определяются возможностями РН.

В случае ремонтной станции соединительным узлом модулей в единый комплекс будет являться стыковочный модуль «Причал» в количестве двух штук. Изначально предполагается, что модули будут непосредственно стыковаться к стыковочному, но вариант установки на «Причалы» манипуляторов для перестыковки модуля на нужное место тоже рассматривается

#### *4.2.9 Характеристики внутреннего объема станции*

При проведении компоновки обитаемый объем распределяется между функциональными зонами деятельности. В качестве основных зон необходимо предусмотреть:

пути перемещения людей и грузов; рабочие зоны; складские зоны; зоны проведения гигиенических процедур; зоны для сна; зоны для приготовления и приема пищи; зоны для отдыха; зоны для занятия спортом и проведения медицинских процедур.

На данном этапе исследовательской работы рассматривается только компоновка путей перемещения людей и грузов, рабочие и складские зоны. Все остальные зоны будут находиться в жилом модуле и могут быть взяты из вариантов жилых модулей предыдущих орбитальных станций.

Требования к рабочим зонам:

- взаимосвязанные операции, использующие одно и то же оборудование, должны проводиться в смежных зонах;
- рабочие места следует изолировать, если благодаря этому улучшаются

безопасность и работоспособность экипажа, а также если проводимые на

данных местах операции несовместимы, например создают радиопомехи;

- при размещении аппаратуры зонирование должно обеспечивать минимальные длину и массу кабельных сетей;
- должно быть предусмотрено рабочее место для ремонтного участка, изолированное от остальных частей ПКА

Требования к рабочим зонам: взаимосвязанные операции, использующие одно и то же оборудование, должны проводиться в смежных зонах; рабочие места следует изолировать, если благодаря этому улучшаются безопасность и работоспособность экипажа, а также если проводимые на данных местах операции несовместимы, например создают радиопомехи; при размещении аппаратуры зонирование должно обеспечивать минимальные длину и массу кабельных сетей; должно быть предусмотрено рабочее место для ремонтного участка, изолированное от остальных частей ПКА.

#### *4.2.10 Герметичный модуль ремонта*

Итак, данный модуль предполагает ремонт неисправного КА в герметичном пространстве. Для реализации данного процесса необходимо, чтобы в модуле был шлюзовой отсек, который будет разгерметизироваться на время установки манипулятором неисправного КА. На этапе проектирования рассматривался вариант отдельной шлюзовой камеры, но данный вариант показался слишком неэффективным в связи с большими габаритами отсека. Поэтому было принято решение объединить зону ремонта и шлюзовой отсек. Соответственно ремонтная зона каждый цикл ремонта будет разгерметизирована на некоторое время, а затем снова герметична, с применением СЖО. Для повышения безопасности, а также для управления всеми был добавлен диагностический отсек (пост управления). В данном отсеке происходит управление манипулятором при монтаже и демонтаже неисправного КА, а также

отслеживания показателей датчиков в ремонтном отсеке для корректной работы.

### **Компоновочные элементы интерьера**

Для обеспечения благоприятных условий жизни и деятельности экипажа внутреннее пространство обитаемого объема ПКА должно быть оформлено в целостной, эстетически совершенной форме, что подразумевает создание интерьера обитаемого объема

Для обеспечения благоприятных условий жизни и деятельности экипажа внутреннее пространство обитаемого объема ПКА должно быть оформлено в целостной, эстетически совершенной форме, что подразумевает создание интерьера обитаемого объема. Как правило, интерьер складывается из нескольких основных элементов: конструктивных, ограничивающих объем, разграничительных, функциональных, декоративных.

Герметичный модуль разделен на две зоны фиксированной жесткой герметичной перегородкой с люком. Данная перегородка не только несет функциональный смысл, но и использована как метод зонирования пространства.

Существенную роль в зонировании интерьера играют цвет и освещение. Окраска интерьера должна обеспечивать эстетически и психологически удовлетворительные условия для экипажа. В данном варианте интерьер модуля выполнен в белых тонах, так как он является нейтральным, не пёстрым. Но при продолжительных полетах можно будет поменять освещение для смены оттенка, чтобы избежать утомление и раздражение. Также дизайн интерьера предполагает возможность индивидуализации и адаптации членов экипажа в процессе полета (доп. оборудования, наклейки, сувениры и т.д.)

### **Компоновка коридоров и проходов**

При проектировании модуля учитывалось, что космонавты перемещаются по станции в вертикальном положении головой вперед, поэтому в модуле сделаны необходимые оптимальные проемы для перемещения.

### **Складское оборудование**

В процессе ремонта используется большое количество инструментов, деталей и так далее. В ремонтном отсеке представлена система ящиков и сумок с ремнями, сетками, заколками и прокладками из пенистого материала. Всё это для хранения инструментов для внутрикорабельной деятельности, а также для хранения зап.частей, приборов, расходных материалов и так далее. Данные ящики выполнены таким образом, чтобы в них было легко ориентироваться (маркировка, всё имеет свое место), также удобно открываться/закрываться и так далее. Иллюстрации примеров хранения расположены в приложении Б

### **Установка для неисправного КА**

Главным агрегатом в ремонтном отсеке является установка для неисправного КА. Она выполняет несколько функций. Во-первых, установка служит фиксатором неисправного КА в ремонтном отсеке, так как с помощью собственных манипуляторов подбирает оптимальное положение для захвата КА. Во-вторых, установка служит облегчением работы космонавтов. Дело в том, что при глубоком ремонте космонавтам могут понадобиться разные части неисправного КА, а в условиях ограниченного пространства очень проблематично переворачивать/поворачивать КА каждый раз вручную. Поэтому в установку встроен вращательный механизм, который будет управляться самими членами экипажа при помощи пульта. Также, во избежание изменения траектории движения станции, в установке предусмотрен механизм (стабилизатор), который вращается в противоположную сторону с определенной скоростью, чтобы скомпенсировать вращение неисправного КА и стабилизировать станцию.

### **Компоновка фиксаторов и опор**

При проектировании станции была учтена необходимость наличия фиксаторов и опор для перемещения космонавтов. Особенно это необходимо для ремонтного отсека, ведь в нём космонавты испытывают максимальную необходимость в опоре и фиксации (работа с инструментом, установка деталей, доставание деталей и так далее). Поэтому на стене с ящиками сделаны поручни, для быстрого перемещения между ящиками, а также создания опоры при их открытии/закрытии. Также на полу установлены специальные фиксаторы ног космонавта для опоры при работе с инструментом, монтаже деталей и так далее. Ещё рассматривается наличие привязочных ремней. Рабочая одежда космонавта тоже должна быть соответствующая. Для эффективной работы необходима сумка с инструментами и наличие фиксаторов для малых элементов оборудования. Иллюстрации примера фиксаторов и упор расположены в Приложении В

### **Компоновка поста управления**

Для корректной работы ремонтного отсека необходимо наличие поста управления. Во-первых, он управляет важными этапами ремонта неисправного КА: монтаж и демонтаж КА при помощи манипулятора. Во-вторых, он непосредственно наблюдает за происходящим в ремонтном отсеке как при помощи камер (машинное зрение помогает распознать угрозу), так и при помощи датчиков в ремонтном отсеке, которые следят за климатом, герметичностью, давлением в ремонтном отсеке и так далее.

Роботизированная станция состоит из видеомониторов, которые служат для контроля управления манипулятором. Кроме того, в состав входят блок индикации и управления, портативный компьютер, блок курсора искусственного зрения и устройства управления. При размещении станции были учтены практически все требования к посту управления: удобство

подхода к рабочему месту, надежная работа приборов и органов управления, технологичность конструкции, применение рациональных средств индикации и обеспечение комфортных условий работы космонавтов за пультом, максимальное применение стандартных узлов, приборов, органов дыхания и их унификация. Иллюстрации поста управления расположены в приложении Г.

### **Компоновка оборудования системы жизнеобеспечения**

Ремонтный отсек предполагает работу космонавтов в герметичном пространстве с использованием системы жизнеобеспечения (СЖО) для создания искусственной атмосферы. Данная система будет устанавливаться в агрегатные отсеки модуля. В нее будут входить генератор искусственной атмосферы, система вентиляции, блок регулирования и управления атмосферой, трубопровод для подачи воздуха и вентиляции, система очистки воздуха и так далее. Также ремонтный отсек на циклы монтажа и демонтажа неисправного КА будет разгерметизирован. Соответственно предполагается возможность установки специальной системы, которая откачивает воздух на время монтажа/демонтажа, а затем выпускает его обратно и продолжает циркулировать.

### **Общий вид модуля**

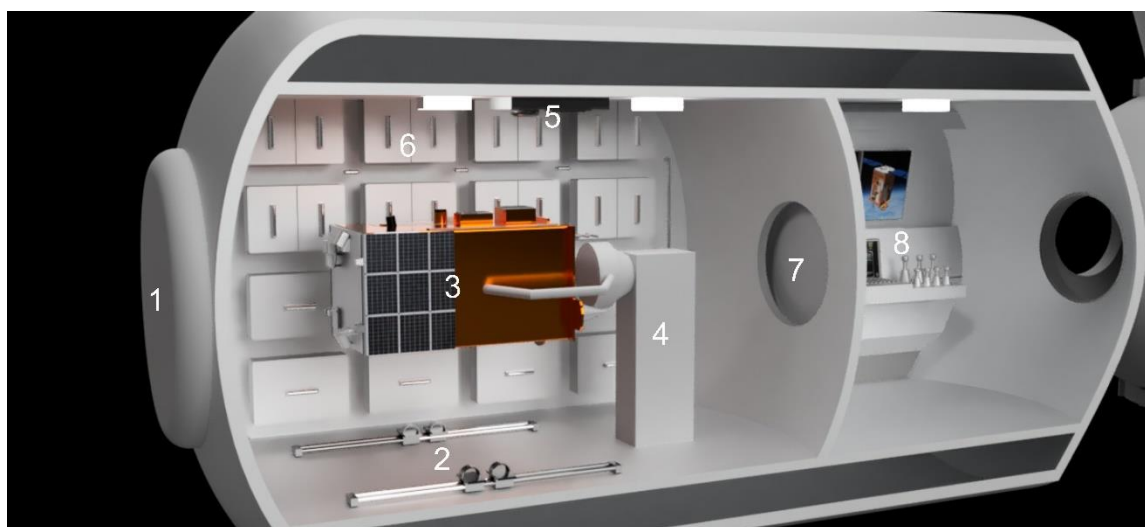


Рисунок 4 – общий вид модуля герметичного ремонта



1 – внешний люк; 2 – фиксаторы ног; 3 – неисправный КА; 4 – установка для неисправного КА; 5 – датчики и камера; 6 – ящики для инструментов и деталей; 7 – внутренний люк; 8 – пост управления.

#### *4.2.11 Негерметичный модуль ремонта*

Данный модуль предполагает ремонт и обслуживание спутников в открытом космосе. Предназначен для быстрого ремонта или замены внешних агрегатов неисправного КА, либо для обслуживания спутника (заправка, замена расходных материалов и так далее). Реализация ремонта спутников в негерметичном пространстве возможна, если космонавты будут выходить в открытый космос в скафандрах. Соответственно в модуле ремонта должна быть шлюзовая камера, из которой космонавт будет выходить в рабочую зону. При проектировании самой рабочей зоны были рассмотрены несколько вариантов. Было принято решение, что в основе рабочей зоны будут использованы ферменные металлоконструкции. На фермы будут крепиться установка для маневрирования космонавта, установка для фиксации спутника и другие.

#### **Компоновочные элементы интерьера**

Модуль негерметичного ремонта разделен на два отсека: шлюзовой отсек и рабочий отсек. Шлюзовой отсек отделен от рабочего отсека герметичной стеной. Рабочий отсек является негерметичным, но имеет защитную оболочку от космического излучения и микрометеоритов.

#### **Шлюзовая камера**

Шлюзовая камера предназначена для того, чтобы космонавт в скафандре выходил из нее в открытый космос (рабочую зону). Также она предназначена для хранения скафандров, инструментов для ремонта и прочего складского оборудования. Ещё в шлюзовой камере расположено бортовое оборудование для управления транспортировки неисправного спутника в рабочую зону (подобный тому, что расположен в модуле герметичного ремонта).

## **Рабочая зона**

Рабочий отсек имеет защитную оболочку. Она позволяет предотвратить попадания микрометеоритов, а также защищает космонавтов от радиационного излучения.

Как уже было сказано, в основе рабочего отсека лежат ферменные металлические конструкции. Использование данного метода является очень эффективным. Метод заключается в поэлементной установке и соединении всех деталей и узлов непосредственно на месте в условиях космического полёта. При этом детали и узлы могут иметь упрощенную конструкцию. Кроме того, предусмотрена возможность использовать неразъемные соединения (например, полученные сваркой, расклёпыванием), изменять и модернизировать конструкцию. Однако поэлементная сборка требует более длительного времени монтажа и проведения испытаний собранной конструкции, подтверждающих качество сборки. Поэтому предпочтительнее использовать гибридные технологии монтажа, основанные на поэлементной сборке разворачиваемых агрегатов, доставляемых на орбиту в виде транспортных упаковок. Соответственно, рабочая зона состоит из собираемых конструкций (металлические фермы) и собранных конструкций, доставляемых на орбиту (установка для крепления неисправного КА и прочее)

### **Металлоконструкции**

В рабочей зоне космонавты будут монтировать фермы, аналогичные фермам «Софора». Иллюстрации ферм расположены в Приложении Д

### **Установка для неисправного КА**

В рабочем отсеке неисправный спутник будет крепиться так же, как и в модуле герметичного ремонта, то есть при помощи установки для фиксации неисправного КА. В нём тоже будут системы вращения спутника и система стабилизации. Главным отличием является то, что данная установка будет

установлена на металлической ферме. При помощи специальных валиков, установка будет передвигаться вдоль фермы как по рельсам. Таким образом можно будет удобнее монтировать неисправный спутник.

### **Установка для маневрирования космонавта**

Помимо установки для неисправного КА, в модуле негерметичного ремонта также отличается способ фиксации космонавтов. В условиях открытого космоса, у космонавтов в скафандрах движения очень ограничены, поэтому фиксация ног, как в МГР, уже не подходит. Так как космонавтам при ремонте в космосе необходимо не только перемещаться, но и брать инструменты, детали, было принято решение об использовании установки для перемещения и маневрирования космонавтов (УМПК). Она будет также крепиться на металлическую ферму и перемещаться вдоль неё. Подробная схема УПМК 21КС «Мир» находится в Приложении Е.

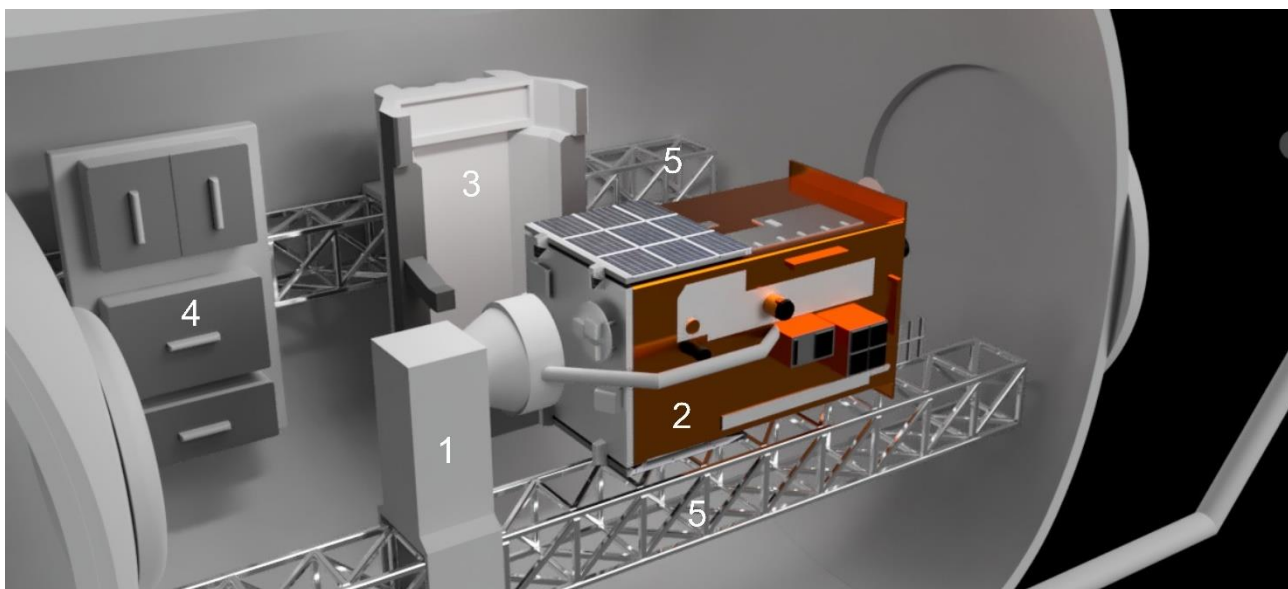
### **Установка для инструментов**

Основная составляющая ремонта – инструменты и запасные детали. В рабочем отсеке они должны где-то находиться. Для этого было разработано универсальное рабочее место, аналогично УРМ-Д, общий вид которого находится в Приложении Ж. Данное рабочее место представляют из себя платформу, также установленную на металлическую ферму. На платформе располагаются необходимые инструменты, зап. части, топливо и прочие нужные для ремонта и обслуживания вещи. Также рабочее место может менять конфигурацию в процессе космического полёта.

## Общий вид модуля



(a)



(б)

Рисунок 5 – Общий вид модуля негерметичного ремонта

а(шлюзовой отсек): 1 – панель управления; 2 – отсеки для хранения.

б(ремонтный отсек): 1 – установка для фиксации неисправного КА; 2 – Неисправный КА; 3 – Установка для перемещения и маневрирования космонавта; 4 – рабочее место; 5 – ферменные металлические конструкции.

#### *4.2.12 Габариты станции*

Главным ограничением при проектировании станции были габариты. Необходимо, чтобы все части станции входили в головной обтекатель ракеты-носителя для выведения на орбиту. При проектировании некоторых частей станции была учтена возможность использования ракеты-носителя «Ангара-А5».

#### *4.2.13 Создание макета станции*

Модули макета станции сначала были смоделированы в САПР «Компас-3Д», а затем изготовлены посредством 3Д печати. Далее модели прошли обработку (шпаклевку, шлифовку), были покрашены, а также детализированы. Все иллюстрации процесса находятся в Приложении 3.

#### *4.2.14 Оборудование макета*

Было принято решение оснастить макет станции электроникой для того, чтобы наглядно продемонстрировать принципы устройства станции, ремонт космических аппаратов и т.д. *В жилом модуле* станции установлены 2 солнечные панели, которые заряжают аккумуляторы, тем самым питая всё оборудование. *В герметичном ремонтном модуле* расположены: Плата ESP и датчик температуры, давления, влажности и прочее. Данная плата также синхронизируется с дисплеем nextion, который выводит данные, тем самым сообщая информацию на пост управления. Также в модуле установлена плата ESP8266 и подключенный к ней сервопривод для вращения спутника. Ещё установлена плата Raspberry Pi с камерой, которая транслирует видео из ремонтного отсека на веб-страницу. *В негерметичном ремонтном модуле* расположен сервопривод для УФС.

В жилом модуле расположены все коммуникации, т.е. провода, аккумуляторы, блок питания и т.д. Схема электроники расположена в Приложении И.

### **5. Заключение**

В результате всей работы была разработана компоновка станции ремонта и обслуживания космических аппаратов, а также создан демонстрационный

макет. Цель работы была достигнута. В ходе работы изучено множество информации про компоновку спутников и орбитальных станций. Дальнейшие направления исследования – изучение платформ спутников, деталей спутников и конструктивные особенности спутников, чтобы понять, как улучшить методы ремонта. Соответственно после улучшения методов ремонта потребуется обновление компоновки ремонтных модулей. Отдельная благодарность наставникам, подсказавшим важные идеи – Товарных Геннадий Николаевич, Бояринцев Александр Анатольевич, Смирнова Галина Леонидовна.

#### **6.Список использованных источников**

- 1) «Основы компоновки бортового оборудования пилотируемых космических аппаратов» - Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
- 2) «Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов» - Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
- 3) «Введение в конструирование космических аппаратов» - Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
- 4) <http://www.sat.belastro.net/glava2/glava2.php>
- 5) <http://ru.iszf.irk.ru/images/c/c9/MalkhanovV.pdf>
- 6) <https://astronaut.ru/bookcase/books/vok/text/04.htm>
- 7) <https://aboutspacejournal.net/2022/05/24/наса-создает-миссию-которая-будет-зап/>
- 8) <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-nodemcu-mqtt-publish-dht11-dht22-arduino/>
- 9) <https://microcontrollerslab.com/esp32-mqtt-publish-subscribe-arduino-ide/>
- 10) <http://www.esp8266learning.com/pca9685-led-controller-and-esp8266-example.php>
- 11) <https://t3alliance.org/lessons/rpi-node-red-streaming-rpi-camera-to-dashboard/>

## Приложения

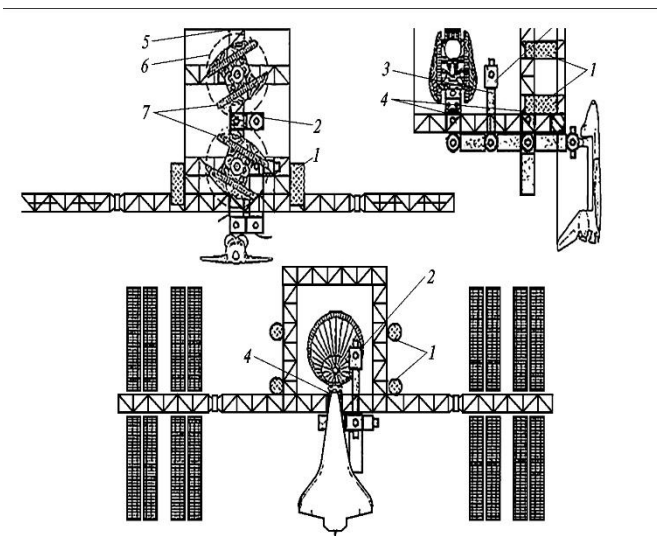
### Приложение А – Методы решения проблемы



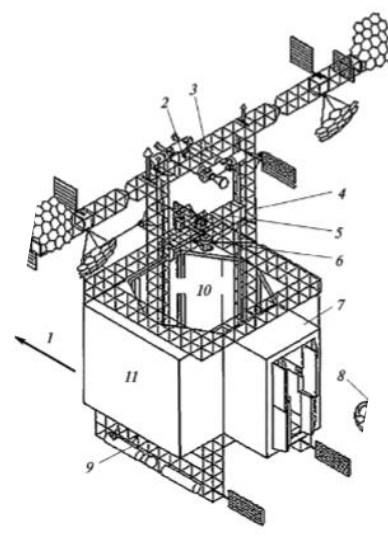
(а)



(б)



(в)

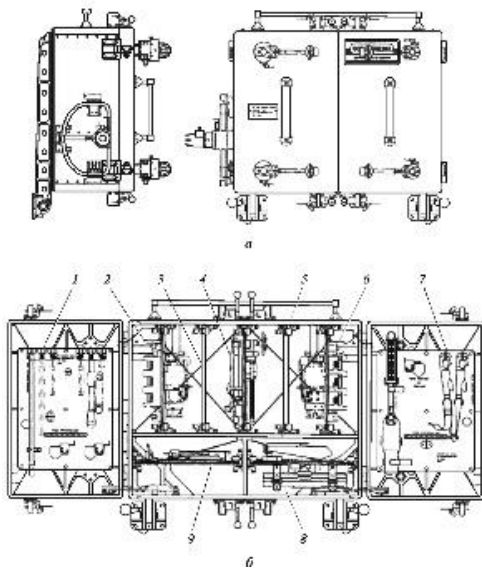


(г)

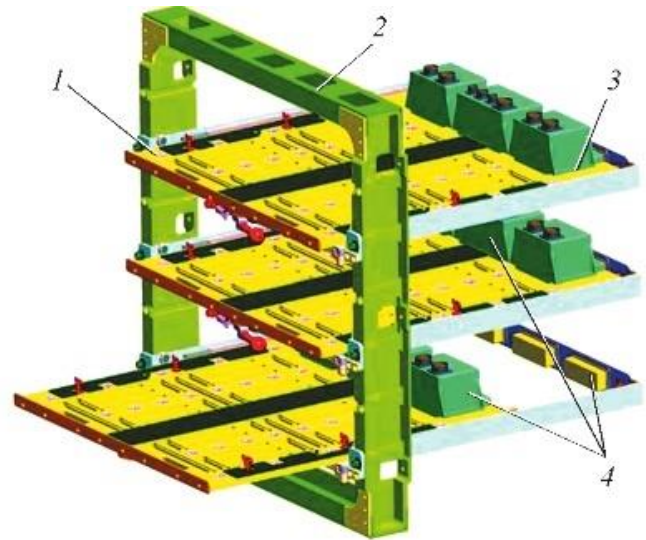
а – Американский ремонтный корабль «OSAM-1»; б - Американский ремонтный корабль «RSGS»; в - Космический док на базе ОС «Freedom»; г - Космический док «Atrium».



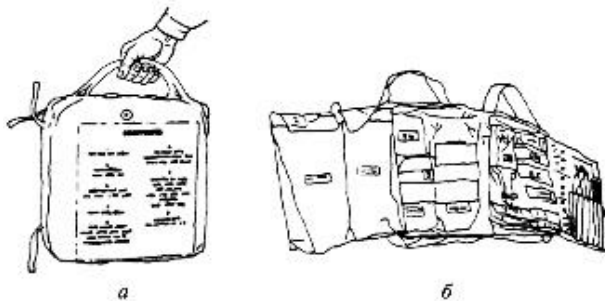
## Приложение Б – примеры хранения инструментов/деталей



(а)

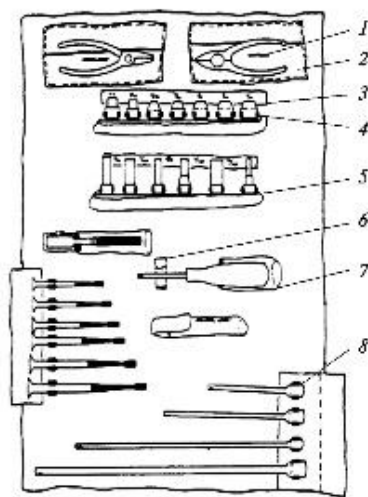


(б)



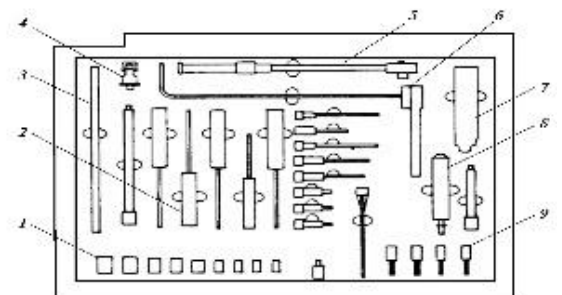
а

б

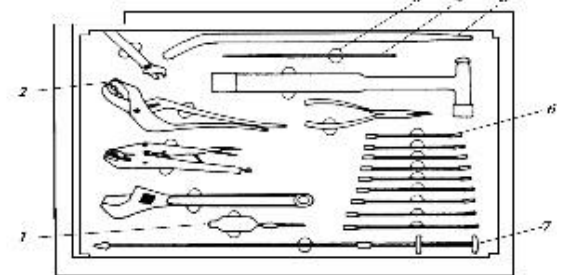


б

(в)



а



б



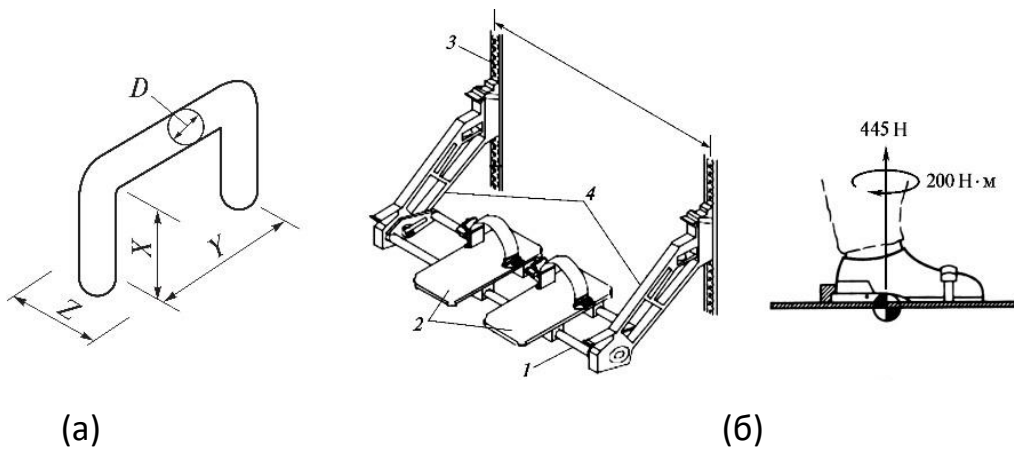
в

(г)

а – Контейнер для инструментов; б – Стойка для грузов; в – Размещение инструментов в сумке; г – пример хранения инструментов.



## Приложение В – Пример фиксаторов и опор

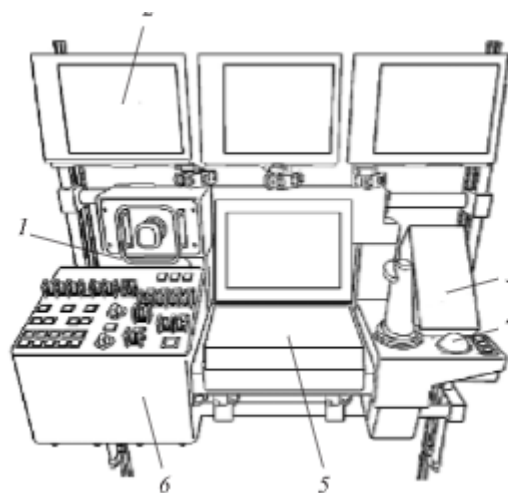
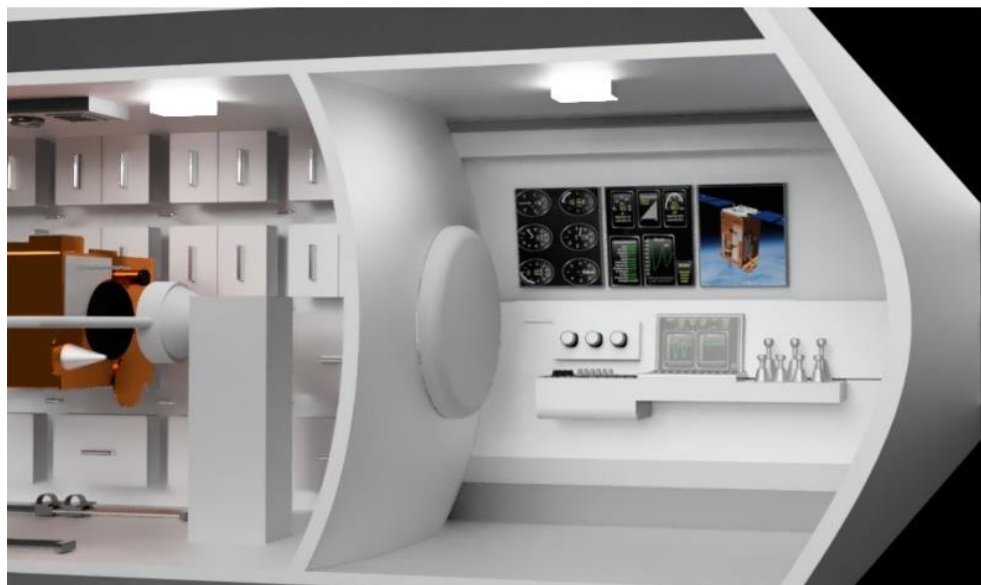


(a)

(б)

а – Поручень; б – Схема устройства фиксации ступней.

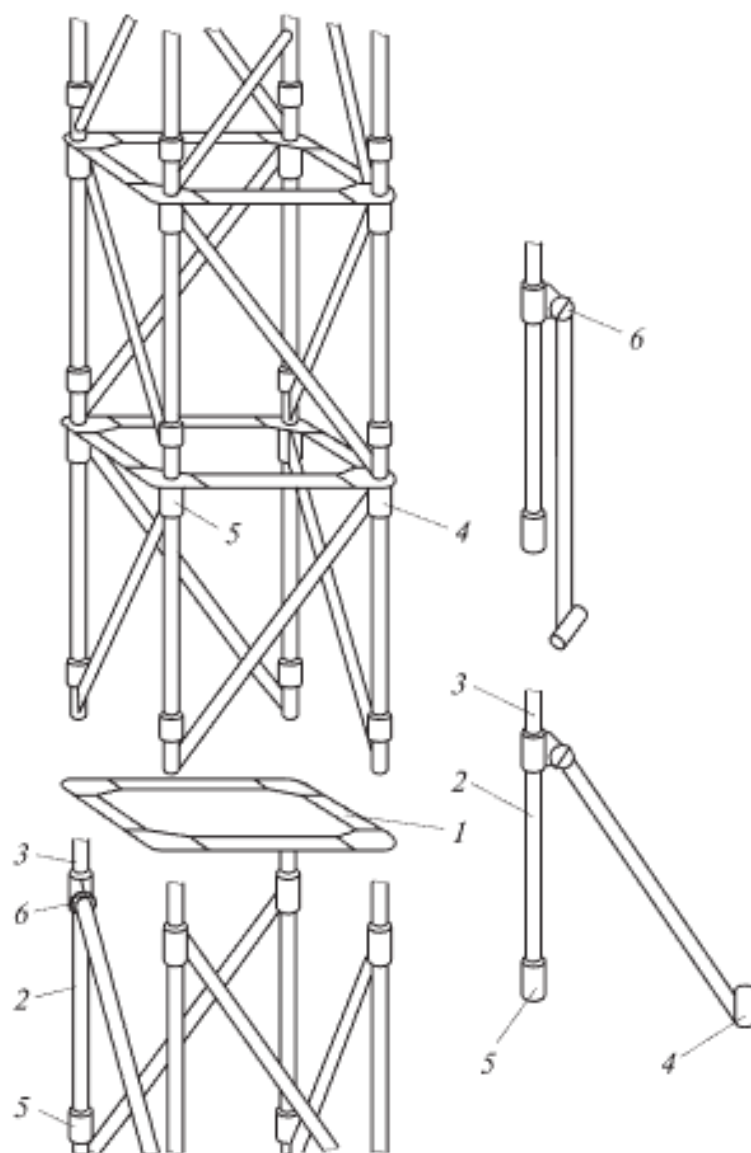
## Приложение Г – Пост управления



**Рис. 10.12.** Роботизированная переносная станция:

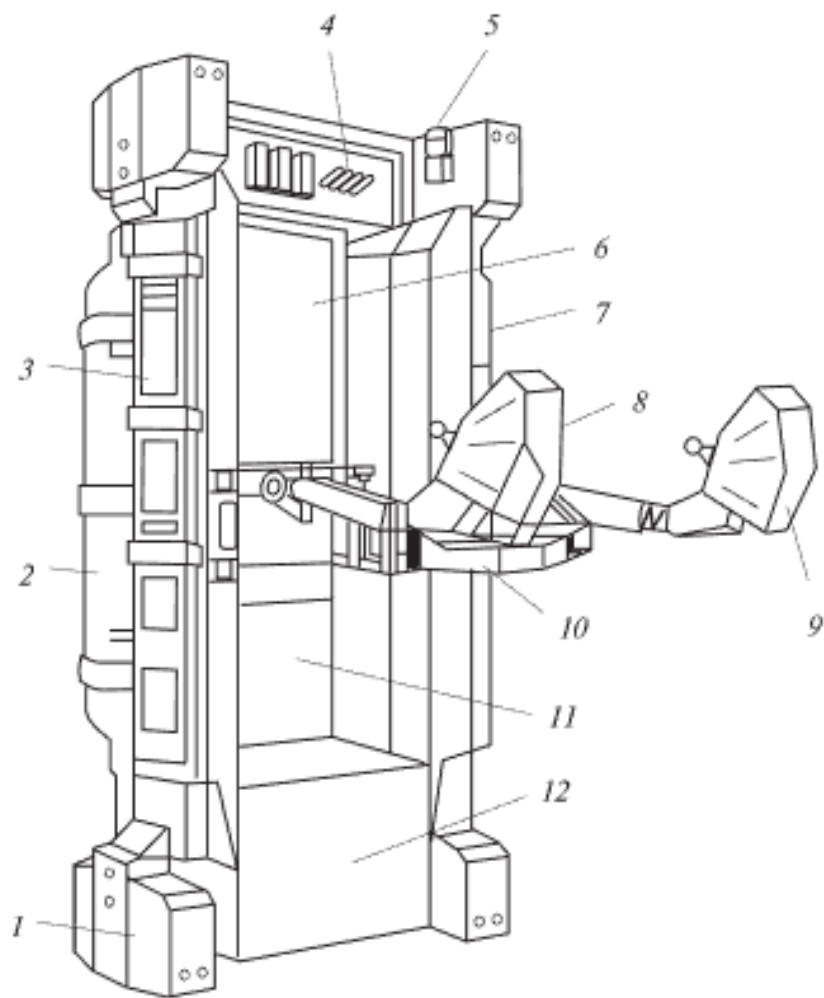
1 — джойстик управления поступательным движением; 2 — видеомонитор; 3 — джойстик управления вращением; 4 — блок курсора искусственного зрения и устройства управления; 5 — портативный компьютер; 6 — блок индикации и управления

## Приложение Д – Металлические ферменные конструкции



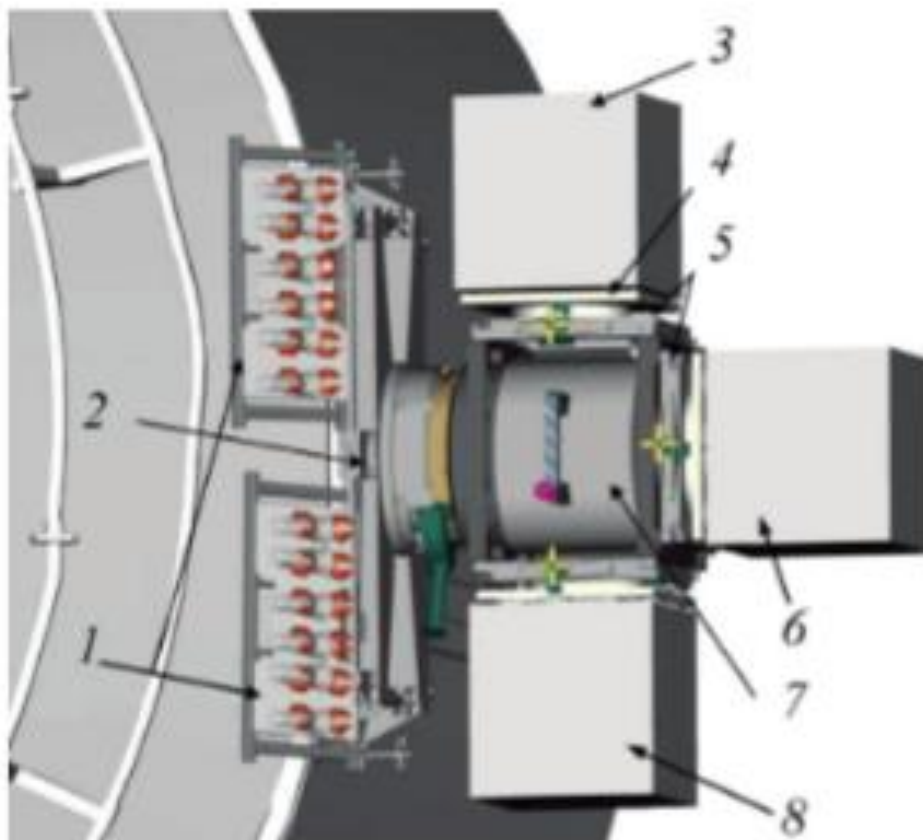
1 – диафрагма; 2 – У-образный элемент; 3 стрележень; 4 – фитинг; 5 – соединительная муфта; 6 шарнир.

## Приложение Е – Схема УПМК 21КС «Мир»



1 -Блок двигателей; 2 – Баллон со сжатым воздухом; 3 – Аккумулятор резервный; 4 – Блок коммуникации; 5 – навигационные огни; 6 – Блок управления; 7 – Основной аккумулятор; 8 – Пульт управления вращением; 9 – Пульт управления перемещением; 10 – Шпангоут; 11 – Блок датчиков угловых скоростей; 12 – агрегаты подсистем исполнительных органов.

#### Приложение Ж -Общий вид УРМ-Д



1 – Блок электрических разъемов; 2 – Базовая панель; 3,6,8 – Блок полезной нагрузки; 4 – Пассивный стыковочный адаптер; 5 – Активный стыковочный адаптер.

### Приложение 3 – Этапы создания макета



(a)



(б)

а – МКА «АИСТ-2Д», б - Ремонтный модуль

Рисунок 1 – Печать деталей макета



(a)



(б)

а – два ПКА «Союз» и стыковочный узел «Причал», б – Второй «Причал»

Рисунок 2 -получившиеся модели





(a)



(б)

а – При помощи шпаклевки, б – При помощи шлиф. машинки

Рисунок 3 – Обработка моделей



(a)



(б)

а – Покрытие грунтом, б – Покрытие эмалью

Рисунок 4 – Покраска моделей



Рисунок 5 – Окончательные доработки моделей



Рисунок 6 – Окончательные доработки моделей



Рисунок 7 – Сборка станции

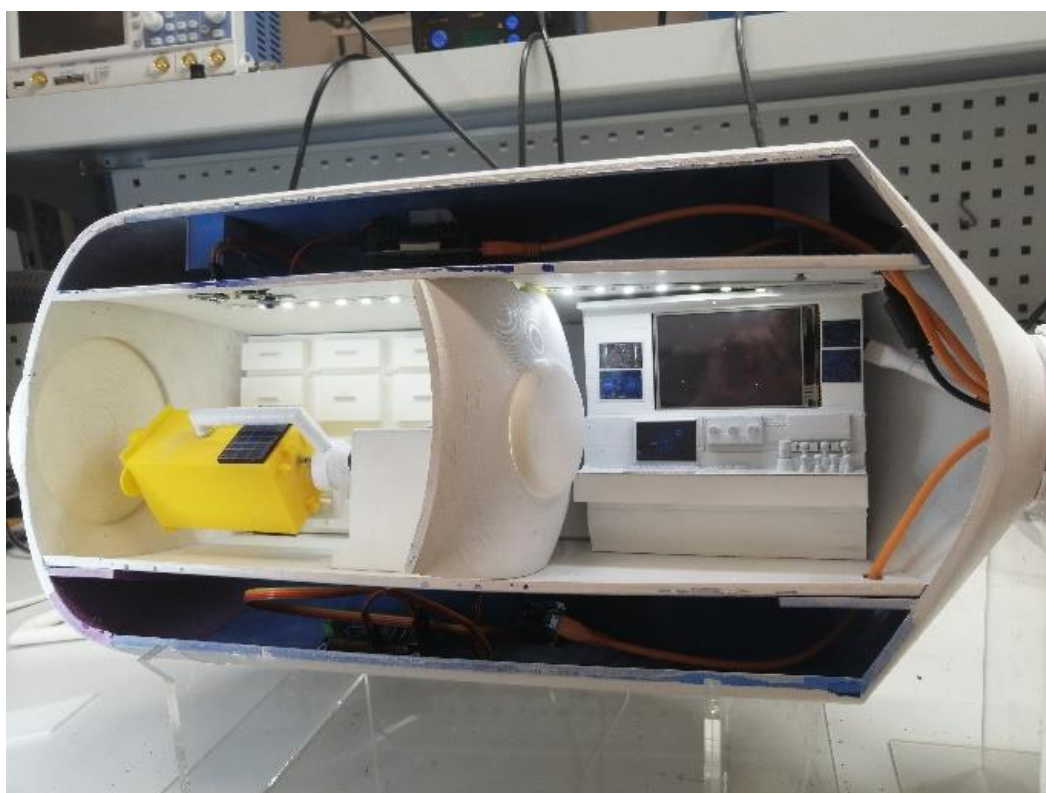


Рисунок 8 – Герметичный ремонтный модуль с электроникой



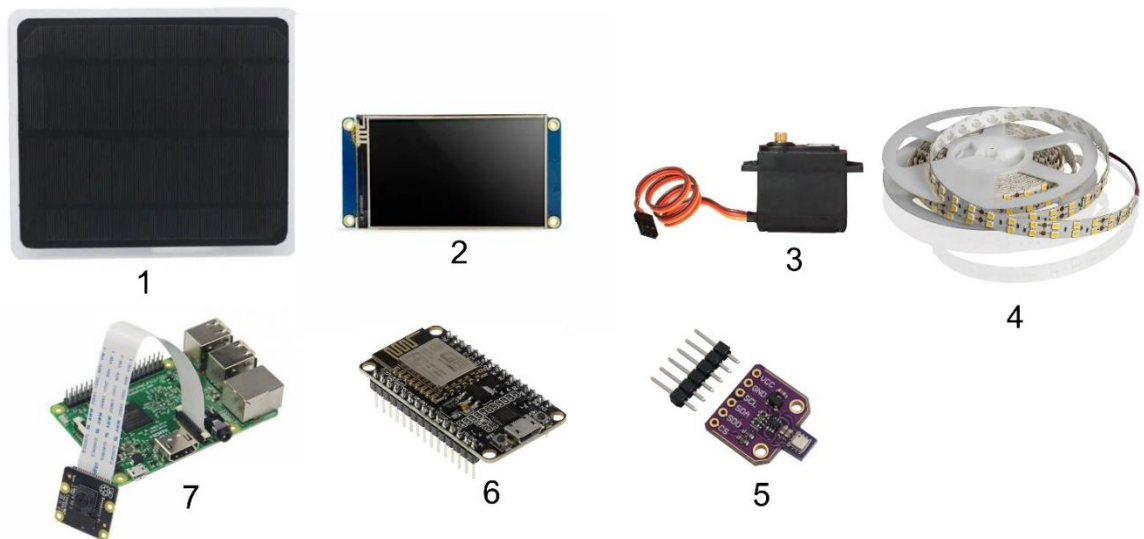


Рисунок 9 - Герметичный ремонтный модуль



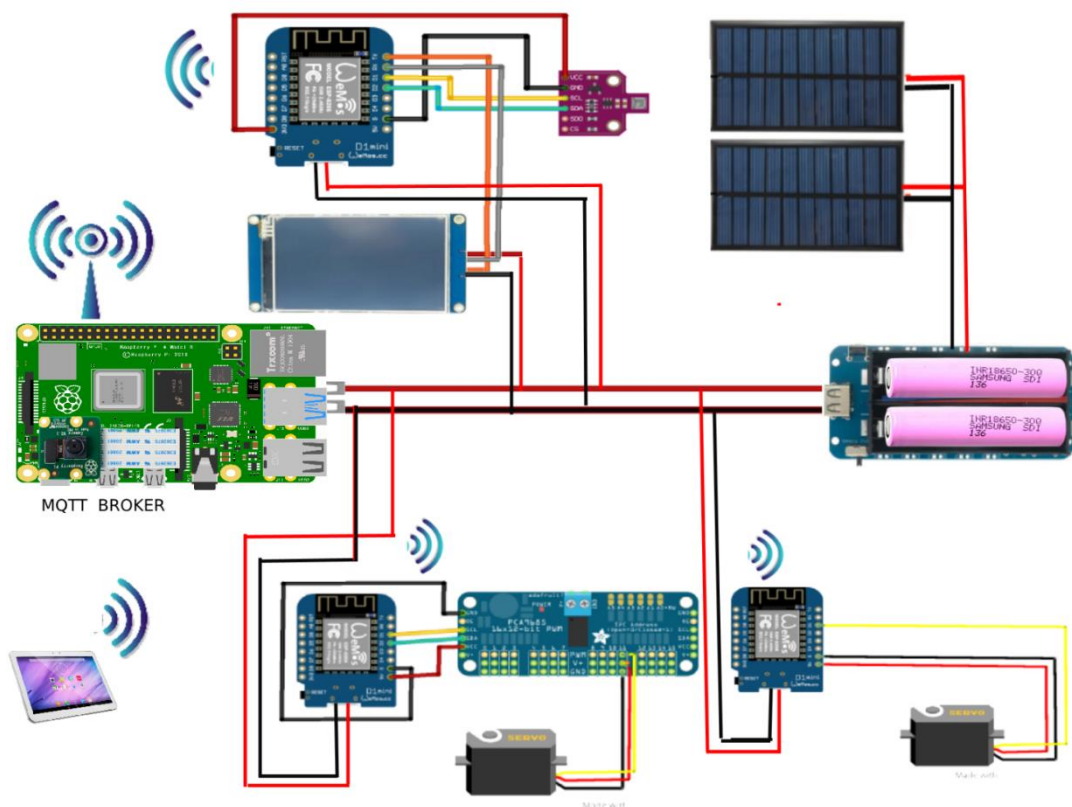
Рисунок 10 – Макет станции (без негерметичного ремонтного модуля)

## Приложение И – Электроника в макете

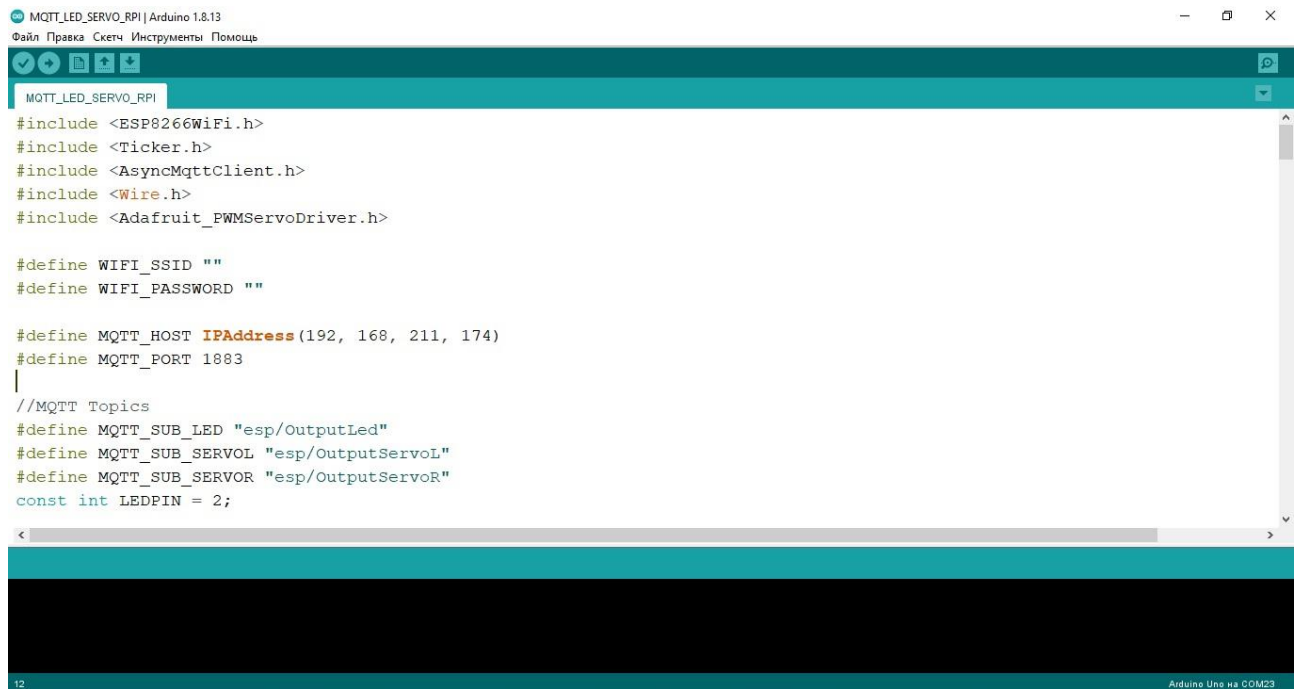


1 – Солнечная панель, 2 – Дисплей “Nextion”, 3 – Сервопривод “Feetech”, 4 – Светодиодная лента, 5 – Датчик температуры, давления, влажности BME 680, 6 – Плата ESP 8266, 7 – Плата Raspberry Pi 3 с камерой.

## Приложение К – схема электроники в макете



## Приложение Л – отрывок скетча для электроники



```
MQTT_LED_SERVO_RPI
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Ticker.h>
#include <AsyncMqttClient.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>

#define WIFI_SSID ""
#define WIFI_PASSWORD ""

#define MQTT_HOST IPAddress(192, 168, 211, 174)
#define MQTT_PORT 1883

//MQTT Topics
#define MQTT_SUB_LED "esp/OutputLed"
#define MQTT_SUB_SERVOL "esp/OutputServoL"
#define MQTT_SUB_SERVOR "esp/OutputServoR"
const int LEDPIN = 2;
```

12 Arduino Uno на COM23