



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 54.04.01 Дизайн
ООП/ОПОП Промышленный дизайн
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Особенности дизайн-проектирования в условиях невесомости

УДК 658.512.2:629.78

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д. филос. н., профессор		

Со-руководитель ВКР (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	к. филос. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОБД	Федорчук Юрий Митрофанович	д. т. н.		

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОАР ИШИТР	Кузьминская Елена Вячеславовна	к. т. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д. филос. н., профессор		

Томск – 2023 г.

Результаты обучения по направлению 54.04.01 «Дизайн»

Код компетенции	Наименование компетенции
Общекультурные (универсальные) компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень
ОПК(У)-2	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Готовность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ
ОПК(У)-4	Способность вести научную и профессиональную дискуссию
ОПК(У)-5	Готовность проявлять творческую инициативу, брать на себя всю полноту профессиональной ответственности
ОПК(У)-6	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, непосредственно не связанных со сферой деятельности
ОПК(У)-7	Готовность к эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с направленностью (профилем) программы)
ОПК(У)-8	Готовность следить за предотвращением экологических нарушений
ОПК(У)-9	Способность социального взаимодействия, самоорганизации и самоуправления системно-деятельностного характера, к активному общению в творческой, научной, производственной и художественной жизни
ОПК(У)-10	Готовность участвовать в творческих мероприятиях (художественных выставках, дизайнерских конкурсах)
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-5	Готовность синтезировать набор возможных решений задач или подходов к выполнению проекта, способностью обосновывать свои предложения, составлять подробную спецификацию требований к проекту и реализовывать проектную идею, основанную на концептуальном, творческом подходе, на практике

ПК(У)-1	Готовность демонстрировать навыки научно-исследовательской деятельности (планирование научного исследования, сбор информации и ее обработки, фиксирования и обобщения полученных результатов), способность представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных художественных средств редактирования и печати, а также владеть опытом публичных выступлений с научными докладами и сообщениями
ПК(У)-2	Способность к определению целей, отбору содержания, организации образовательной деятельности, выбору образовательных технологий, оценке результатов, ориентированностью на разработку и внедрение инновационных форм обучения с помощью компьютерной техники, создание авторских программ и курсов
ДПК(У)-1	Готовность демонстрировать наличие комплекса информационно-технологических знаний для оценки технологичности проектно-конструкторских решений, проведения опытно-конструкторских работ и продвижения творческого продукта на рынке товаров и услуг
ДПК(У)-2	Способность к трансформации творческих идей, результатов научных исследований и внедрению их в практику за счет организации работы творческого коллектива при определении оптимальных решений производственного процесса в условиях обеспечения безопасности труда
ДПК(У)-3	Способность к системному пониманию художественно-творческих задач проекта, владение навыками линейно-конструктивного построения и основами академической живописи и скульптуры для проявления своей творческой индивидуальности

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (ООП) - 54.04.01 Дизайн
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Кухта М.С.
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна

Тема работы:

Особенности дизайн-проектирования в условиях невесомости	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-92/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	07.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объектом научного исследования является эргономика и особенности проектирования аппаратуры для космической отрасли. Предмет 3д-принтер, предназначенный для работы в условиях невесомости. Целью магистерской диссертации является научное обоснование специфики дизайн проектирования в условиях невесомости и разработка дизайна и конструкции корпуса 3д-принтера для работы на космической станции. Область применения: устройство применяется в условиях невесомости на борту космической станции. Требования: устройство должно удовлетворять требованиям к проектированию космической аппаратуры и учитывать влияние</p>
---	---

	микрогравитации на физиологическое и психологическое состояние человека,
--	--

<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Аналитический обзор по литературным источникам: обзор научных работ и патентов на тему разработки 3д-принтера. Выявление требований к безопасности, эргономике, проектированию 3д-принтера. Основная задача проектирования: разработать дизайн-решения устройства (космический 3д-принтер), эксплуатируемого в невесомости, в соответствии с выявленными и научно обоснованными требованиями к условиям работы на борту космической станции. Содержание процедуры проектирования: разработка дизайн-концепции и эскизов; разработка 3д-модели; разработка художественно-визуальной подачи проекта.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Два демонстрационных планшета формата А0; электронная презентация; видеоролик.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Концепция стартап-проекта	Черепанова Наталья Владимировна, канд. филос. наук, доцент ШИП
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович, д. т. н., профессор ОБД
Английский язык	Персидская Анастасия Сергеевна, ст. преподаватель ОИЯ

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:
Введение
Глава 1. Научно-исследовательская часть

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д.филос.н., профессор		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна		03.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки – 54.04.01 «Дизайн»

Уровень образования – Магистратура

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2022/2023 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2022 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2022 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2022 г.	Раздел «Концепция стартап-проекта»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д.филос.н., профессор		03.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д.филос.н., профессор		03.02.2023

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Студенту:

Группа	ФИО
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	54.04.01 Дизайн

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<p><i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i></p>	<p>Решаемая проблема:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проектирование корпусов для не серийного производства специальной аппаратуры; - исследование внешних и внутренних факторов для проектирования “особых” приборов; - повышение удобства эксплуатации продукта в особых условиях или замкнутых пространствах; - улучшение психоэмоционального состояния космонавта за счет колористического решения и тактильного восприятия продукта; - открытие рынка аэрокосмических технологий.
<p><i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i></p>	<p>В качестве закрепления авторского права на изобретение предполагается оформить патент на промышленный образец.</p>
<p><i>Объем и емкость рынка</i></p>	<p>Рынок аэрокосмической отрасли в государственном секторе: включает в себя: производство самолетов, двигателей, гражданские и военные разработки, производство авиационных систем и компонентов, производство спутников, ракет, антенн и другое.</p> <p>Рынок аэрокосмической отрасли в частном секторе: заказная разработка приборов и устройств для аэрокосмической отрасли отсутствует на рынке.</p>
<p><i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i></p>	<p>Аэрокосмическая отрасль переживает быстрый рост и расширение, при этом мировая космическая экономика растет примерно на 6% в год. В последние годы возрос спрос на коммерческие запуски и миссии снабжения, космический туризм и дистанционное зондирование.</p> <p>Перспективы развития: непрерывный рост рынка. Потенциал роста аэрокосмической отрасли огромен. Новые возможности в области связи, наблюдения за Землей, космических путешествий, космического туризма и исследования дальнего космоса будут способствовать дальнейшему росту.</p>

<i>Себестоимость продукта</i>	Себестоимость изготовления комплектующих корпуса 3д-принтера составляет 235 734 рублей. Общая себестоимость изготовления корпуса 3д-принтера составляет 423 974 рублей.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	В результате анализа выявлены преимущества: - индивидуальный подход к разработке; - применение системного анализа, как инструмента проектирования прибора; - эргономичность специализированных корпусов устройств.
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными аналогами</i>	Можно выделить следующие характеристики услуги: 1. Индивидуальный подход к проектированию устройств. 2. Соответствие требуемым функциональным условиям. 3. Обеспечение оптимальной эффективности и долговечности.
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Основные целевые сегменты потребителей создаваемой услуги - частные и государственные компании аэрокосмической отрасли.
<i>Бизнес-модель проекта</i>	Бизнес-модель, содержащая 7 ключевых этапов.
<i>План продаж</i>	План продвижения продукта на рынок включает в себя 2 основных этапа: 1. Стратегия продвижения продукта через коммерческое предложение. 2. Стратегия продвижения продукта через участие на выставках.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы</i>	Бизнес-модель.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	канд. филос. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна

Тема магистерской диссертации: «Особенности дизайн-проектирования в условиях невесомости»

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	54.04.01 Дизайн

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: эргономика и особенности проектирования аппаратуры для космической отрасли. Область применения: космическая промышленность. Рабочее место: офис с персональным компьютером. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, принтер, телефон мобильный.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Природа воздействия ● Действие на организм человека ● Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) ● СЗ коллективные и индивидуальные <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Термические источники опасности ● Электробезопасность ● Пожаробезопасности 	<p>1. Вредные факторы:</p> <p>1.1. Недостаточная освещенность;</p> <p>1.2. Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</p> <p>1.3. Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.4. Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>2. Опасные факторы:</p> <p>2.1. Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Приведен расчет освещения рабочего места;</p> <p>2.2. Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Выбросы в окружающую среду ● Решения по обеспечению экологической безопасности 	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;</p>

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 1.перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3.разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>ГОСТы, СанПиНы, СНИПы.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.2023 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		16.04.2023 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна		16.04.2023 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 126 страницы, 11 таблиц, 42 рисунка, 61 источник информации, 2 приложения.

Ключевые слова: 3д-принтер, космическая аппаратура, проектирование, микрогравитация, эргономика, конструкция, дизайн.

Объектом исследования является 3д-принтер для печати в условиях микрогравитации.

Целью магистерской диссертации является разработка дизайна и конструкции корпуса 3д-принтера для печати в условиях невесомости.

В результате исследования был разработан дизайн и конструкция корпуса 3д-принтера, предназначенного для печати в условиях невесомости.

Объект применяется на Международной космической станции и Российской орбитальной служебной станции.

Оглавление

Введение.....	15
1 Научно-исследовательская часть.....	18
1.1 Основные требования к дизайн-проектированию 3д-принтера	19
1.2 Патентный поиск.....	22
1.2.1 Прямые аналоги.....	24
1.2.2 Косвенные аналоги	28
2 Исследование предметной области проектирование	32
2.1 Антропометрия в космическом пространстве.....	32
2.1.1 Влияние микрогравитации на физиологию человека	32
2.1.2 Антропометрические данные космонавтов.....	34
2.2 Соматографический анализ.....	37
2.3 Анализ органов управления	41
2.4 Анализ опыта эксплуатации космического 3D-принтера.....	44
2.5 Исследование влияния цвета на психологию человека	46
2.6 Использование системного подхода в разработке дизайна 3д-принтера	48
2.6.1 Разработка системы «Космический принтер»	49
2.6.2 Постановка центральной цели системы.....	49
2.6.3 Выявление подсистем для системы «Космический принтер»	49
2.6.4 Элементы системы «Космический принтер»	54
2.6.5 Систематизирование и выявление взаимосвязей системы	55
3 Проектирование 3д-принтера	58
3.1 Эскизные решения	58

3.2	Определение лучшего эскизного решения методом экспертных оценок	60
3.3	Моделирование 3д-принтера	65
3.4	Исследование модели 3д-принтера методом соматографического анализа.....	68
4	Концепция стартап-проекта	71
4.1	Описание услуги.....	71
4.2	Способы защиты интеллектуальной собственности	73
4.3	Объем и емкость рынка	74
4.4	Современное состояние и перспективы отрасли	76
4.5	Себестоимость услуги	77
4.6	Конкурентные преимущества	79
4.7	Целевые сегменты потребителей услуги	82
4.8	Бизнес-модель проекта	82
4.9	Стратегия продвижения услуги на рынок	84
5	Социальная ответственность	87
5.1	Производственная безопасность	87
5.1.1	Отклонение показателей микроклимата в помещении	87
5.1.2	Превышение уровней шума	89
5.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	90
5.1.4	Недостаточная освещенность	92
5.1.5	Факторы электрической природы	96
5.1.6	Факторы пожарной и взрывной природы	96
5.2	Экологическая безопасность.....	98
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	100
Заключение	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А	110

Введение

В современном мире 3D-печать широко используется в различных отраслях, включая здравоохранение, аэрокосмическую промышленность, автомобилестроение и производство потребительских товаров.

Одним из самых интересных применений технологии 3D-печати является печать в космосе. 3D-принтеры могут произвести революцию в космической отрасли, уменьшив необходимость транспортировки всего с Земли, что может сэкономить средства, время и ресурсы. В 2014 году 3D-принтер был впервые отправлен на Международную космическую станцию (МКС), и с тех пор НАСА проводит дальнейшие исследования и разработки в области 3D-печати в космосе.

Для печати в космосе требуются 3D-принтеры, которые могут работать в условиях невесомости и с уникальными требованиями космических путешествий. Принтеры должны быть способны работать с прочными, легкими и удобными для транспортировки материалами. Это привело к созданию специализированных 3D-принтеров, которые могут печатать объекты из различных материалов, включая пластик, металл и керамику.

Обзор литературы: В исследовании 2018 года, опубликованном в журнале «Manufacturing Letters», ученые разработали и построили полиоксиметиленовый (POM) 3D-принтер, который может работать в условиях невесомости. Каркас принтера состоит из модульных компонентов, обеспечивающих устойчивость, и встроенных функций, минимизирующих эффекты ускорения. Исследователи также разработали новый тип нити POM, которая может экструдироваться в условиях невесомости, что в сочетании с низким ускорением принтера и стабильной печатной рамой обеспечивает точную печать [1].

В исследовании 2019 года, опубликованном в журнале «Applied Sciences», изучалась возможность использования процесса лазерного спекания для 3D-печати в условиях невесомости. Исследователи предложили

небольшую систему лазерного спекания, в которой использовалась мобильная головка для лазерного спекания, которая перемещалась по платформе сборки с помощью подвесной порталной системы. Компоненты принтера были стабилизированы, а в рабочей камере поддерживалась постоянная температура, чтобы предотвратить прилипание порошка к внутренним компонентам [2].

Актуальность исследования: возможность печатать в космосе имеет большое значение для будущего освоения космоса. 3D-печать можно использовать для создания инструментов, запасных частей и даже мест обитания на других планетах, на Международной космической станции (МКС), а затем и на Российской орбитальной служебной станции (РОСС), что позволяет выполнять более длительные миссии, которые становятся все более самодостаточными. Кроме того, эту технологию потенциально можно использовать для создания запасных частей или ремонта в условиях длительных космических миссий, не полагаясь на дорогостоящие и трудоемкие миссии по пополнению запасов с Земли в космос.

Проблема исследования: отсутствие рынка аэрокосмических технологий сопутствует современным проблемам проектирования космической аппаратуры. При проектировании 3д-принтера устанавливаются строгие требования к безопасности, надежности, работоспособности, материалам, качеству печати. Все перечисленные требования имеют высокий приоритет. Таким образом, при проектировании космической аппаратуры редко учитывается колористика, эргономика и эстетика.

Целью магистерской диссертации является разработка дизайна и конструкции корпуса 3д-принтера для печати в условиях невесомости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить принцип работы и комплектующие 3д-принтера;
- 2) провести патентный поиск;
- 3) провести исследование аналогов;

- 4) составить требования к проектированию 3д-принтера;
- 5) разработать концепцию проекта;
- 6) разработать промышленный дизайн и конструкцию 3д-принтера;
- 7) оформить отчет и графические материалы о проделанной работе.

Объектом научного исследования: эргономика и особенности проектирования аппаратуры для космической отрасли.

Предметом исследования является 3д-принтер, предназначенный для печати в условиях невесомости.

Научная новизна исследования заключается:

- в разработке эргономичной формы корпуса 3д-принтера, обеспечивающей эксплуатацию и требования к материалам в условиях невесомости;
- в проектировании органов управления прибором с учетом тактильных ощущений и эргономики на МКС и РОСС;
- в разработке системы безопасности, комфорта, эргономичности, эстетики создаваемых изделий для эксплуатации на космическом корабле;
- в научно обоснованных методах улучшения условий труда за счет изменения дизайна объекта.

Практической значимостью магистерской диссертации является представленный эргономичный дизайн корпуса и органов управления 3д-принтером, обеспечивающий комфортную работу с объектом, и оказывающий положительное влияние на эмоциональное состояние космонавтов.

1 Научно-исследовательская часть

В последние годы 3D-принтеры становятся все более популярными благодаря их способности создавать трехмерные объекты из цифровых файлов. Сегодня доступны различные технологии 3D-печати, такие как моделирование методом наплавления (FDM), стереолитография (SLA) и селективное лазерное спекание (SLS). Каждая технология предлагает уникальные преимущества и недостатки, но все они имеют общую способность создавать объекты сложной геометрической формы и сложной внутренней структуры [3].

От здравоохранения до потребительских товаров 3D-печать может революционизировать наши представления о производстве. В области медицины 3D-принтеры использовались для создания протезов конечностей, зубных имплантатов и даже органов для трансплантации. Это открыло возможности для персонализированных и изготовленных на заказ медицинских устройств. В мире моды наблюдается появление 3D-печати одежды и украшений, демонстрирующих потенциал творчества и индивидуальности в процессе проектирования.

3D-печать также нашла применение в космической отрасли, где она сыграла решающую роль в строительстве Международной космической станции (МКС). Не имея доступа к традиционным методам производства, НАСА использовало 3D-принтеры для производства инструментов и запасных частей на борту МКС. Это позволило астронавтам выполнять задачи по ремонту и техническому обслуживанию без необходимости дорогостоящих и трудоемких миссий по пополнению запасов.

Кроме того, 3D-печать может сократить количество отходов в производственных процессах, поскольку для создания объекта используется только необходимое количество материала. Это более устойчивый подход по сравнению с традиционными методами производства, которые часто приводят к избыточным отходам.

Роль 3D-принтеров в жизни человека быстро растет, и эта технология может изменить представления о производстве и потреблении в будущем. Возможность печати в космосе открывает новые возможности для освоения космоса, а способность быстро и эффективно производить продукцию по индивидуальному заказу имеет большое значение для широкого круга отраслей.

1.1 Основные требования к дизайн-проектированию 3д-принтера

3д-принтер – это устройство, которое создает трехмерные объекты путем укладки последовательных слоев материала, обычно пластика или металла, в процессе, называемом аддитивным производством [4]. Этот процесс позволяет создавать сложные индивидуальные формы и конструкции, которые трудно или невозможно изготовить с помощью традиционных методов производства [4].

В данной работе большую роль играют физические характеристики за счет того, что на них введены строгие ограничения, обусловленные техникой безопасности на космической станции, условиями микрогравитации, законами физики. При составлении требований к проектированию прибора так же необходимо учитывать функционал прибора и условия испытания изделия.

В состав 3D-принтера входит блок 3D-принтера, комплект внешних носителей информации, кабели, комплект расходных материалов. Блок 3D-принтера состоит из герметичной рабочей камеры, в которой встроена печатающая система. Она включает в себя экструдер с подачей филамента и подвижный подогреваемый стол. Блок 3D-принтера оснащен системой терморегулирования и вентиляции герметичной рабочей камеры. Снаружи камеры размещается управляющий компьютер [5].

Блок 3D-принтера предназначен для создания изделий методом послойного наплавления термопластичных полимеров в условиях

космического полета. Носители информации необходимы для хранения параметров настройки 3D-принтера, данных для печати, данных, записываемых в процессе работы устройства.

Требования по эргономике. Естественная поза человека в условиях микрогравитации имеет особенности такие как: сгибание голеностопного сустава к подошве стопы, сгибание тазобедренных и коленных суставов, легким отведением бедра, легким сгибанием туловища вперед, плечи, руки и локти поднимаются вверх, а шея наклоняется вперед (рисунок 1) [5, 6].

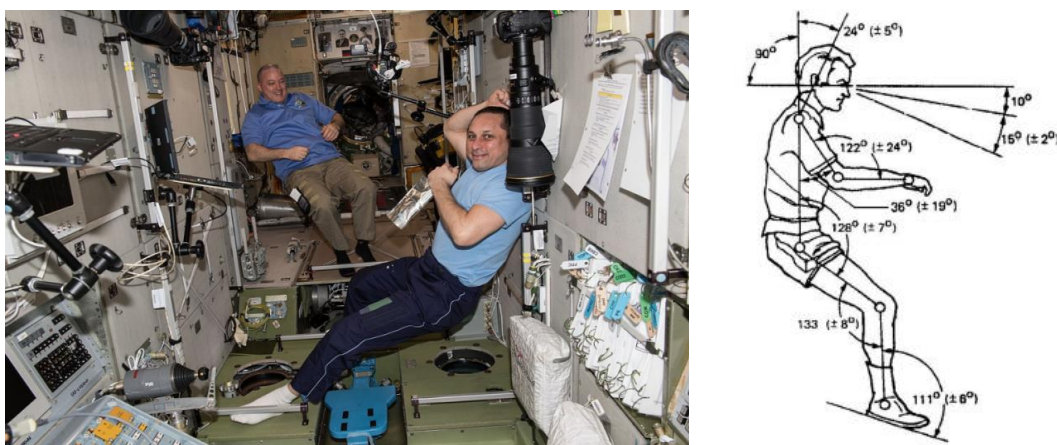


Рисунок 1 – Естественная поза в условиях микрогравитации

На лицевой панели 3D-принтера должны размещаться органы управления и индикации, места подключения съемных носителей информации. Органы управления прибором должны соответствовать требованиям эргономики и быть удобными для использования прибора в невесомости.

Ручные органы управления должны быть защищены от ложного срабатывания. Ложные срабатывания в космическом пространстве обоснованы тем, что среда микрогравитации наиболее подвержена воздействию космических лучей. Космические лучи на 90% состоят из протонов, которые движутся с высокими энергиями и способны вызывать ложное срабатывание сенсорных приборов [7].

Конструкция 3D- принтера должна учитывать условия микрогравитации и обеспечивать удобство в обслуживании при проведении эксперимента на борту международной космической станции.

Требования безопасности. 3D-принтер должен удовлетворять требованиям безопасности, представленными в ГОСТ Р 50804-95, ГОСТ Р 52985-2008 [8, 9].

Под безопасностью прибора с точки зрения дизайна понимается скругление углов и граней прибора, надежная фиксация прибора к рабочей поверхности, фиксация комплектующих прибора, обеспечение плавного съема комплектующих, исключение острых кромок углов, заусенцев, острых наплывов клея, шпатлевки, проволоочной контровки крепежных элементов. Все материалы, покрытия, комплектующие элементы не должны выделять вещества, представляющие опасность для жизнедеятельности экипажа.

Для обеспечения безопасности оператора, усилие, прилагаемое при выполнении ручных операций, должно быть не более 30Н. А также прибор должен быть оснащен системой индикации о возникновении нештатных ситуаций.

Требования к конструкции. 3D-принтер должен быть выполнен в виде моноблока с габаритными размерами 500x500x300 мм. Габаритные размеры обусловлены проходимостью конструкции в люк ракетной установки. Предполагаемая масса принтера не более 30 килограмм. Корпус прибора должен быть оснащен крепежными элементами для фиксации блока на рабочем месте. 3D-принтер должен обеспечивать возможность изготовления образцов размером не более 200x200x100 мм.

Для обеспечения безопасности при проектировании корпуса необходимо иметь открытые углы с внешним радиусом скругления не менее 13 мм, открытые грани толщиной 2мм и более, малые скругления радиусом не менее 2 мм.

Требования стойкости к внешним воздействиям. 3D-принтер должен сохранять механическую целостность и работоспособность после воздействия

факторов механического нагружения на всех этапах эксплуатации и при действии механических нагрузок в орбитальном полете в составе модуля Международной космической станции.

Режимы нагружения на 3D-принтер:

- квазистатические (линейные) перегрузки;
- низкочастотные динамические перегрузки;
- гармоническую (синусоидальную) вибрацию;
- широкополосную случайную вибрацию;
- ударно-импульсное нагружение;
- акустическое воздействие.

Требования надежности. В соответствии с требованиями ГОСТ 27.003-90, в части классификационных признаков изделий, 3D-принтер должна относиться:

- изделием конкретного назначения (по числу возможных вариантов применения по назначению);
- изделием многократного циклического применения (по режимам применения);
- изделием вида I, которое может находиться в работоспособном или неработоспособном состоянии (по числу допустимых работоспособных состояний);
- изделием, отказ или переход в предельное состояние которых не приводит к последствиям катастрофического характера (по возможным последствиям отказов);
- обслуживаемым изделием (по возможности проведения технического обслуживания) [10].

1.2 Патентный поиск

Создание любого научного изобретения начинается с исследования уже существующих решений, которые являются конкурентными на рынке в данный момент. Анализ запатентованных изобретений позволяет исследовать аналоги, изучить потенциальные направления конкретной области (в данном случае космическая отрасль), проверить уникальность собственного изобретения.

Патентный поиск был проведен на основе баз данных Федерального института промышленной собственности (ФИПС) [11]. База ФИПС позволяет найти патенты среди российских изобретений. Для создания конкурентоспособного на рынке изделия, необходимо анализировать патентные изобретения, дата публикации которых входит во временной промежуток последнего пятилетия.

Подробное изучение рынка требует проведения патентного поиска не только в российских базах, но и в зарубежных. Для осуществления патентного поиска среди зарубежных изобретений использовались базы «Patentoscope» и «EAPATIS.COM» [12,13].

База «Patentoscope» позволяет производить поиск в 109 миллионов патентных документов, включая 4,5 миллиона опубликованных международных заявок на патент [12].

База «eapatris.com» – это евразийская патентная организация, объединяющая 12 патентных организаций [13].

«Космический 3D-принтер» относится к объектам космической отрасли. Прямыми аналогами объекта являются изобретения 3D-принтера для печати изделий в условиях невесомости. Прямые аналоги существуют, но их мало. В таком случае было предложено изучить косвенные аналоги. К косвенным аналогам можно отнести 3D-принтеры с схожей технологией печати, либо объекты, созданные для использования на космической станции. Косвенные аналоги позволяют выявить особенности эргономики и условия работы в микрогравитационной среде.

1.2.1 Прямые аналоги

По запросу: название – 3D-принтер; область запроса - космос, была найдена формула российской полезной модели «3D-принтер для производства деталей из термопластичных полимеров в условиях космоса» (далее 3D-принтер) [14]. Полезная модель была разработана томскими учеными и инженерами по заказу Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» [15].

3D-принтер представляет собой моноблок прямоугольной формы, включающий в себя блочно-модульные конструкции [14]. Прямоугольный корпус (1) оснащен элементами крепления по месту эксплуатации (2), и образованный каркасом (3) и установленными на нем верхней, нижней и боковыми панелями (4), а также дверью (5), расположенной с лицевой стороны корпуса, на которой размещен компьютер (6) управления процессом печати (рисунок 2) [14].

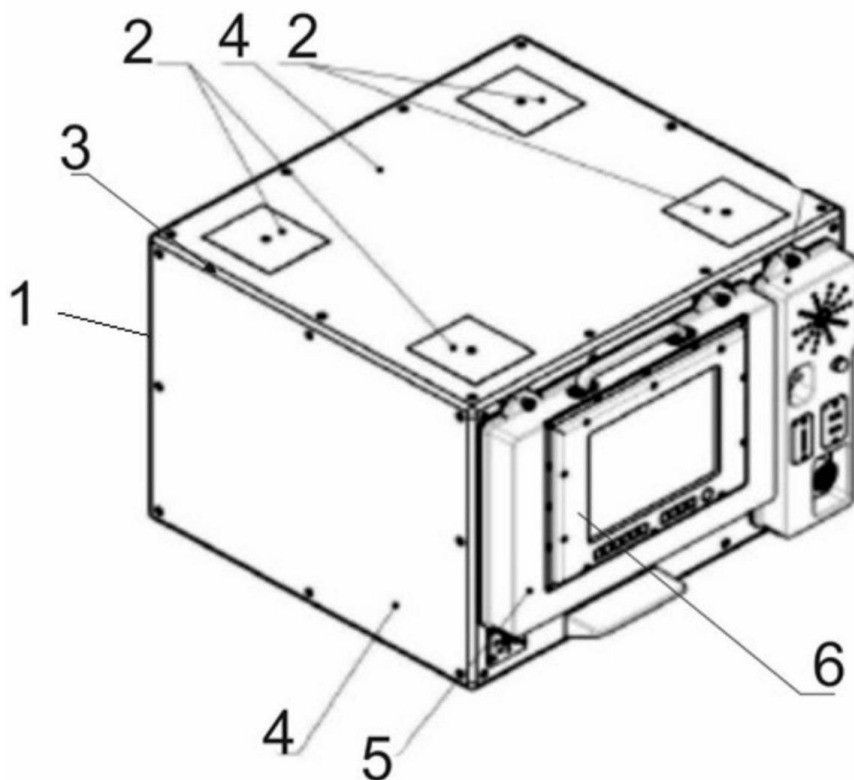


Рисунок 2 – 3D-принтер для производства деталей из термопластичных полимеров в условиях космоса

3D-принтер состоит из герметичной рабочей камеры, печатающей системы, управляющей компьютерной системы, системы терморегулирования герметичной рабочей камеры, системы вентиляции (фильтрации газов) герметичной рабочей камеры, содержащей по меньшей мере один фильтр, по меньшей мере один вентилятор, по меньшей мере один нагревательный элемент, один радиатор, одну заслонку [14].

Достоинством модели является возможность его функционирования в неблагоприятных условиях космического пространства. Недостатками устройства является отсутствие возможности быстрой замены различных узлов и деталей при выходе их из строя в процессе работы, а также невысокую надежность системы вентиляции устройства, которая должна обеспечивать качество воздушной среды, попадающей в замкнутое пространство космической станции, в процессе работы 3D-принтера [14].

Общими существенными признаками с заявленным устройством являются наличие герметичной рабочей камеры; печатающей системы; управляющей компьютерной системы, системы терморегулирования герметичной рабочей камеры, системы вентиляции (фильтрации газов) герметичной рабочей камеры, содержащей по меньшей мере один фильтр, по меньшей мере один вентилятор, по меньшей мере один нагревательный элемент, один радиатор, одну заслонку [14].

Принцип создания печати изделия в 3D-принтере заключается в послойном наплавлении специальных термопластичных полимерных материалов.

Управление печатью на 3D-принтере производится посредством управляющего компьютера размещенного на крышке корпуса. Управляющий компьютер включает в себя экран, средства управления курсором, кнопку запуска печати, кнопку включения персонального компьютера и кнопку аварийного отключения 3D-принтера (рисунок 3) [15].



Рисунок 3 – Корпус и органы управления 3D-принтера

Недостатками 3D-принтера является:

- Далеко расположенная кнопка «Пуск» от ручек;
- Управление курсором в горизонтальном положении 3D-принтера приводит к залому кисти;
- Кнопка «Аварийный стоп» не выделена формой, размером или цветом.
- Тонкие ручки для зацепа, комфортный обхват приходится на диаметр 38 мм.

В зарубежных патентных базах найдено изобретении «Специальный 3д принтер для глубоководных подводных лодок», опубликованный в 2021 году в Китае.

Целью специального 3D-принтера для глубоководных подводных лодок является решение проблемы, заключающейся в том, что существующие 3D-принтеры не могут быть адаптированы к таким средам, как корабли и подводные лодки, где часто возникают вибрации и турбулентность.

3д-принтер состоит из: виброгасящей платформы (31), вращающейся винтовой виброгасящей платформой (61), виброгасящего стержня (4),

продольных шатунов (2, 3), внешней конструкцией кольцевой опорой (1), несущего соединительного штифта (7) (рисунок 4) [16].

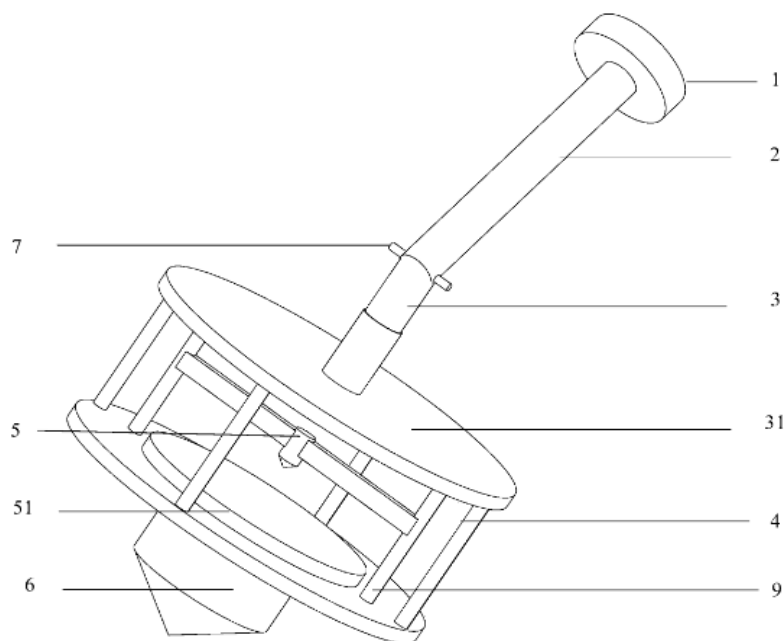


Рисунок 4 – Специальный 3D-принтер для глубоководных подводных лодок

Технология 3д-печати на подводных лодках внедрена и проходит апробацию не только на подводных лодках, но и на кораблях [17]. 3д-принтер имеет герметичную рабочую камеру с рабочими механизмами (рисунок 5).



Рисунок 5 – Внешний вид 3D-принтер для глубоководных подводных лодок

Достоинством 3д-принтера является: защита от вибраций, качество печати. Недостатком является: большие габаритные размеры.

1.2.2 Косвенные аналоги

Среди косвенных аналогов наиболее распространена информация о тренажерах используемых для тренировки космонавтов. В тренажерах расположены точные копии пультов управления космическим кораблем. Анализ органов управления космическим кораблем и другой аппаратуры, представленной внутри тренажеров для космонавтов, позволит сформировать представления о наиболее распространенных типах органов управления, формах органов управления, их размещении на пульте, группировки кнопок, семантических знаках и колористическом решении.

Для анализа органов управления были взяты пульты управления космических кораблей «Союз», «Аполлон», «Нептун» и «Dragon V2» (рисунок 6-9).

Панель управления последней модели корабля «Союза-ТМА» состоит из двух частей, на каждой из которых размещён экран, кнопки и прочие элементы управления (рисунок 6). Для управления таким кораблем необходимо два человека: бортинженер и командир экипажа [18]. Интересной особенностью пульта управления является металлическая решетка, функцией которой является разграничение рядом стоящих кнопок.

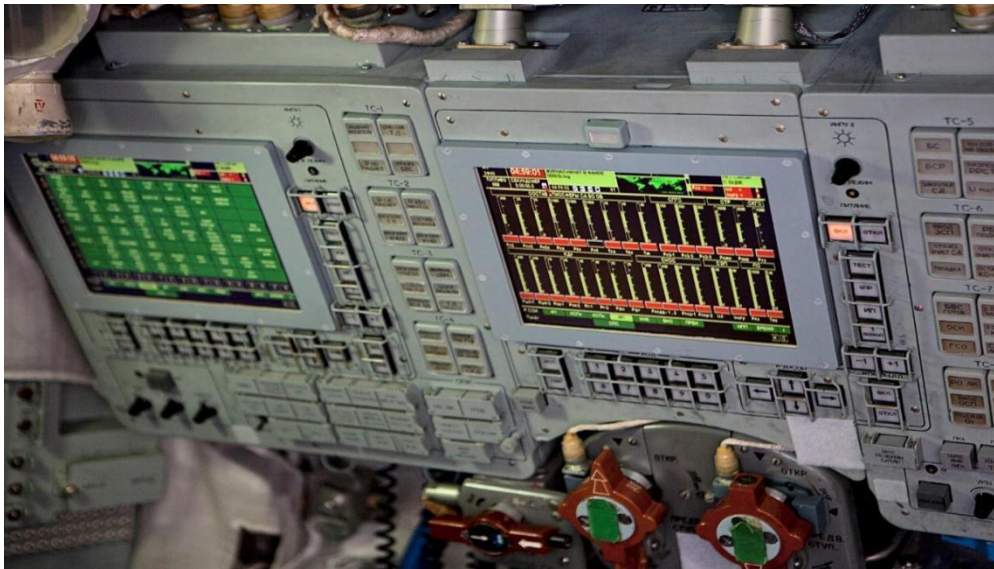


Рисунок 6 – Пульт управления корабля «Союз»

Пульт управления корабля «Аполлон» предназначен для трех человек: пилота командного модуля, командира экипажа и пилота лунного модуля (рисунок 7). Каждый член экипажа выполняет свою задачу. Общая длина пульта управления составляет два метра [18].

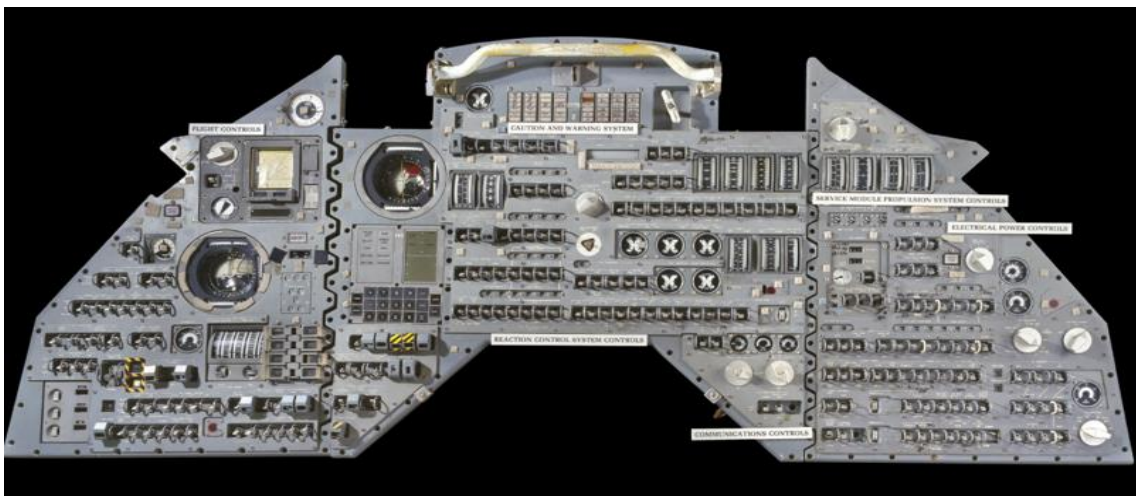


Рисунок 7 – Пульт управления корабля «Аполлон»

Пульт корабля «Нептун» схож с пультом корабля «Союз». Пульт управления имеет два экрана, кнопки и вращающиеся регуляторы (рисунок 8).



Рисунок 8 – Пульта управления корабля «Нептун»

Управление кораблем «Dragon V2» осуществляется с помощью трех сенсорных экранов. На пульте управления размещены физические кнопки, которые имеют вспомогательный характер и дублируют функции кнопок, представленных на экране (рисунок 9). Управление кораблем производится автоматически, а ручное управление производится в экстренных ситуациях. В управлении участвуют два пилота [19].

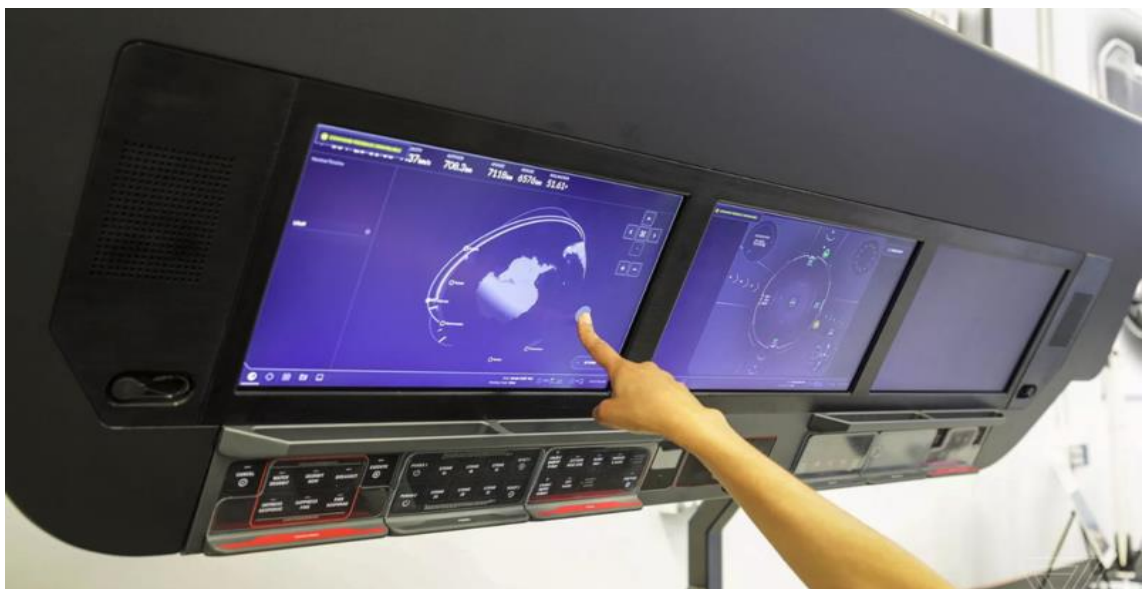


Рисунок 9 – Панель управления космического корабля «Dragon V2»

В ходе проведения исследования пультов управления космических кораблей была составлена таблица у которую занесены данные по каждому пульту управления в соответствии с критериями.

Таблица 1 – Анализ органов управления космического полета

Название	Пульт управления корабля «Союз»	Пульт управления корабля «Аполлон»	Пульт управления корабля «Нептун»	SpaceX Dragon 2
Управляющие элементы	- кнопки, высоко выступающие над поверхностью прибора - вращающиеся регуляторы	- тумблеры - вращающиеся регуляторы	- кнопки - вращающиеся регуляторы	- кнопки, зашитые в панели - интерфейс на экранах
Цвета	- серый - черный - красный подсвечивающийся	- серый - белый - желтый	- серый - оранжевый - желтый - черный	- черный - белый
Форма	квадратная	круглая	квадратная	квадратная
Семантические знаки	- стрелки - яркость - надписи	- надписи - светодиодные индикаторы	- яркость - увеличение и уменьшение - надписи	- надписи - стрелки

Проанализировав таблицу, были сделаны следующие выводы:

1. Управление в основном осуществляется кнопками, тумблерами или вращающимися регуляторами, в зависимости от функции органа управления;
2. При создании панели выбирается чаще всего серый (самый нейтральный и универсальный) цвет;
3. Для выделения управляющего элемента из общей массы используют акцентные желтый, красный, оранжевый цвета;
4. Форма кнопок чаще всего квадратная и напоминает компьютерную клавиатуру;
5. Семантические знаки используются редко, встречаются распространенные знаки увеличения, яркости, направления (стрелки).
6. Все органы управления подписаны или обозначены символическими буквами.

2 Исследование предметной области проектирование

Антропометрия изучает совокупность методов и приемов оценки морфологических особенностей тела человека, таких как: рост, вес, объемы внешних форм тела, а также некоторые функциональные показатели (объем легких, сила мышц) [20].

2.1 Антропометрия в космическом пространстве

Ученые разделяют эргономические антропометрические признаки на статические и динамические. Статические признаки описывают габаритные размеры и размеры отдельных частей тела в неизменном положении человека. Динамические признаки описывают размеры частей тела учитывая динамику движений человека (углы вращения в суставах, перемещение частей тела в различные стороны).

2.1.1 Влияние микрогравитации на физиологию человека

Длительная невесомость влияет на рост и осанку человеческого тела. Гравитационная сила всегда существовала на земле, и рост людей вообще не меняется за короткое время. Однако в условиях микрогравитации, позвоночник, не испытывая давящей на него силы тяжести удлиняется. За счет этого размеры верхней части тела также увеличиваются, также как и увеличивается общий рост человека примерно на 3% [5].

Естественная поза человека в условиях микрогравитации имеет особенности такие как: сгибание голеностопного сустава к подошве стопы, сгибание тазобедренных и коленных суставов, легким отведением бедра, легким сгибанием туловища вперед, плечи, руки и локти поднимаются вверх, а шея наклоняется вперед (рисунок 10) [21].

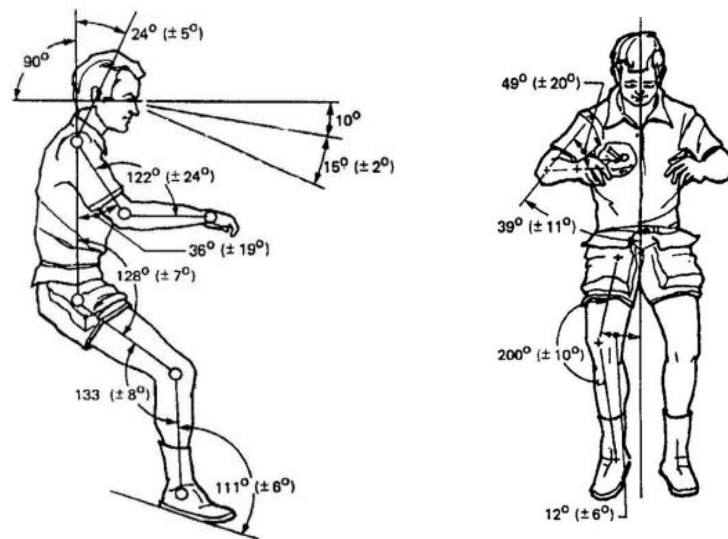


Рисунок 10 – Естественное положение тела в условиях микрогравитации

В условиях микрогравитации мышцы теряют тонус и атрофируются, что приводит к снижению мышечной силы и мышечной массы. Меняется весь центр масс тела человека, а также способность к физическим нагрузкам. Эти изменения оказывают большое влияние на выполнение космонавтами задач на космической станции, особенно на работе, требующей силы. Биомедицинские исследования показывают, что среда микрогравитации может привести к уменьшению количества мышечных белков и может легко привести к функциональным изменениям, таким как мышечная усталость [22]. При этом потеря мышечной массы нижних конечностей будет значительно превышать потерю мышечной массы верхних конечностей. Эксперименты на животных показали, что камбаловидная мышца задней конечности крысы теряет в весе от 23 до 40%, в то время как потеря веса мышцы передней конечности составляет около 12-24% [23].

Когда люди находятся в условиях микрогравитации в течение длительного времени, из-за недостатка веса их кости начинают расти, а их рост увеличится примерно на 5 см. Потеря веса приводит к снижению плотности костей в нижней части тела, но плотность костей черепа увеличится [24]. Это явление связано с тем, что жидкость тела концентрируется в голове. Из-за изменения костного метаболизма космонавты теряют большое количество

кальция [25]. По данным Skylab, космонавты на орбите теряют в среднем 0,6% общего количества кальция в месяц [26].

2.1.2 Антропометрические данные космонавтов

Антропометрические данные для земной среды обитания собраны и представлены в учебниках и учебных пособиях. Данные делятся на мужские и женские параметры. Данные антропометрических параметров сгруппированы по трем процентелям, соответствующим верхним, средним и нижним значениям (рисунок 11).

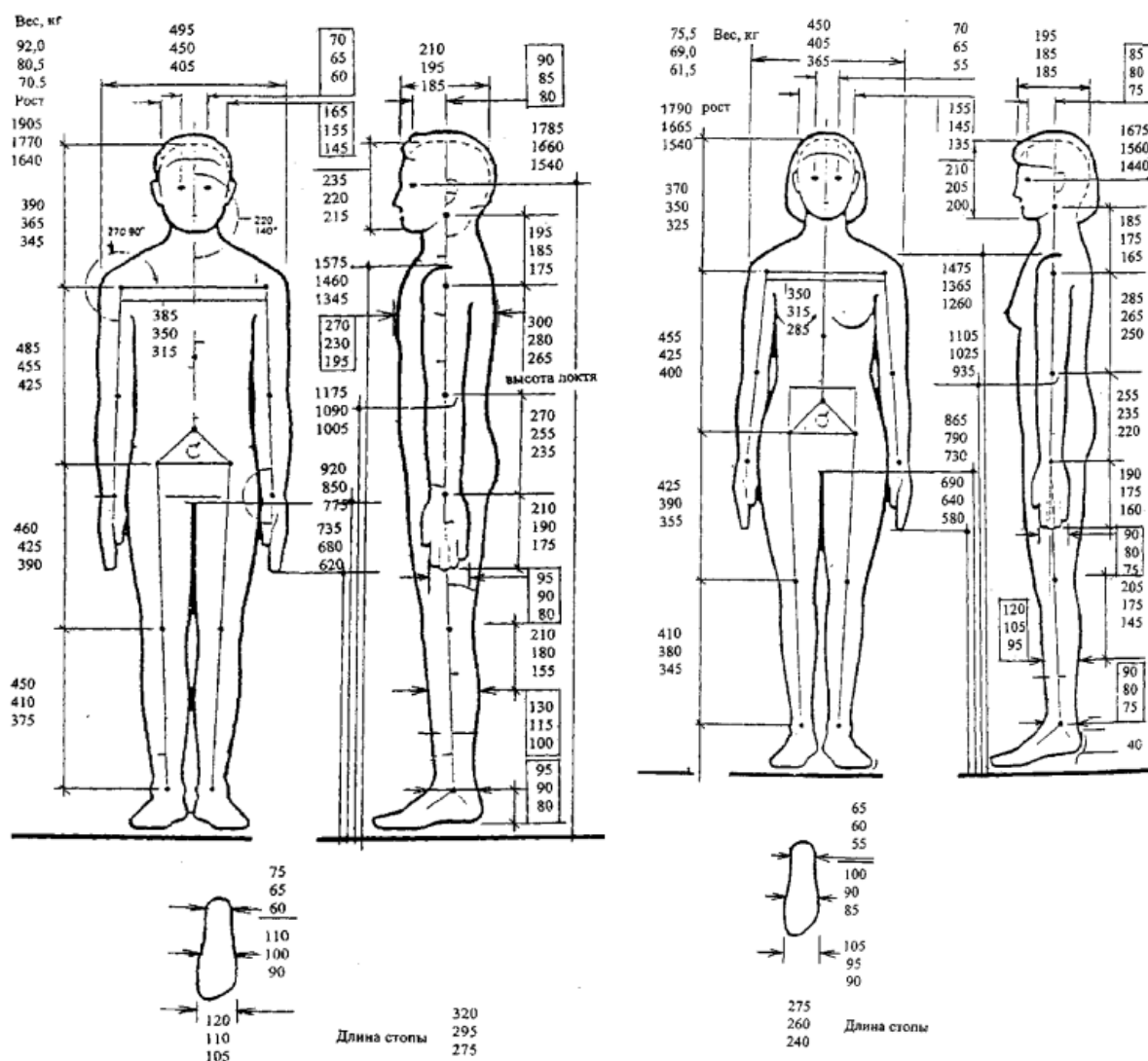


Рисунок 11 – Антропометрические параметры взрослого человека

Антропометрические данные космонавтов имеют свои особенности. Претенденты на участие в конкурсе по отбору в космонавтов проходят отбор на основе 6 основных требований: общие требования; требования к образованию, профессиональной квалификации и опыту работы претендентов; медицинские требования; психологические требования; требования к физической подготовленности; требования к профессиональной пригодности [27].

Медицинские требования, помимо всего прочего, содержат требования к антропометрическим данным претендента. Они обусловлены требованиями к техническим возможностям кресел, используемых на транспортных пилотируемых кораблях и техническими возможностями скафандров для внекорабельной деятельности [28]. Допустимые и максимальные параметры антропометрических данных занесены в таблицу 2. Некоторые параметры антропометрических данных могут варьироваться в зависимости от особенностей космического корабля и снаряжения космонавтов.

Таблица 2 – Антропометрические параметры для претендентов в космонавты

Антропометрический параметр	Количественное значение
Рост в положении стоя	150 – 190 см
Рост в положении сидя	80 – 99 см
Масса тела	50 – 90 кг
Максимальная длина ступни	29,5 см
Максимальный поперечный размер плечевой области	52 см
Максимальное расстояние между углами подмышечных впадин	45 см
Максимальная ширина бёдер в положении сидя	41 см
Обхват груди	94 – 112 см

Подходы к измерению антропометрии космонавтов отличаются от стандартных подходов. При измерении антропометрии для земных условий как правило используют два основных положения стоя и сидя. Для измерения в положении стоя используются две ограничительные плоскости: плоскость пола (для измерения высоты точек над полом); вертикальная плоскость (стена) для измерения поперечных размеров тела. Измерение космонавтов в

положении стоя производится таким же образом. Для измерения в положении сидя в земных условиях используются три плоскости: плоскость пола, плоскость сидения, спинка сидения перпендикулярная плоскости сидения. Измерение в положении сидя для космонавтов производится отличным образом, используются две плоскости: плоскость пола и перпендикулярное ему плоскость стены. Измеряемый садится на пол, ноги согнуты в коленных суставах, голова и спина прилегают к вертикальной плоскости (рисунок 12).

Особенности измерения антропометрических данных космонавтов

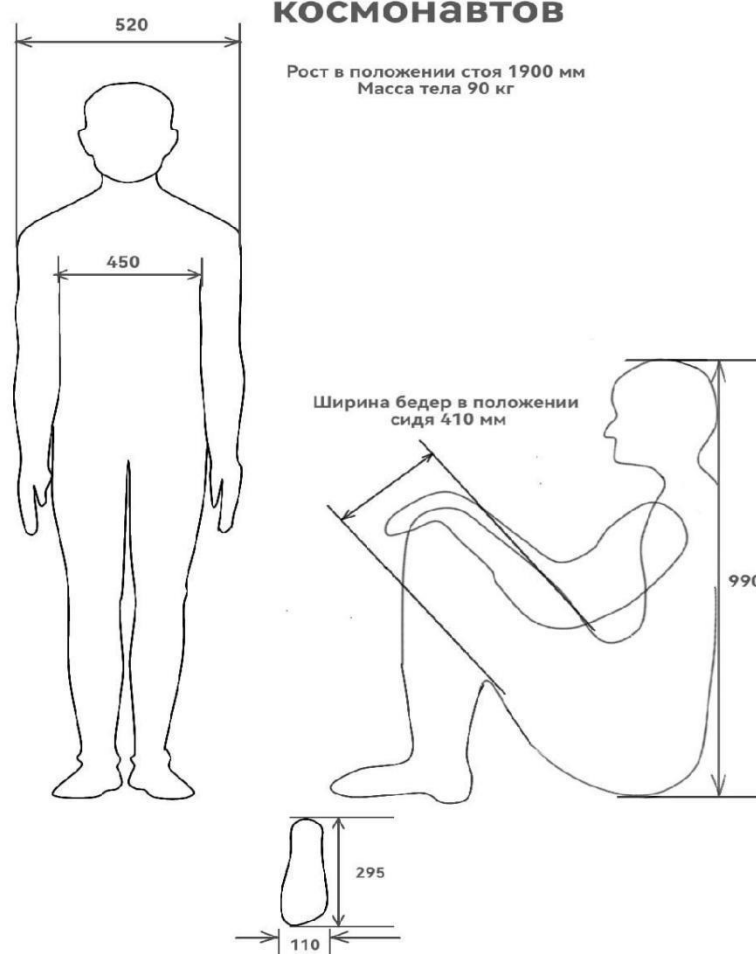


Рисунок 12 – Измерение антропометрических данных космонавтов в положении сидя и стоя.

Требуемый рост космонавта соответствует от нижних параметров женских антропометрических данных до верхних параметров мужских

антропометрических данных. Согласно таблице 2 были составлены манекены с максимальными антропометрическими данными в положениях стоя и сидя.

Исходя из данных, представленных в таблице 2 необходимо учесть увеличение роста космонавта при длительном пребывании на орбите. Рост космонавта увеличивается примерно на 3 %. Это необходимо для расчета соматографических таблиц.

Произведен расчет увеличения роста по формуле 1.

$$P_y = \frac{P_{и} \cdot 3}{100} + P_{и}, \quad (1)$$

где P_y – увеличенный рост космонавта, при долгом пребывании на орбите;

$P_{и}$ – исходный рост космонавта до полета на орбиту.

По формуле 1 был произведен расчет изменения роста для исходных параметров равных наименьшему ($P_{ум}$) и наибольшему ($P_{уб}$) росту (150 см и 190 см).

$$P_{ун} = \frac{150 \cdot 3}{100} + 150 = 154,5 \text{ см} \quad (2)$$

$$P_{уб} = \frac{190 \cdot 3}{100} + 190 = 195,7 \text{ см} \quad (3)$$

Таким образом, для наименьшего и наибольшего роста космонавта увеличение длины тела составляет около пяти сантиметров. При составлении соматографических таблиц необходимо учитывать увеличение длины тела космонавта.

2.2 Соматографический анализ

Соматографические исследования базируются на эргономических антропометрических признаках.

Соматография – это метод схематичного изображения человеческого тела в трех проекциях, для определения пропорций соотношения человека и объекта исследования, человека и рабочего места, человека и формы объекта исследования, а также способствует выявлению ошибок проектирования

объекта [29]. Метод соматографического анализ позволяет сформулировать рекомендации к использованию объекта исследования и рабочему пространству.

Наиболее эффективным методом проведения соматографического анализа является метод плоских манекенов. В данном методе используются плоские модели человека с учетом антропометрических данных. Манекены схематично изображают человеческий силуэт с шарнирными сочленениями (рисунок 13).

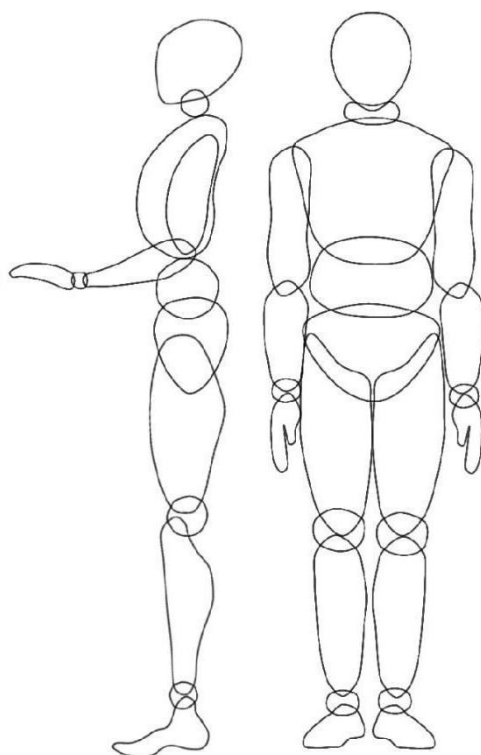


Рисунок 13 – Плоские манекены

С помощью изображения манекена в условиях микрогравитации можно проверить:

- соотношение пропорций человеческой фигуры, размеров и формы рабочего места;
- досягаемость органов управления и удобство их размещения;
- пространственную компоновку органов управления;
- оптимальные и максимальные границы зоны досягаемости конечностей;

- удобство пользования объекта исследования с учетом особенностей положения тела в невесомости;
- удобство фиксации тела при работе с объектом в условии гравитации;
- правильность подбора высоты, объектов, фиксирующих положение тела.

Методика проведения соматографического анализа заключается в наложении на чертежи проектируемых объектов или интерьеров.

Схема для проведения соматографического анализа в профильной проекции, для манекена соответствующему 95 мужскому процентелю (рисунок 14). Зеленым цветом выделено зрительное поле манекена, синей пунктирной линией выделена зона досягаемости. С помощью схемы, в данном случае, можно проверить высоту размещения объекта исследования, зрительное поле оператора объекта, проверить удобство взаимодействия с объектом и его досягаемость, удобство фиксации тела. В среде микрогравитации досягаемость объекта измеряется длиной вытянутой руки манекена.

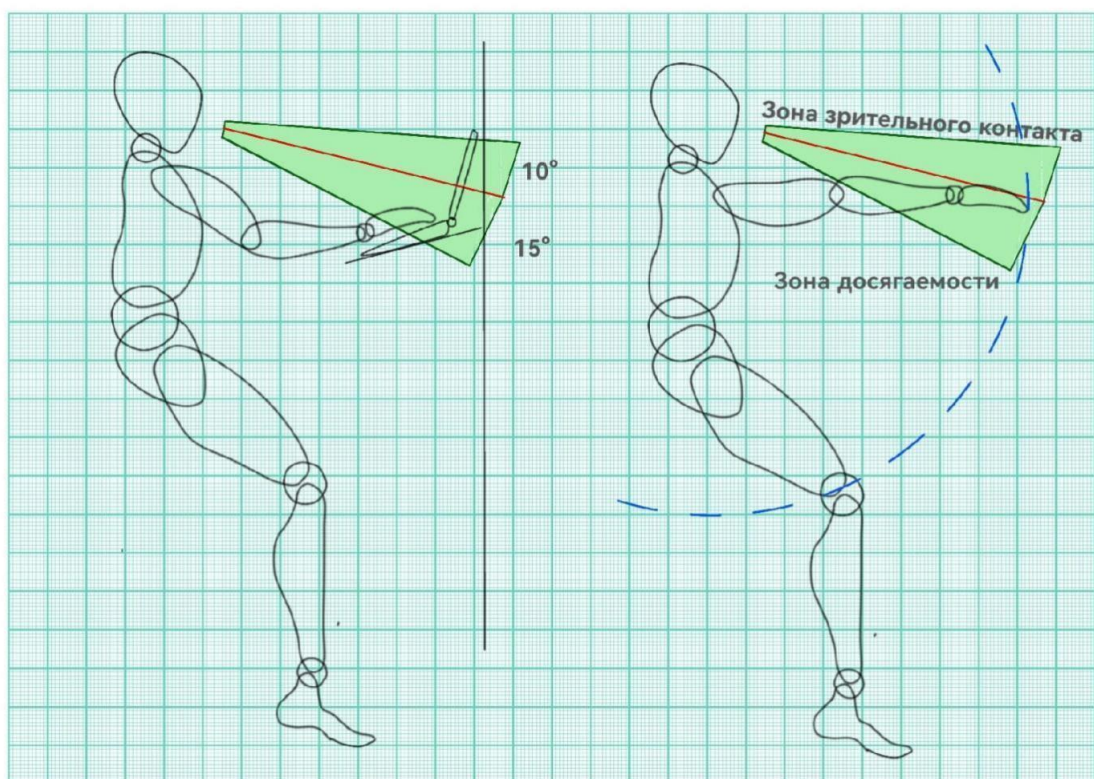


Рисунок 14 – Соматографическая схема в профильной проекции

Горизонтальная проекция наиболее эффективна для исследования зон максимальной оптимальной досягаемости конечностей. С помощью соматографической схемы в горизонтальной проекции, можно исследовать соотношение пропорций человеческой фигуры, размеров и формы рабочего места, досягаемость органов управления и удобство их размещения, пространственную компоновку органов управления (рисунок 15).

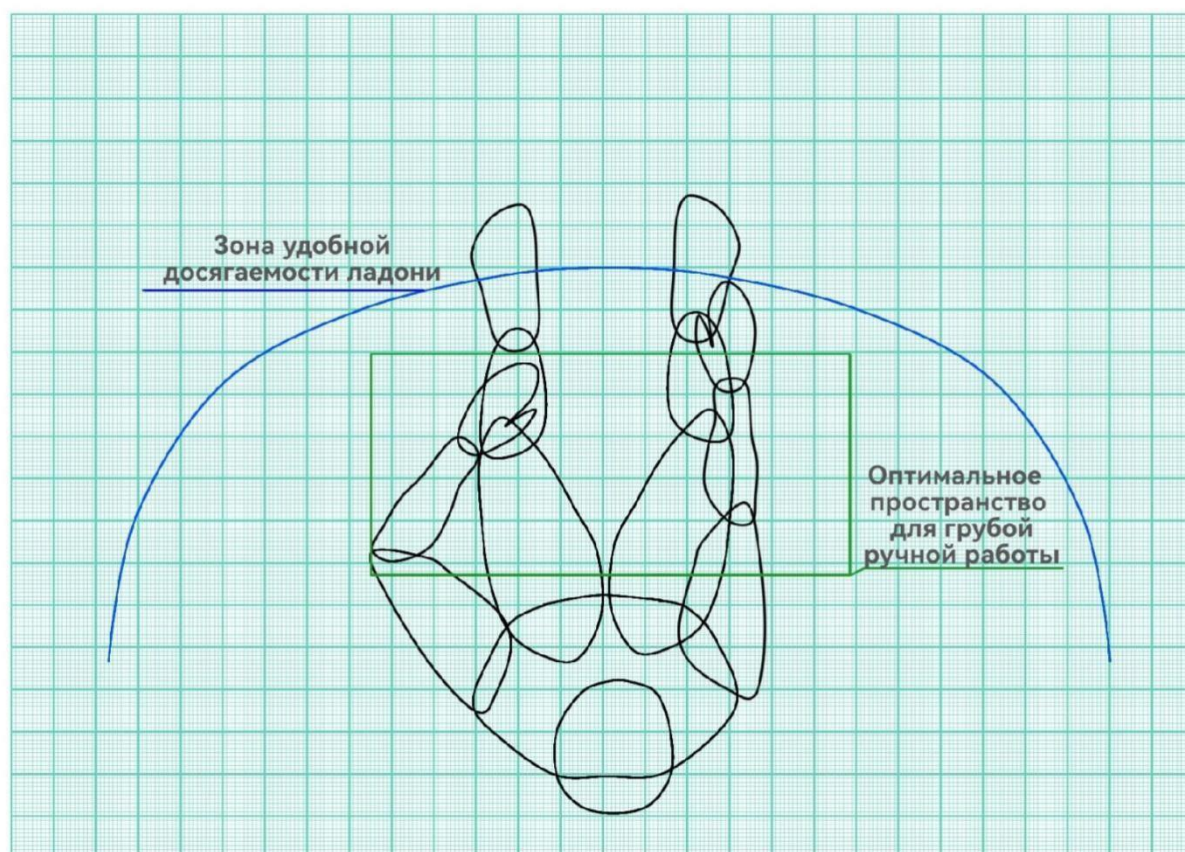


Рисунок 15 – Соматографическая схема в горизонтальной проекции

Результатом соматографического анализа является графический материал, представленный в виде схем, а также выводы об организации рабочего пространства, взаимодействии человека и машины, пропорциональных отношений между оборудованием и человеком.

2.3 Анализ органов управления

Практически все технические объекты как на Земле, так и на космической станции оснащены органами управления. С помощью органов управления устанавливается связь между человеком (оператором) и машиной. В зависимости от предназначения, функциональности машины (механизма или устройства), особенностей и последовательности движения человека следует подбирать виды органов управления [30,31].

Для космической станции есть одно ограничение на органы управления. Космическая среда подвергнута влиянию космических лучей сильнее чем земная среда за счет слоев атмосферы, которые снижают воздействие космических лучей. На 90 процентов космические лучи состоят из протонов, которые движутся на высоких скоростях с высокой энергией. В таких условиях сенсорные приборы могут вызывать ложные срабатывания, что является критически недопустимо в условиях космического полета [32].

Выбор элементов управления для космического оборудования – критический процесс, который включает в себя баланс технических требований к оборудованию с уникальными проблемами работы в космосе. Как правило, органы управления космическим оборудованием выполняют две основные функции: помогают операторам понять текущее состояние оборудования и дают команды для настройки оборудования.

Элементы управления, требующие включения, выключения или перемещения (нажатие кнопки, перемещение рычага, поворот ручки). Движения при этом простые, хотя двигательный акт состоит из значительного числа микродвижений пальцев.

Органы управления, требующие регулировки точно дозированных движений и обязательных параметров установки, движения в них дозируются по силовым, объемным и временным параметрам (рисунок 16-18). По характеру передачи органы управления могут быть линейными, вращающимися или смешанными.

По совокупности и характеру использования управления по большей части используются следующие группы: оперативные (основные), используемые постоянно, для управления программами, установки режимов, параметров регулирования, ввода управляющей и командной информации. Используемые протоколы – это вспомогательные органы управления для включения и отключения работоспособности. аппаратуры, периодического контроля её работоспособности.

По форме органы управления должны быть хорошо различимы на ощупь, для наиболее быстрого управления прибором (например, когда требуется зрительный контакт с экраном).

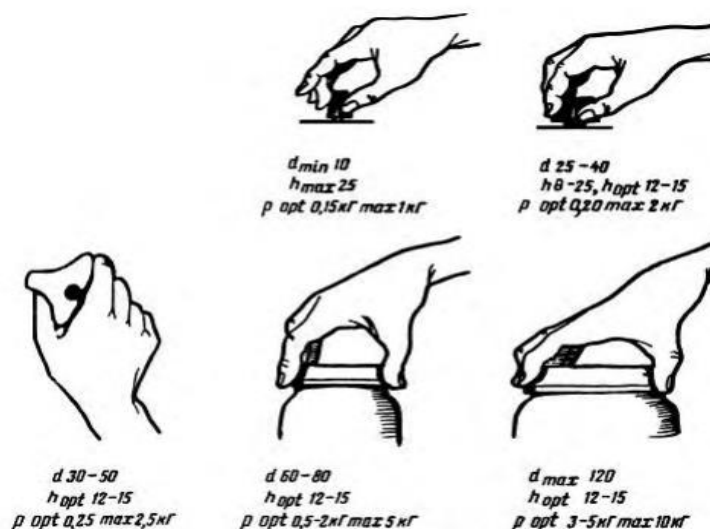


Рисунок 16 – Способы захвата органов управления при вращении (размеры в мм)



Рисунок 17 – Оптимальные размеры детали при захвате (размеры в мм)

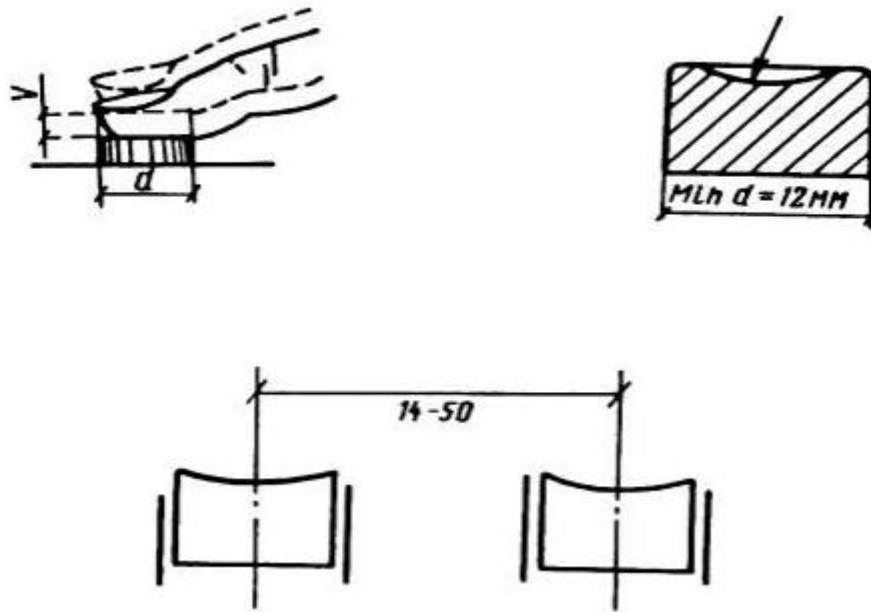


Рисунок 18 – Оптимальная форма кнопок для нажатия пальцем

При проектировании средств управления прибором стоит учесть четыре свойства организации: техническое, физическое, семиотическое и исполнительное.

Техническое свойство включает в себя технические средства, обеспечивающие введение или отображение информации.

Физиологическое свойство включает в себя параметры различных сигналов, направленных человеку. Сюда можно отнести яркость, контрастность, размер.

Семиотическая функция включает в себя знаковые системы, помогающие оператору взаимодействовать с прибором.

Исполнительская функция способствует управлению средствами ввода и потоками информации.

При проектировании оборудования для космического пространства стоит соблюдать принципы организации и размещения органов управления.

1. Принцип минимизации операции. Обеспечение наименьшего числа операций для выполнения одной функции прибора.
2. Принцип распределения нагрузки. Следует располагать органы управления таким образом, чтобы управление могло осуществляться

двумя руками, но основной акцент управления приходится на правую руку.

3. Принцип фиксации в пространстве. Обеспечение зацепов, ручек или иных способов фиксации тела в пространстве на приборе.
4. Принцип минимальных движений. Органы управления должны быть максимально удобно скомпонованы для избегания лишних движений, но при этом не должны мешать и создавать ошибки при управлении.

2.4 Анализ опыта эксплуатации космического 3D-принтера

Анализ опыта эксплуатации принтера позволяет спроектировать наиболее эффективную взаимосвязь человека и машины. В левом столбце таблицы 3, была сформирована последовательность действий оператора при управлении 3D-принтером, а в правом выбор наиболее удобных средств управления и их параметров.

Таблица 3 – Анализ функциональных условий

Последовательность действий оператора 3D-принтера	Особенности проектирования прибора
1. Открыть отсек для хранения аппаратуры.	
2. Достать 3D-принтер.	Разместить элементы для захвата прибора на корпусе.
3. Установить на рабочую поверхность и зафиксировать прибор.	Разместить элементы фиксации прибора на корпусе 3D-принтера и на рабочем месте.
4. Проверить наличие термопластичного полимера, при его отсутствии оснастить 3D-принтер полимером.	
5. Включить прибор.	Разместить кнопку включения /выключения устройства на корпусе прибора, отдельно от других органов управления. Оптимальный диаметр кнопки 12–14 мм [33]. Разместить надпись «вкл.\выкл.» рядом с кнопкой.
6. Вставить флеш-накопитель.	Разместить USB-порт на корпусе прибора. Предусмотреть место хранения флеш-накопителя (сделать отсек для хранения флеш-накопителя).

Продолжение таблицы 3 – Анализ функциональных условий

Последовательность действий оператора 3D-принтера	Особенности проектирования прибора
7. Выбрать деталь для печати (управление принтером посредством курсора).	Разместить средства управления курсором так чтобы обеспечить оператор мог держаться за ручки (фиксируя тело в невесомости) и осуществлять управление прибором. Управление курсором производится через сенсорную панель круглой формы. Диаметр панели 35–40 мм.
8. Запустить печать изделия.	Разместить на корпусе кнопку «Старт» на пульте управления.
9. Дождаться, когда изделие будет напечатано.	
10. Открыть герметичную рабочую камеру.	Разместить на основе корпуса и на крышке корпуса крепление. Обеспечить герметичность рабочей камеры.
11. Вытащить столик с готовым изделием.	Столик представляет собой ровную металлическую поверхность с силиконовым покрытием. Извлечение столика производится по рельсам.
12. Отделить напечатанное изделие от столика.	Силиконовое покрытие позволяет легче отделить готовое изделие.
13. Вставить столик в рабочую камеру.	
14. Закрыть рабочую камеру.	
15. Выключить устройство.	Выключение посредством кнопки или интерфейса встроенного персонального компьютера.
16. Убрать устройство в отсек для хранения аппаратуры.	
* В ситуации, требующей незамедлительного прекращения работы 3D-принтера нажать кнопку «Аварийная остановка»	Аварийная кнопка должна размещаться на корпусе прибора отдельно от остальных органов управления и быть легко доступной и ясно видимой при естественном рабочем положении оператора. Аварийная кнопка может быть обозначена отличной от остальных формой, размером или красным цветом. Нажатие производится указательным пальцем. Диаметр рабочей поверхности 10–15 мм, рабочий ход приводного элемента 2–4 мм [32].

На основе таблицы были сделаны следующие выводы:

1. Размещать надписи, указывающие на функцию органа управления, над органом управления или под ним.
2. Разместить ручки на корпусе прибора.

3. Разместить на поручнях основные органы управления (управление курсором, кнопка «старт»).
4. Добавить альтернативные органы управления курсором, в виде кнопок выбора программы (кнопки «вверх», «вниз», «ок»).

2.5 Исследование влияния цвета на психологию человека

Восприятие цвета – это сложный процесс, обусловленный физическими, физиологическими и психологическими факторами. За долгий путь развития человеческого зрения, психологическое воздействие цвета совершенствовалось от элементарного цветоощущения до высокоразвитого чувства цвета современного человека [34].

В психологии под чувством цвета, в отличие от простого ощущения, понимается сложное, обогащенное восприятие цвета, когда возникают определённые образы, связанные с ними воспоминания, эмоции, психические состояния. То есть появляются ассоциации, связанные с цветом. Эмоциональные ассоциации могут быть позитивными, негативными или нейтральными. Например, весёлые, грустные, безразличные.

Выбор колористического решения должен учитывать специфику прибора. Данный прибор используется периодически, когда в этом возникает необходимость. Чаще всего прибор находится в отсеке для хранения аппаратуры. Так же необходимо учесть долгое пребывание космонавтов на Международной космической станции.

В качестве основного цвета был использован серый цвет. Исходя из анализа пультов управления космическим кораблем в большинстве случаев был выбран также серый цвет.

Учеными (Р. Арнхейм, Г. Цойгнер, Г. Фриллинг, К. Ауэр) была составлена таблица цветовых ассоциаций (рисунок 19). Согласно собранным данным серый цвет легкий и тихий, а оранжевый кричащий и громкий.

Сочетание серого и оранжевого позволит компенсировать противоположные ассоциации.

	Масса	Температура	Влажность	Объем	Расстояние	Звук	Ассоциации природные	Ассоциации чувственные
белый	легкий	прохладный		увеличивающий, ощущение простора	близкий	Тихий	Молоко, дневной свет	чистота, романтизм, благородство
желтый	легкий	теплый	сухой	слегка увеличивающий	приближающийся, выступающий, близкий	Звенящий	Солнце, свет, лимон, подсолнух, пустыня	оптимизм, удовлетворенность, возвышенность
оранжевый		теплый	сухой	увеличивающий	близкий	кричащий, громкий	Пламя, осень, апельсин	веселье, бодрость, удовольствие
красный	тяжелый	теплый	сухой	увеличивает в ширину	очень близкий	кричащий, громкий	Огонь, кровь, мак, вино	гнев, стыд, энергия, активность, любовь,
фиолетовый	тяжелый	холодный		уменьшает, делает изящнее	очень далекий	Тихий	Космос, сирень, фиалки	достоинство, загадочность
синий	тяжелый	холодный	влажный	уменьшает в ширину	далекий	тихий, спокойный	Вода, холод, море	Покой, стабильность, вера, печаль
зеленый		прохладный	влажный	нейтральный	нейтральное	Спокойный	Природа, весна, трава, дерево, болото	спокойствие, тоска, уверенность, надежда
голубой	легкий	прохладный	влажный	воздушный, неконкретный объем	удаляющийся, ощущение пространства	тихий, спокойный	Небо, прохлада, лед, воздух, электричество	Спокойствие, нежность, мечта, неустойчивость
коричневый	тяжелый	теплый	влажный	нейтральный	Близкий		земля, стволы деревьев	Основательность
черный	тяжелый	холодный	сухой	уменьшающий	далекий	резкий	вселенная, ночь, уголь, пучина	загадочность, гибель, независимость,
серый	легкий	прохладный	мокроты	увеличивает	удаляющийся	Тихий	Пепел, пыль, серебро	грусть, пассивность, будничность

Рисунок 19 – Ассоциации, связанные с цветами

Цвета с точки зрения психологии. Оранжевый очищает от неприятных ощущений, помогает принять негативные события в жизни, помогает простить другого человека, отпустить неразрешимую ситуацию. Помогает при негативных психических состояниях: апатия, скука, тоска [35, 36]. В условиях космического полета человек находится в замкнутом пространстве на протяжении длительного периода времени, в таких условиях состояние скуки, тоски и апатии имеет частое проявление.

Серый является промежуточным между черным и белым цветами, поэтому считается нейтральным цветом. Серый цвет не является депрессивным, но не вызывает позитивные эмоции. Серый – это цвет «серого вещества», то есть мозга. Это цвет интеллекта [35, 36].

Цвета с точки зрения физиологии. Оранжевый наделяет энергией как красный и способствует мыслительному процессу, как желтый цвет. Слегка увеличивает давление крови, пульс и дыхание (рисунок 20). Серый расслабляет, помогает чувствовать себя спокойно. Способствует сну [35, 36].

Цвет	Давление крови	Пuls, дыхание	Мышечное напряжение	Воздействие на эмоции
Красный	Увеличивает	Ускоряет	Увеличивает	Возбуждает
Оранжевый	Слегка увеличивает	Слегка увеличивает	Увеличивает	Стимулирует
Желтый	Не меняет	Не меняет	Не меняет	Уравновешивает
Зеленый	Незначительно уменьшает	Незначительно уменьшает	Незначительно уменьшает	Уравновешивает
Голубой	Уменьшает	Успокаивает	Уменьшает	Успокаивает
Синий	Значительно уменьшает	Значительно уменьшает	Уменьшает	Затормаживает
Фиолетовый	Сильно уменьшает	Сильно успокаивает	Сильно уменьшает	Подавляет

Рисунок 20 – Психофизиологический эффект цветов

Согласно изученным данным, можно утверждать, что использование серого цвета в качестве основного нейтрально влияет на психологию и физиологию человека. Оранжевый цвет в условиях работы в замкнутом пространстве способен улучшить психологическое и физиологическое состояния. Использование оранжевого цвета в качестве акцента привлекает внимание оператора к активным элементам (органам управления). При условии, что прибор используется не на постоянной основе, оранжевый цвет не будет вызывать раздражение и постоянно отвлекать внимание космонавтов.

2.6 Использование системного подхода в разработке дизайна 3д-принтера

В магистерской диссертации системный анализ был проведен для сбора и интерпретации факторов, влияющих на проектирование 3д-принтера [37]. Системный анализ позволяет выявить центральную цель системы и выстроить подсистемы и элементы системы так чтобы обеспечить достижение центральной цели [38].

2.6.1 Разработка системы «Космический принтер»

Процесс разработки системы включает в себе несколько этапов. Исходя из теоретической информации, основой любой системы является центральная цель, которая влияет на подсистемы и их взаимосвязи [39]. Таким образом, первым этапом была сформулирована центральная цель. Следующим этапом является выявление подсистем и их взаимодействие. После чего выявляются элементы подсистем и исходя из центральной цели формируются взаимосвязи между подсистемами на уровне элементов. Заключительным этапом является структурирование системы. Этот этап является итеративным.

2.6.2 Постановка центральной цели системы

Центральная цель является основополагающей мыслью для проектирования «Космического» принтера. Для специалистов разного профиля при разработке устройства поставлена своя цель. Например, для инженера, центральной целью системы является работоспособный и устойчивый к работе прибор, а главное полностью соответствующий техническому заданию.

Рассмотрим систему «Космический принтер» с точки зрения дизайна. Главными параметрами системы для дизайнера в данном случае является эстетика, тактильность и формообразование. Таким образом, центральной целью является разработка системы «Космический принтер» с учетом его визуального и тактильного восприятия космонавтами.

2.6.3 Выявление подсистем для системы «Космический принтер»

В ходе анализа системы были выявлены подсистемы, которые наибольшим образом влияют на ее проектирование.

Психология. Психология астронавтов – это специализированная область исследований, цель которой – понять и смягчить психологические и социальные факторы, связанные с космическими миссиями. Жизнь и работа в космосе могут быть как сложными, так и полезными, и существуют уникальные психологические факторы стресса, связанные с космическими путешествиями, которые необходимо учитывать [40–42]. Вот некоторые ключевые аспекты психологии космонавтов:

- **Командная динамика.** Космонавты работают в тесном контакте друг с другом в течение длительного периода времени. Они выбираются на основе их способности хорошо работать с другими и поддерживать эффективную командную динамику. Члены экипажа должны эффективно общаться и участвовать в решении проблем, чтобы обеспечить успех миссии.
- **Стресс и изоляция.** Космонавты также сталкиваются с сильным стрессом, и изоляция часто упоминается как один из самых значительных стрессовых факторов. Космические путешествия могут быть как физически, так и эмоционально сложными, и космонавты часто пребывают длительными периодами в социальной изоляции из-за разлуки с друзьями, семьей и окружающей средой Земли.
- **Стратегии выживания.** Космонавты должны разработать стратегии преодоления стресса и изоляции, которые могут включать в себя упражнения, музыку и чтение. Это имеет решающее значение для поддержания настроения, концентрации внимания и поддержания общего самочувствия.
- **Адаптация.** Успешная адаптация к космической среде необходима для психологического благополучия космонавтов. Это начинается со здоровой предварительной подготовки на Земле и готовит их к изменениям, таким как сон в разных позах, употребление обезвоженной пищи и работа в невесомости.

- Управление безопасностью. Космонавтов обучают действовать в чрезвычайных ситуациях, и должны быть установлены эффективные системы безопасности, чтобы обеспечить их благополучие в таких ситуациях, как космический мусор, разгерметизация, пожар или отказ оборудования.
- Проблемы после миссии. Переход из космоса на Землю может быть физически, эмоционально и психологически сложным для астронавтов. Они могут столкнуться с рядом психологических трудностей во время процесса возвращения в атмосферу после миссии, включая проблемы со сном, раздражительность и депрессию.

Психофизиология. Психофизиология – это междисциплинарное исследование взаимосвязи между физиологическими процессами и психологическими процессами. Психофизиологические исследования астронавтов направлены на то, чтобы понять, как среда космического путешествия влияет на различные физиологические функции, включая сердечно-сосудистую динамику, неврологическую функцию и режим сна [43, 44].

Психофизиология космонавтов является важным аспектом их общего состояния здоровья и благополучия во время космического путешествия и включает следующие аспекты:

- Сердечно-сосудистые изменения. В условиях невесомости космонавты испытывают перемещение жидкости от ног к голове, вызывая ряд физиологических изменений, таких как падение артериального давления, учащение пульса и изменения кровотока. Это имеет особое значение при выходе в открытый космос, где использование скафандров для выхода в открытый космос в качестве давящей повязки является жизненно важной мерой предосторожности для поддержания жизненно важного притока крови к ногам космонавтов.
- Неврологическая функция. У космонавтов часто изучают показатели функции центральной нервной системы, такие как когнитивные

способности, время реакции и двигательные навыки. В космосе происходит изменение давления внутричерепной жидкости, стресс при запуске, радиационное воздействие и другие сопутствующие факторы, которые могут повлиять на их неврологическую функцию.

- **Режим сна.** Режим сна имеет решающее значение для хорошего самочувствия и способности космонавта работать эффективно. Отсутствие естественного дневного света и постоянный гул оборудования могут усложнить качество сна в космосе, помимо других факторов, таких как продолжительность миссий.
- **Гормональные изменения.** Астронавты могут столкнуться со значительными гормональными изменениями, в основном из-за уровня стресса, изоляции и изменений циркадных ритмов. Это может привести к изменениям настроения, аппетита и другим психологическим или физиологическим состояниям, с которыми трудно справиться в условиях невесомости.
- **Психологические изменения.** Галлюцинации, повышенная раздражительность и изменения в поведении могут наблюдаться у космонавтов, совершающих космические путешествия.

Факторы внешней среды. Космонавты сталкиваются с уникальной и сложной средой, когда отправляются в космос. Экстремальные условия, такие как микрогравитация, радиация и изоляция от знакомых социальных сигналов, могут значительно повлиять на их физическое и психологическое благополучие [45, 46]. Вот некоторые факторы окружающей среды, которые могут повлиять на космонавтов:

- **Микрогравитация.** Микрогравитация – это неблагоприятное состояние, которое может иметь серьезные последствия для тела астронавтов. Это может вызвать мышечную атрофию и потерю костной массы, повлиять на вестибулярную и сердечно-сосудистую системы, повлиять на скорость всасывания жидкости и привести к проблемам со зрением. На

космических кораблях принимаются регулярные программы упражнений, чтобы смягчить эти изменения.

- **Радиация.** Космос – это среда, в которой астронавты подвергаются повышенному уровню радиации. Для астронавтов космическое излучение может повредить ДНК и привести к более высокому риску рака, сердечно-сосудистых заболеваний и других заболеваний. Необходимо ограничить воздействие радиации с помощью защитного снаряжения, такого как экранирование во время выхода в открытый космос или использование долговременно устойчивых к радиации материалов.
- **Климат-контроль.** Такие условия, как избыточная жара, влажность или низкие температуры, могут представлять опасность для здоровья и работоспособности космонавта. Поддержание климат-контроля с помощью эффективных систем температуры, влажности и вентиляции имеет важное значение для создания безопасных и эффективных условий в помещении.
- **Системы жизнеобеспечения.** Системы жизнеобеспечения необходимы для обеспечения безопасной и стабильной среды для космонавтов. Эти системы включают в себя очистку воды для питья, фильтрацию воздуха для дыхания, системы управления отходами и самые передовые замкнутые экосистемные системы. Обслуживание систем жизнеобеспечения в условиях враждебного космоса имеет жизненно важное значение для предотвращения серьезных отказов систем.

Инженерия. Подсистема инженерии в системе «Космический принтер» делится на две области конструкторская и техническая. В конструкторскую составляющую входит разработка корпуса, крепежных элементов, планировка и размещение элементов в приборе, подбор материалов и технологий изготовления конструкций. В техническую составляющую входит разработка технических узлов прибора их взаимодействие между собой, соответствие прибора функциональным и эксплуатационным требованиям.

Космическая отрасль. Подсистема космической отрасли задает технические и габаритные параметры системы, учитывая планировку космической станции, условия перемещения прибора до космической станции, условия микроклимата и условия пребывания человека на станции.

2.6.4 Элементы системы «Космический принтер»

Элементы системы – это параметры, которые необходимо учитывать при проектировании и разработки системы «Космический принтер». В зависимости от учтенных элементов системы возможна вариация полученного результата системы «Космический принтера». В системе «Космический принтер» выделены следующие элементы системы:

- **Тактильные ощущения.** Элемент учитывает приятность взаимодействия с прибором.
- **Цвет.** Элемент учитывает колористическое решение при проектировании прибора.
- **Форма.** Элемент задает габаритные размеры, внешнее очертание и наружный вид предмета.
- **Функциональность.** Элемент задает набор возможностей (функций), которые предоставляет данная система.
- **Надежность.** Элемент задает качество технической системы в целом, элементов и взаимосвязей в системе.
- **Прочность.** Элемент задает свойство материала, для обеспечения сопротивления к разрушению под воздействием внешних сил.
- **Фильтрация воздуха.** Жизненно необходимый элемент системы для обеспечения чистоты вдыхаемого воздуха на космической станции. Фильтрация необходима так как воздух циркулирует по космической станции для избегания вдыхания загрязненного воздуха космонавтом.

- **Материалы.** Элемент учитывает все внешние и внутренние факторы для выбора оптимального материала, соответствующего всем заданным требованиям.
- **Температурный режим.** Так как космическая станция является изолированным от внешней среды сегментом, необходимо поддерживать внутри станции макроклимат комфортный для пребывания в нем космонавтов. Поэтому прибор не должен излучать и поглощать тепло.
- **Технология.** Элемент, отвечающий за совокупность методов и инструментов для создания системы «Космический принтер», который удовлетворяет требованиям космической отрасли.
- **Габаритные размеры.** Элемент учитывает расположение прибора на Международной космической станции. Обеспечивает проходимость принтера в люк ракеты и вместимость в отсек для хранения аппаратуры.

2.6.5 Систематизирование и выявление взаимосвязей системы

На схеме главный подсистемы «Космический принтер» выделен желтым цветом и имеет форму шестигранника для отличия от прочих элементов системы (рисунок 21).

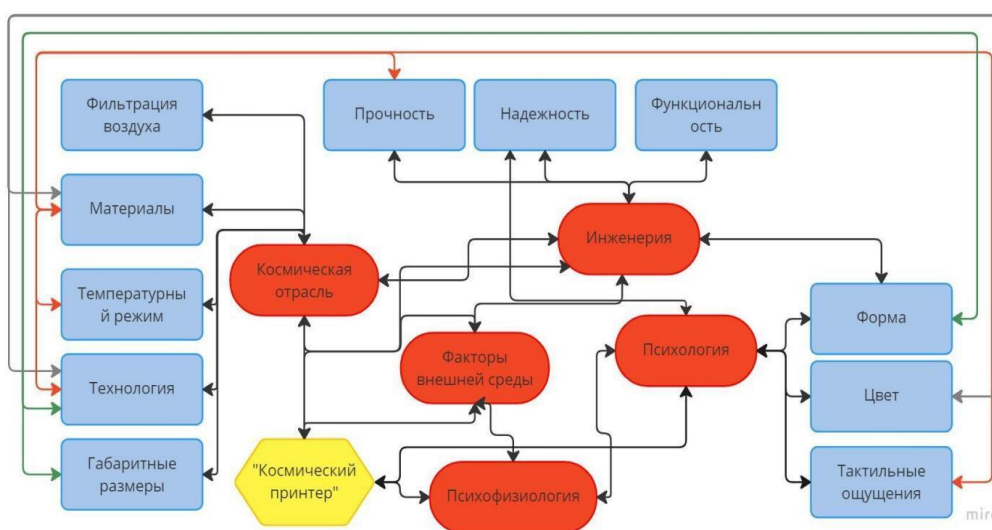


Рисунок 21 – Модель системы «Космический принтер»

От «Космический принтер» идет пять взаимосвязей ко всем подсистемам. Так как каждая подсистема имеет влияние на систему «Космический принтер».

Космическая отрасль задает технические и конструктивные особенности системы.

Инженерная отрасли задает технические и функциональные особенности системы, а также возможные способы технической реализации системы.

Факторы внешней среды учитывают эксплуатационные процессы взаимодействия космонавта с системой в условиях микрогравитации. Воздействие на систему условий ускорения, вибрации и электромагнитного излучения.

Психофизиологические процессы учитывают циркадные ритмы космонавтов.

Психология учитывает длительное пребывание космонавта в замкнутом пространстве с ограниченным количеством людей.

Взаимосвязи подсистем:

- Космическая отрасль – инженерия. Данная взаимосвязь указывает на то, что эти подсистемы и элементы отходящие от соответствующий подсистем имеют двунаправленную зависимость друг от друга. От инженерии зависит реализация температурных режимов, фильтрации воздуха, габаритные размеры, материалы прибора. Так как инженеры проектируют и собирают систему «Космический принтер» на основе требований и технологий присущих космической отрасли.
- Факторы внешней среды – космическая отрасль и инженерия. Факторы внешней среды влияют: на выбор материалов так как необходимо обеспечить ударопрочность прибора; на конструкцию так как необходимо обеспечить устойчивость к вибрации; на технологию так как электромагнитное излучение может вызывать ложное срабатывание сенсорных приборов; на прочность и надежность так как прибор может

быстро выйти из строя под воздействием среды; на функциональность так как обеспечение печать в условиях невесомости достигаются иными технологиями нежели на Земле.

- Факторы внешней среды – психофизиология. Физическое и психологическое состояние космонавта на прямую связано с внешней средой. Условия гравитации, продолжительный рабочий день, шумы и вибрации негативно сказываются на психофизиологии человека.
- Психофизиология – психология. Эти две подсистемы дополняют друг друга. В системе «Космический принтер» психофизиология и психология могут влиять на выбор цвета, формы и материалы. При выборе материалов необходимо учитывать тактильные ощущения при взаимодействии с принтером.

Элементы системы «Космический принтер» при рассмотрении в общем случае имеет много взаимосвязей. Рассмотрим частный случай системы «Космический принтер» для целей промышленного дизайнера.

Главными задачами разработки принтера, является создание подбор формы, колористического решения и материала. Рассмотрим элементы системы, связанные с задачами дизайна.

Элемент «форма» имеет зависимость от элементов «габаритные размеры» и «технологии изготовления».

Элемент «Тактильные ощущения» имеет зависимость от выбранных материалов. Например, металлический корпус ощущается гладким, но при определенном режиме может являться холодным и вызывать неприятные ощущения при работе.

Элемент «материал» учитывать особенности среды и быть прочным. Также от материала зависит технология изготовления принтера и тактильные ощущения при работе оператора с объектом.

Элемент «цвет» зависит от выбранного материала и технологии нанесения.

3 Проектирование 3д-принтера

3.1 Эскизные решения

Перед созданием эскизных решений была проанализирована работа студентки гр. 8Д91 Турганбай Н.Е. Томского политехнического университета «Особенности работы с приборами на Международной космической станции». В данной работе было предложено эскизное решение пульта управления космическим принтером, на основе анализа игровых контроллеров и джойстиков.

Турганбай Н.Е. был предложен новый подход к созданию пульта управления служащий поручнем для фиксации тела оператора в невесомости (рисунок 22–23).

Чертеж

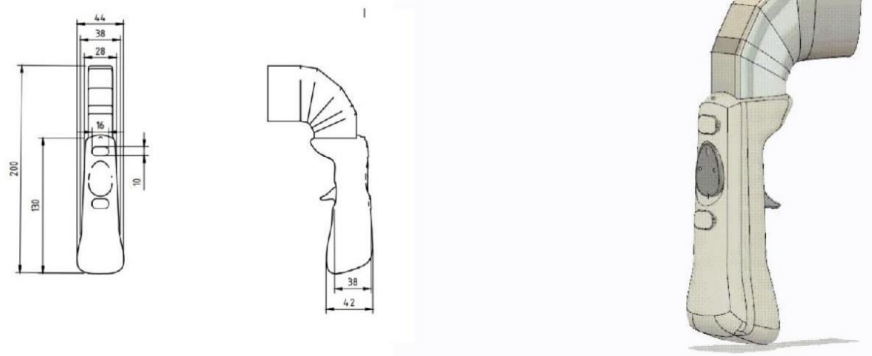


Рисунок 22 – Пульт управления 3D-принтером

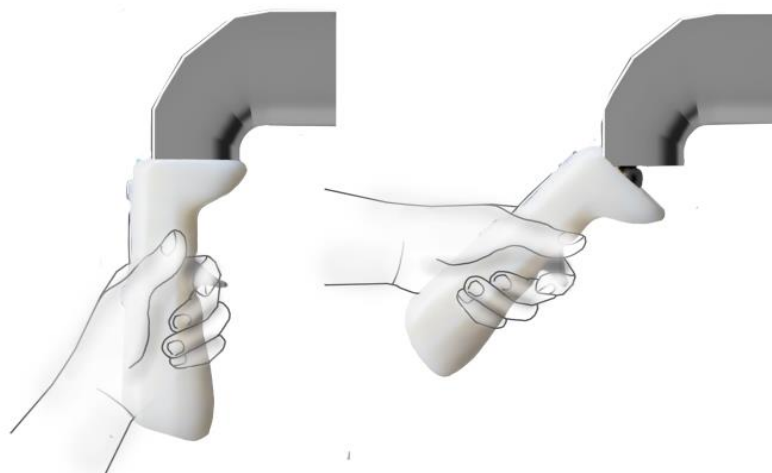


Рисунок 23 – Проверка пульта управления на эргономику

Достоинствами концептуального эскизного решения Турганбай Н.Е. является:

- эргономичность пульта управления;
- обеспечение фиксации тела в невесомости;
- снижение временных затрат на управление принтером за счет органов управления, размещенных на поручнях.

Недостатком концептуального эскизного решения Турганбай Н.Е. является размещение курка на тыльной стороне пульта управления может приводить к случайному нажатию.

На основе проведенных исследований и выявленных достоинств и недостатков работы Турганбай Н.Е. были созданы собственные эскизные решения.

Эскизирование 3д-принтера началось с поиска формы. Выделены 3 вида формообразования корпуса и пульта управления: угловатый, фигурный и округлый. На основе выявленных недостатков существующего 3-принтера, анализа функциональных условий (таблица 3) и системного анализа были созданы три эскиза 3д-принтера (рисунок 24).



Рисунок 24 – Классификация корпуса 3д принтера

Корпус 3D–принтера имеет прямоугольную форму с закругленными краями. Корпус оснащен ручками для комфортного извлечения из аппаратного отсека. Корпус состоит из двух отдельных частей: крышки и рабочей камеры. Крышка крепится к корпусу посредством рычажных застёжек. При открытии рычажных застёжек крышка не соединена с корпусом. Питание к крышке подается через подключение соответствующих штекеров от корпуса к крышке. Это позволяет полностью отделять крышку от корпуса и способствует комфортной работе с рабочей камерой (например, извлечение готового изделия, замена фильтра, оснащение 3D–принтера полимером). На крышке корпуса расположены кнопки «Включения» и «Аварийной остановки».

На крышке слева и справа от экрана размещены ручки с встроенными пультами управления. Диаметр ручки 45 мм. Правый пульт управления служит для управления курсором посредством круглой сенсорной панели, а также содержит кнопки «Ок» и «Отмена». Левый пульт управления содержит кнопки «Старт», «Вперед» и «Назад». Управление осуществляется большими пальцами правой и левой руки.

Материал корпуса алюминий (сплавы АМг2, АМг3, АМг6), материал пультов управления металл и АВС-пластик.

3.2 Определение лучшего эскизного решения методом экспертных оценок

Метод экспертных оценок позволяет получить оценку изделия, модели или эскиза по определенному дизайнером набору признаков или качеств исследуемого объекта [48].

Целью проведения экспертной оценки эскизов, является выбор одного из вариантов на основе трех показателей качества для дальнейшего его проектирования.

Для проведения экспертной оценки формируется рабочая и экспертная группы. Рабочая группа организывает процесс опроса экспертов, собирает и обрабатывает данные опроса. Экспертная группа с помощью интуитивно-логического анализа выставляет каждому эскизу количественную оценку.

Опираясь на сторонние расчеты, для вынесения оценки с доверительной вероятностью 80 процентов необходимо шесть опытных квалифицированных специалистов [48].

Совокупная оценка строится по трем показателям качества: эксплуатационный показатель (k_1); технологический показатель (k_2); эстетический показатель (k_3). Каждый показатель является коэффициентом к оценке и может принимать значение от нуля до единицы в зависимости от его важности в разрабатываемом объекте.

Эксплуатационный показатель (k_1) учитывает эргономику и функциональность будущего изделия.

Технологический показатель (k_2) учитывает технологии производства и работы с материалом будущего изделия.

Эстетический показатель (k_3) учитывает визуальное восприятие и его художественное оформление.

3д-принтер относится к культурно-бытовому классу объектов. Культурно-бытовой класс объектов достаточно обширен и включает в себя от ручного инструмента до аксессуаров и имеет большой разброс числового значения эстетического показателя (k_3) от 0.3 до 0.7, при условии, что сумма всех условий качества должна быть равной единице (рисунок 25).

Значение для потребителя	Границы k_3	Группа бытовых изделий	Эстетический показатель k_3
Эстетико-художественное	$k_3 > 0,7$	Художественные изделия Ювелирно-художественные изделия	0,85...1,00 0,80...0,90
Культурно-бытовое	$k_3 = 0,3...0,7$	Аксессуары Ювелирные изделия Люстры, бра, светильники Кофейные сервизы Столовые сервизы Компьютеры Интерьерная мебель	0,70...0,90 0,65...0,85 0,40...0,60 0,30...0,50 0,35...0,55 0,30...0,50 0,25...0,45
Утилитарно-функциональное	$k_3 < 0,3$	Транспорт Посуда Сантехника Пылесосы Ручной рабочий инструмент	0,20...0,40 0,20...0,35 0,20...0,30 0,10...0,30 0,10...0,30
		Емкости различного назначения Гвозди, шурупы, гайки	0,05...0,25 0,01...0,20

Рисунок 25 – Иерархия промышленных изделий по эстетическому показателю

Рассмотрим распределения веса коэффициентов критериев качества. Самым весомым критерием является эксплуатационный показатель (k_1). Аппаратура космической отрасли должна отличаться высокой стабильностью, функциональностью и эргономичностью. 3д-принтер относится к мелкосерийным, единичным изделиям. Изготовление изделия может содержать ручную работу и сложные технологические процессы. Таким образом, критерии качества распределены следующим образом:

- эксплуатационный показатель (k_1) равен 0.6;
- технологический показатель (k_2) равен 0.2;
- эстетический показатель (k_3) равен 0.2.

Проведение опроса экспертов

Рабочая группа организует опрос экспертов. Каждому эксперту предложено оценить 3 эскиза по трем показателям качества: эксплуатационный показатель (k_1); технологический показатель (k_2); эстетический показатель (k_3). Оценка производится по пятибалльной шкале (рисунки 26-28). Оценки заносятся в таблицу (таблица 4).

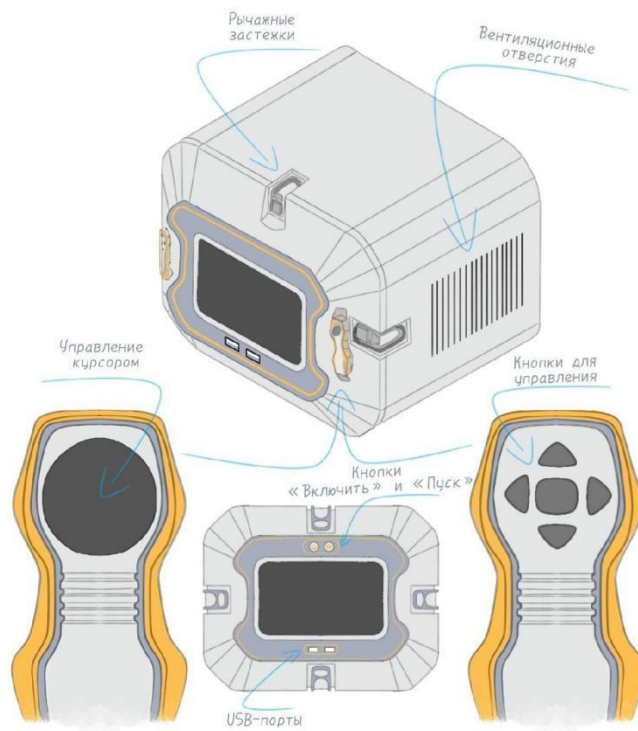


Рисунок 26 – Эскизное решение №1

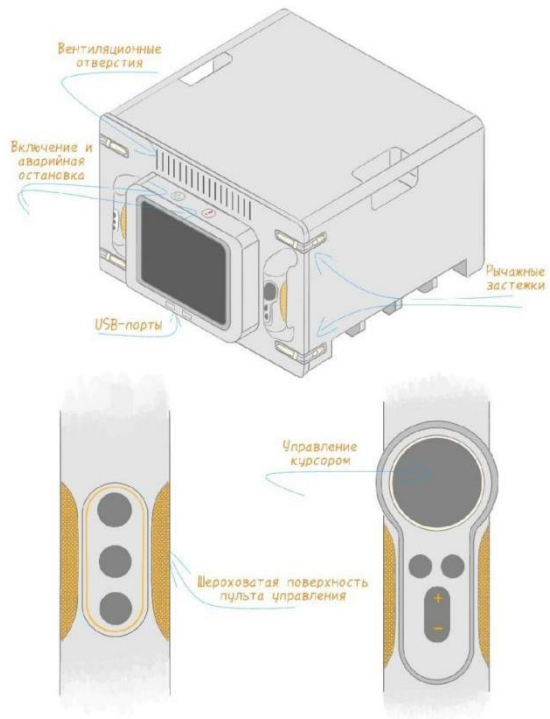


Рисунок 27 – Эскизное решение №2

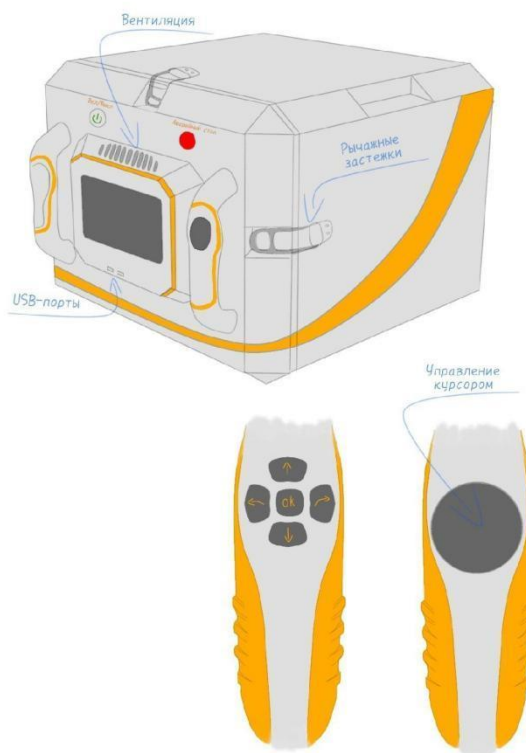


Рисунок 28 – Эскизное решение №3

Таблица 4 – Результаты оценивания эскизных решений

	Экспертные оценки “Эскиз 1”	Экспертные оценки “Эскиз 2”	Экспертные оценки “Эскиз 3”
эксплуатационный показатель			
технологический показатель			
эстетический показатель			

По окончании опроса экспертов рабочая группа собирает результаты. Оценки экспертов вносятся в сводную таблицу (таблица 5).

Таблица 5 – Сводная таблица экспертных оценок

	Экспертные оценки “Эскиз 1”	Экспертные оценки “Эскиз 2”	Экспертные оценки “Эскиз 3”
k1=0.6	5, 3, 5, 4, 5, 5 (27)	4, 4, 4, 4, 5, 3 (24)	5, 5, 5, 5, 5, 4 (29)
k2=0.2	3, 3, 4, 4, 4, 4 (20)	5, 5, 5, 5, 4, 3 (27)	4, 4, 5, 4, 4, 4 (25)
k3=0.2	4, 3, 4, 4, 5, 5 (25)	3, 4, 4, 3, 5, 3 (22)	5, 5, 5, 5, 4, 4 (28)

Исходя из полученных данных производится расчет обобщенной оценки качества согласно выражению:

$$K = \frac{1}{M \times n} (k_1 \times \sum_{i=1}^n R_{1i} + k_2 \times \sum_{i=1}^n R_{2i} + k_3 \times \sum_{i=1}^n R_{3i}), \quad (4)$$

где M – максимально возможный балл;

n – количество экспертов;

R_{ji} – оценка, выставленная экспертом.

$$K_1 = \frac{1}{5 \times 5} (0,6 \times 27 + 0,2 \times 20 + 0,2 \times 25) = 0.84 \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{1}{5 \times 5} (0,6 \times 24 + 0,2 \times 27 + 0,2 \times 22) = 0.81 \quad (6)$$

$$K_3 = \frac{1}{5 \times 5} (0,6 \times 29 + 0,2 \times 25 + 0,2 \times 28) = 0.93 \quad (7)$$

В соответствии с расчетами K_1 , K_2 и K_3 , наивысшая оценка качества достигнута эскизным решением 3. Таким образом эскиз 3 подлежит дальнейшему проектированию.

3.3 Моделирование 3д-принтера

Основная конструкция 3д-принтера состоит из крышки, рабочей камеры и двух пультов управления. Элементы конструкции выполнены из алюминия. Тактильная часть пультов управления выполнена из углепластика. Углепластик является более теплым и приятным на ощупь по сравнению с алюминием.

Моделирование корпуса 3д-принтера производилось по эскизу 3, согласно методу экспертных оценок и состояло из четырех этапов.

Первым этапом была разработана конструкция рабочей камеры принтера. Рабочая камера имеет прямоугольную форму с усеченными углами. Особенностью корпуса является выемка для крепления корпуса на рабочей поверхности посредством тканевой липкой ленты. Внутри корпуса есть выемки для крепления кронштейна, с помощью которого, производятся

соединение конструкции рабочей камеры и крышкой устройства. На лицевой поверхности камеры вырезано углубление для герметизации с помощью резиновой ленты (рисунок 29).

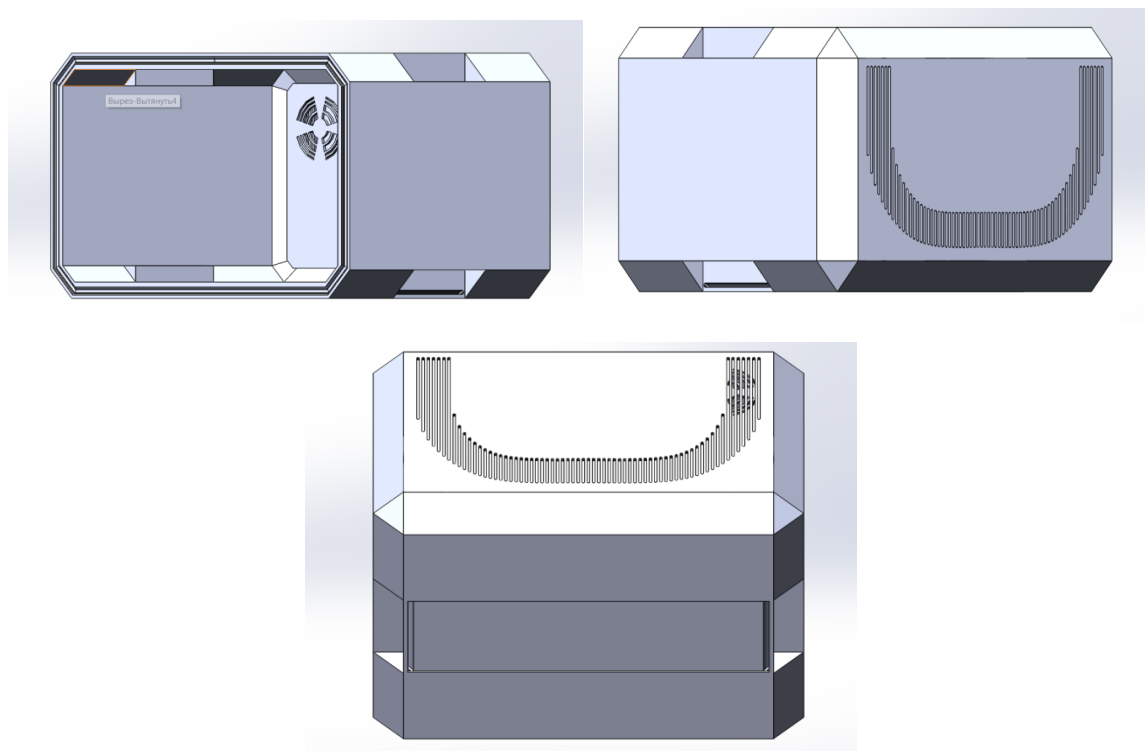


Рисунок 29 – Модель рабочей камеры 3д-принтера

Вторым этапом была разработана крышка для рабочей камеры. На крышке крепится герметизирующая резинка, обеспечивающая изоляцию рабочей камеры от внешнего пространства. На крышке расположены кнопки включения и выключения принтера, а также кнопка аварийной остановки печати. В крышку корпуса встраивается экран с управляющим компьютером. А также к крышке крепятся пульты управления и рычажные застёжки. К крышке корпуса имеются вентиляционные отверстия, к которым подведена система фильтрации воздуха (рисунок 30).

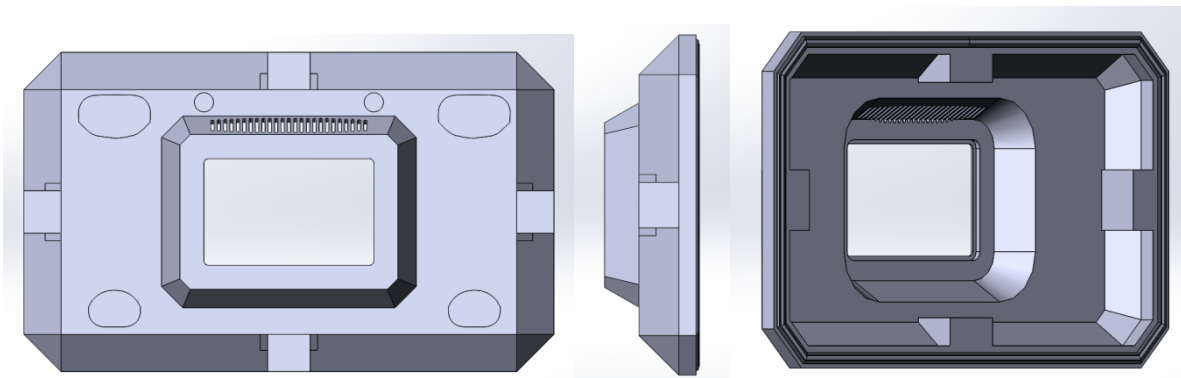


Рисунок 30 – Модель крышки для рабочей камеры 3д-принтера

Третьим этапом были разработаны конструкции пультов управления. Особое внимание было уделено форме корпуса. Эргономичная форма пультов управления была смоделирована при помощи инструментов поверхностного моделирования (рисунок 31).

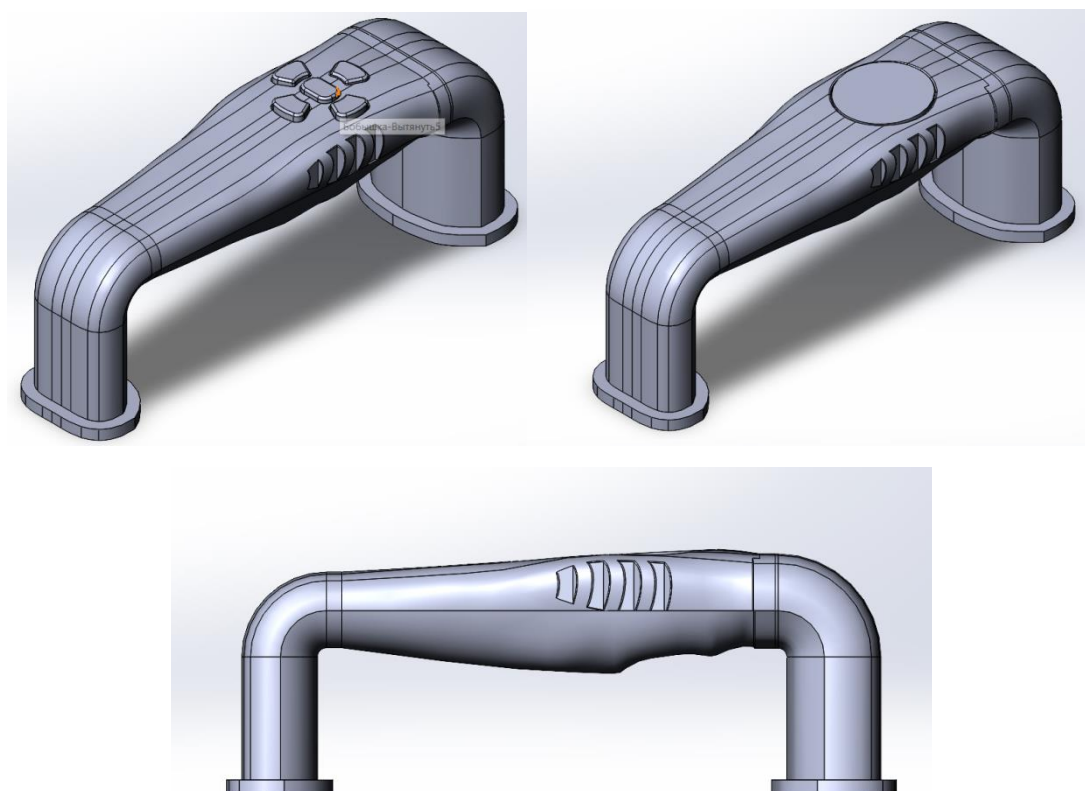


Рисунок 31 – Модель пульта управления

Заключительным этапом были разработаны кронштейны и рычажные застёжки (рисунок 32).

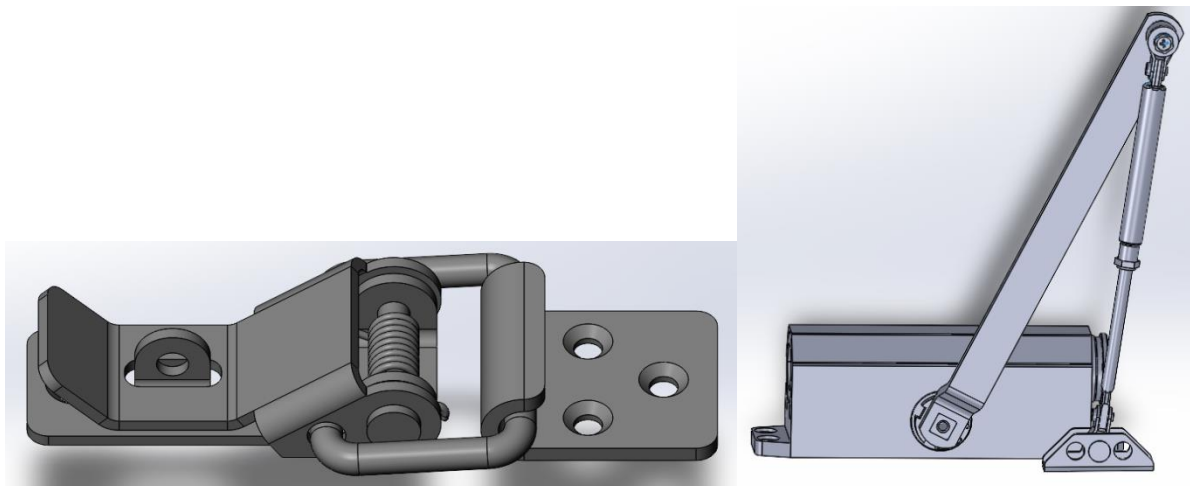


Рисунок 32 – Модели рычажных застёжек и кронштейна

3.4 Исследование модели 3д-принтера методом соматографического анализа

По окончании проектирования 3д-принтера, был проведен соматографический анализ корпуса принтера и пультов управления.

Для анализа были взяты параметры манекена минимально возможных и максимально возможных размеров космонавта (таблица 2).

На схеме для проведения соматографического анализа в профильной проекции, изображено два манекена, зона досягаемости и зона зрительного контакта (рисунок 33).

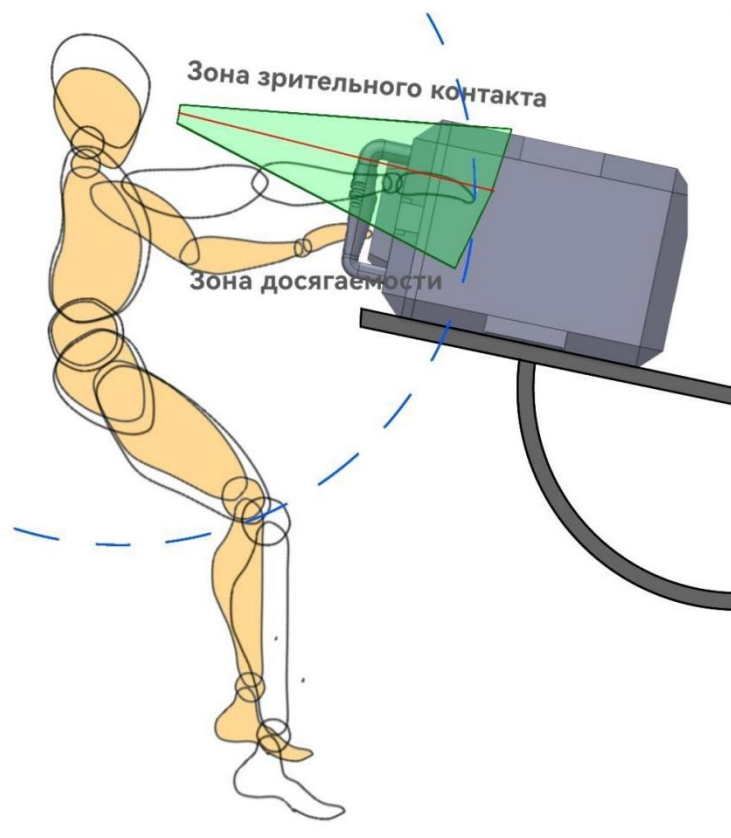


Рисунок 33 – Соматографическая схема в профильной проекции

На соматографической схеме в горизонтальной проекции нанесены разметки зоны удобной досягаемости и зона для грубой ручной работы (рисунок 34).

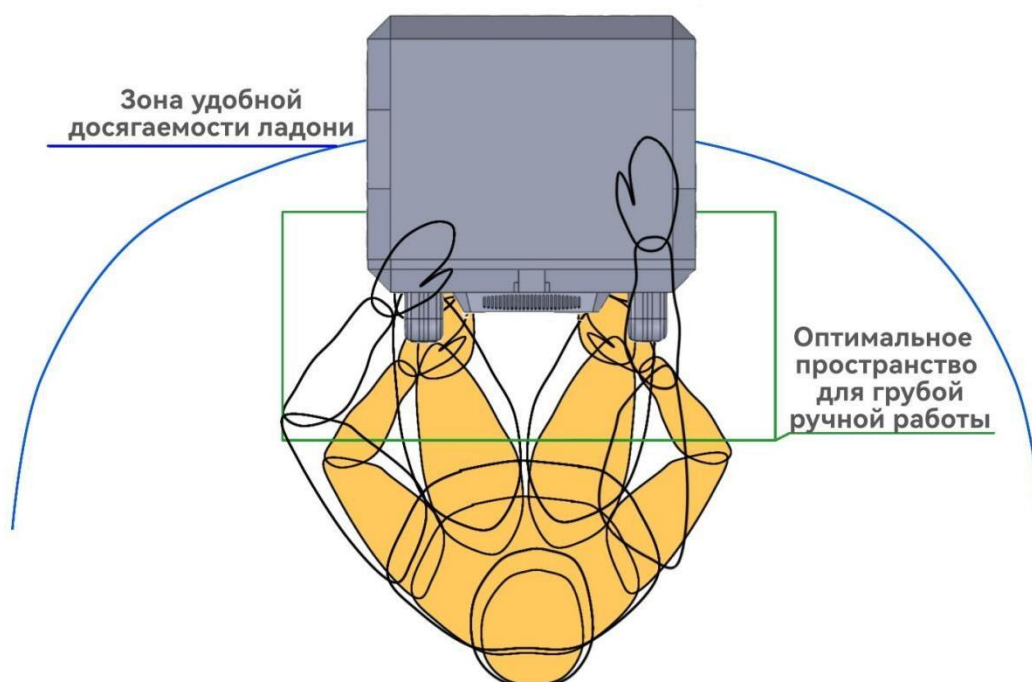


Рисунок 34 – Соматографическая схема в горизонтальной проекции

Проанализировав соматографические схемы были сделаны следующие выводы:

- габаритные размеры 3д-принтера позволяют комфортно работать космонавтам с разным телосложением;
- для комфортной работы космонавта с 3д-принтером, необходимо иметь наклонную рабочую поверхность;
- рабочая поверхность должна находиться на уровне 70-80 сантиметров от уровня пола.

Для выявления эргономических качеств пультов управления был проведен соматографический анализ. В качестве манекена была взята рука среднего космонавта (рисунки 35).

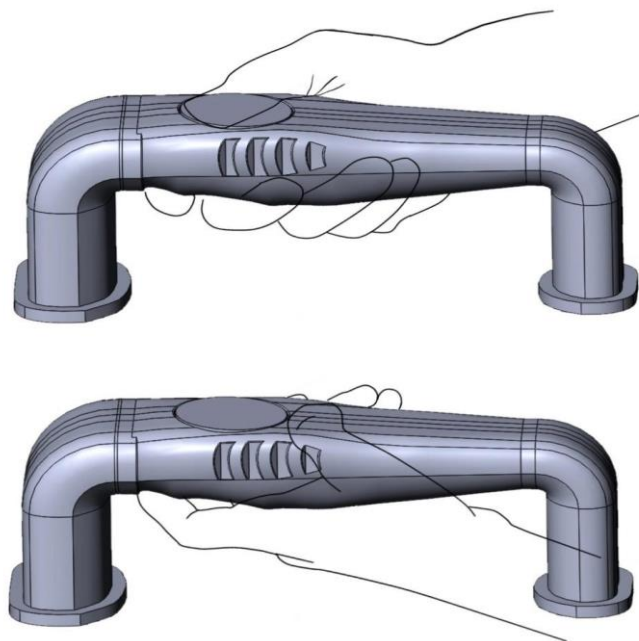


Рисунок 35 – Соматографическая схема пульта управления

Проанализировав соматографическую схему, были сделаны следующие выводы:

1. Пульт управления имеет эргономичную форму.
2. Размеры пульта управления соответствуют для комфортного обхвата рукой для фиксации тела в пространстве.
3. Кнопки расположены комфортно для осуществления управления большим пальцем руки.

4 Концепция стартап-проекта

4.1 Описание услуги

Целью стартапа является разработка корпусов для устройств, предназначенных для работы в условиях микрогравитации на МКС и РОСС. Корпуса для приборов космической промышленности служат для обеспечения защиты чувствительных и хрупких компонентов прибора. Кроме того, приборы предназначены для работы в суровых и экстремальных условиях космоса, таких как экстремальные температуры, радиация, вакуум и удары. Разработка корпусов для приборов, предназначенных для работы в невесомости, включает в себя решение, которое позволит удовлетворить всем техническим и эксплуатационным требованиям.

К основным потребительским качествам корпусов для приборов космической отрасли относятся надежность, долговечность, малый вес, высокая стойкость к тепловым и радиационным воздействиям. Материалы, используемые для корпуса, следует выбирать с учетом их способности защищать прибор и поддерживать его точность и рабочие характеристики в течение всего срока службы.

Другими важными потребительскими качествами являются простота интеграции с другими компонентами прибора, эффективное использование пространства и совместимость с существующей аппаратурой космических аппаратов и ракетоносителей. Конструкция корпуса также должна обеспечивать легкий доступ для обслуживания или ремонта прибора, что имеет решающее значение для длительных миссий.

В рамках дипломной работы, был смоделирован корпус 3д-принтера для печати в условиях невесомости (рисунок 35). Разработка модели основана на требованиях к проектированию 3д-принтера такие как: требования к эргономике, требования безопасности, требования к конструкции, требования стойкости к внешним воздействиям, требования надежности. Применение

системного анализа позволило систематизировать представленные требования и разработать корпус, удовлетворяющий им.

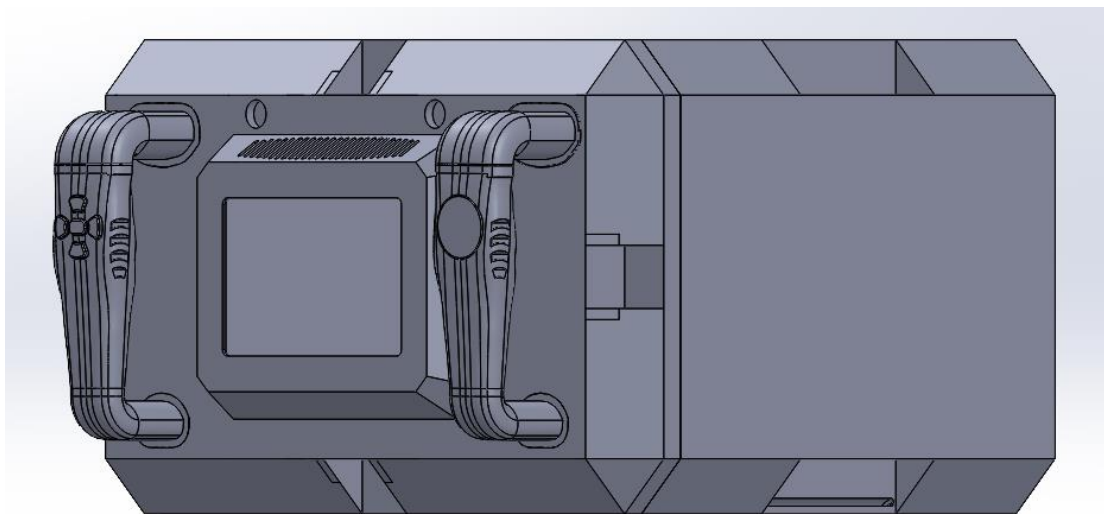


Рисунок 35 – Модель корпуса 3д-принтера для печати в условиях невесомости.

В результате услуга сможет решать следующие задачи:

- проектирование корпусов для не серийного производства специальной аппаратуры;
- исследование внешних и внутренних факторов для проектирования «особых» приборов;
- повышение удобства эксплуатации продукта в особых условиях или замкнутых пространствах;
- улучшение психоэмоционального состояния космонавта за счет колористического решения и тактильного восприятия продукта;
- открытие рынка аэрокосмических технологий.

Таким образом, корпуса для приборов космической промышленности являются важными компонентами успеха любой миссии по исследованию космоса. Они должны быть эргономичными, прочными и надежными, соответствовать строгим требованиям к производительности и выдерживать экстремальные условия окружающей среды в космосе.

4.2 Способы защиты интеллектуальной собственности

В рамках работы были рассмотрены способы защиты интеллектуальной собственности при разработке корпуса прибора:

1. Получение патента. Одним из наиболее эффективных способов защиты интеллектуальной собственности, связанной с конструкцией корпуса прибора, является получение патента на полезную модель или промышленный образец. Это обеспечивает правовую защиту от нарушений и позволяет владельцу патента запрещать другим использовать, создавать или продавать изобретение без их разрешения.

2. Товарные знаки. Товарный знак – это символ, слово или фраза, которые отличают продукт или услугу от других на рынке. Регистрация товарного знака для дизайна или логотипа, связанного с корпусом прибора, может быть хорошим способом защиты его интеллектуальной собственности.

3. Авторские права. Защита авторских прав может применяться к дизайну корпуса прибора, включая любые чертежи, чертежи или схемы, использованные в процессе проектирования. Он обеспечивает правовую защиту от копирования произведения другими лицами и позволяет владельцу авторских прав направить судебные иски против нарушения.

Корпус прибора и его дополнительные комплектующие могут быть зарегистрированы в качестве полезной модели. В результате будут запатентованы промышленный дизайн и инновационное техническое решение корпуса, а также конструктивные особенности прибора. Оформление патента на полезную модель необходимо произвести до передачи корпуса заказчику.

4.3 Объем и емкость рынка

В рамках стартапа было сформировано представление об основном и дополнительном рынке. Основным рынком является проектирование корпусов для космической аппаратуры в Российской Федерации.

Космическое пространство во многом схоже с пространством обитания на подводных лодках (замкнутое пространство, длительное пребывание в определенном коллективе, постоянные шумы и вибрации). Таким образом в перспективе развития стартапа возможен выход на дополнительный рынок проектирования аппаратуры для подводных лодок в Российской Федерации. Бизнес-идея стартапа заключается в предоставлении услуг по проектированию корпуса прибора для космонавтов.

Стартап ориентируется на сектор бизнес-клиентов B2B и B2G.

B2G (business-to-government) – отношения между бизнесом и государством. Обычно термин используется для классификации систем электронной коммерции. Примером B2G-систем могут служить системы электронных госзакупок [50]. B2B – сокращение от английских слов «business to business», в буквальном переводе – бизнес для бизнеса. Это сектор рынка, который работает не на конечного, рядового потребителя, а на такие же компании, то есть на другой бизнес [50].

Фактические расходы государства на космическую деятельность за пять лет составили 3,9 миллиарда рублей (рисунок 36) [51].

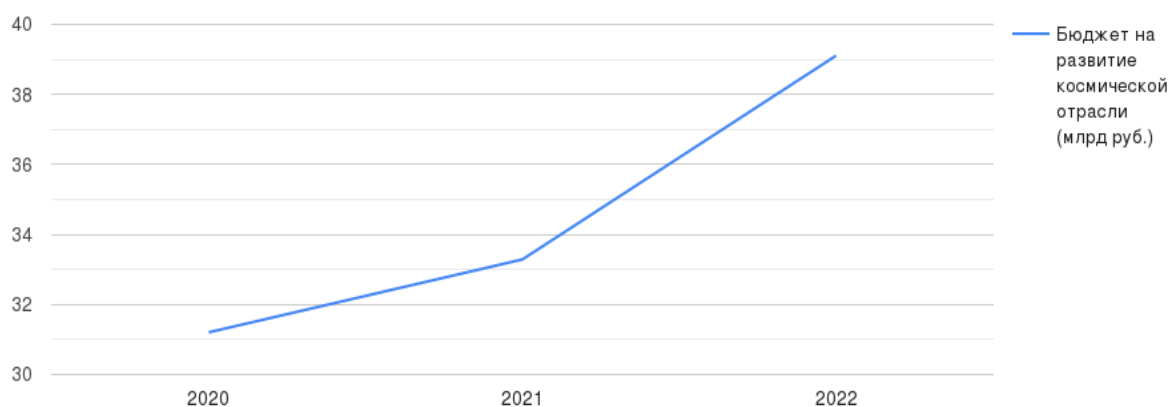


Рисунок 36 – Расходы государства на космическую деятельность 2020 – 2022 годах

В России доля космических запусков и ракетостроения для частных компаний мала, но все же имеет место быть.

Российская частная компания Success Rockets, которая занимается разработкой сверхлегких ракет и спутников при поддержке «Роскосмоса». Она уже получила \$4,5 млн на первый этап разработки и планирует привлечь еще \$50 млн. Первая ракета-носитель Stalker сможет выводить на орбиту груз от 250 кг на высоту от 500 км, а первый запуск намечен на 2024 год. Однако большую часть работ по изготовлению и сборке компания будет заказывать у внешних подрядчиков [52].

«Стратонавтика» – компания, которая осуществляет туристические и коммерческие полеты в стратосферу – на высоту 30 км – с использованием собственного стратостатного комплекса. Помимо самих полетов, она запускает метеорологические спутники и размещает рекламу. За десять лет работы «Стратонавтика» осуществила 150 запусков [52].

В сфере спутников на Российском рынке присутствует значительно больше компаний частного сектора: «Лин Индастриал», «Спутникс», «Астрономикон», «Avant Space».

Наиболее перспективная область сбор и обработка спутниковых данных, которые можно использовать для мониторинга и прогнозов в сфере

экологии, навигации, сельского хозяйства. Компании «Совзонд» и «Лоретт» занимаются разработкой аппаратных комплексов для обработки и передачи данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Такие данные используют при детекции нарушений в сфере рыбной ловли и экологической безопасности, а также – выявления паводков и лесных пожаров.

Наиболее привлекательным для массового рынка выглядит космический туризм, объем рынка которого превысит \$1 млрд к 2024 году. Уже в этом году отправят туристов на МКС, SpaceX планирует освоение Марса, а Blue Origin и Virgin Galactic готовят первые коммерческие полеты на орбиту. В ближайшие годы станут доступными туристические полеты на Луну. Стоимость таких туров в ближайшие десятилетия может снизиться в десять раз: с \$200 тыс. до \$20 тыс. – за счет развития инфраструктуры и увеличение вместимости кораблей [52].

Стартап по разработке корпусов позволит:

- реализовать процесс импортозамещения, а также следить за этапами разработки корпуса прибора;
- честным компаниям производить больше товаров и услуг за счет передачи на аутсорсинг производство корпусов приборов.

По примерным оценкам на начальном запуске сатрапа ожидается получать от 5 до 10 заказов в месяц.

4.4 Современное состояние и перспективы отрасли

Перспективы дизайна корпусов приборов для космической отрасли многообещающие в связи с растущим спросом на запуски спутников, исследование дальнего космоса и космический туризм. По мере того, как космическая отрасль продолжает расти, будут предъявляться новые требования к более крупным и сложным приборам и датчикам, которые потребуют новых решений в конструкции корпусов приборов.

Одной из потенциальных областей развития является использование интеллектуальных материалов, таких как сплавы с памятью формы или самовосстанавливающиеся полимеры, которые могут реагировать на различные условия окружающей среды, такие как изменения температуры или разгерметизация, для обеспечения еще большей защиты. Исследователи также изучают возможность использования наноматериалов для конструкции корпусов инструментов, которые могут улучшить тепловые и механические свойства.

Новые достижения в космических технологиях, такие как многоразовые ракеты-носители и модульные космические среды обитания, также вызовут потребность в корпусах для приборов, которые можно легко интегрировать и адаптировать для различных приложений. В целом, перспективы конструкции корпусов приборов в космической отрасли многообещающие, и они будут продолжать развиваться по мере того, как космические технологии становятся более совершенными и доступными.

4.5 Себестоимость услуги

Расчёт себестоимость продукта будет производиться с учётом элементов затрат. В данном случае продуктом стартапа является предоставление услуги по проектированию корпуса прибора. Рассчитаем стоимость создания опытного образца 3д-принтера для печати в условиях невесомости (таблица 6).

Таблица 6 – Стоимость создания опытного образца

Наименование	Количество	Цена, руб.
Рабочая камера	1 шт.	185 000
Крышка	1 шт.	223 00
Пульт управления левый	1 шт.	11 800
Пульт управления правый	1 шт.	11 800
Кранштейн	2 шт.	670x2

Продолжение таблицы 6 – Стоимость создания опытного образца

Наименование	Количество	Цена, руб.
Рычужные застежки	4 шт.	520x4

Герметизирующая резинка	1,5 м.	220
Кнопки	5 шт.	452
Трепад	1 шт.	742
ИТОГО: 235 734		

Также необходимы квалифицированные работники. К наёмным работникам, инженер, инженер-конструктор, дизайнер. Расчет себестоимости продукта по элементам условно-постоянных затрат за 1 месяц отражён в таблице 7.

Таблица 7 – Общая сумма условно-постоянных затрат за 1 месяц

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Страховые взносы	32 240
Оплата труда	240 000
Арендная плата	17 000
Оплата работ и услуг сторонних организаций	23 000
Покупка лицензии на программное обеспечение	34 454
Оплата услуг кредитных организаций	12 000
ИТОГО	358 694

Для определения точки безубыточности необходимо использовать следующую формулу: *Точка безубыточности = Постоянные затраты / Прибыль с 1 продажи.*

Для определения цены планируется установить наценку на услугу 30 % от себестоимости изготовления одного заказа. Для произведения расчетов, примем изготовление корпуса для 3д-принтера за среднестатистический заказ.

Рассчитаем точку безубыточности в количественном выражении:

$$358\,694 / 107\,608.2 = 3,33 \approx 4 \text{ шт.}$$

Оказание среднестатистической услуги, начиная с 4 заказа, уже начинают приносить текущую прибыль и вклад в покрытие инвестиционных затрат.

Инвестиционным планом называют экономический или социальный проект, который реализуется с помощью инвестиционных вложений. Данный план отражает обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления прямых инвестиций в определённый объект,

включающее проектно-сметную документацию, разработанную в соответствии с действующими стандартами (таблица 8).

Таблица 8 – Инвестиционный план

	1 этап	2 этап	3 этап
Срок	неделя	неделя	2 недели
Содержание	Разработка требований к продукту и разработка технического задания на промышленный образец. Эскизирование.	Изучение предметной области. Эскизирование.	Изготовление 3д-модели, чертежей, визуализации.
Инвестиции	1 000 000 руб.	-	-

Для выведения стартапа на рынок необходимо иметь стартовый капитал в размере 1 000 000 рублей. Для изготовления одного среднего заказа требуется один месяц работы. Прибыль с одной продажи составляет 30 процентов. Стоимость годового лицензированного программного обеспечения составляет 413 450 рублей. Таким образом, на конец первого месяца остаток составляет 227 856 рублей. После получения оплаты за услугу, компания будет иметь капитал в размере 694 154,2 рубля. В следующем месяце планируется выполнить 4 заказа. Суммы 694 154,2 рублей будет достаточно для первого месяца второго квартала чтобы выполнить 3 заказа.

4.6 Конкурентные преимущества

Для проведения конкурентного анализа были взяты три устоявшиеся на рынке компании: «Высокоточная механика», «Cubicprints», «ШильдПанель». Рассмотренные компании занимаются разработкой и производством корпусов для прибора с применением различных технологий.

Для проведения анализа были сформулированы критерии услуги, предоставляемые компаниями. На основе критериев была составлена таблица, в которую были занесены данные о каждой компании (таблица 9).

Таблица 9 – Конкурентный анализ

	Дизайн-Pro	Высокоточная механика	Cubicprints	ШильдПанель
Материалы	Металл, композитные	Металл	Фотополимер Полиамид	Сталь, алюминий,

	материалы		ABS-пластик	пластик, дерево
Назначение	Любое	Стабилизаторы напряжения промышленных кондиционеров; GPS-приборы; терминалы; медицинское оборудование; и электротехника; контрольно- измерительные приборы; звуковые усилители.	Любое	Любое
Уровни защиты	Виброустойчивость , герметичность, работа в невесомости.	Герметичность, работа в экстремальных условиях, влагонепроницаемость .	-	-
Масштаб производства	Единичное, мелкосерийное производство.	Мелкосерийное, крупносерийное производство.	Единичное, мелкосерийное , крупносерийно е производство.	Мелкосерийн ое производство .

Продолжение таблицы 9 – Конкурентный анализ

	Дизайн-Pro	Высокоточная механика	Cubicprints	ШильдПанель
Технологии	Фрезеровка, литье, 3D-печать, контактное формование, инъекция/инфузия связующего в закрытую форму, формование из препрегов и премиксов, прессование, объемное формование.	Фрезеровка; токарная обработка; сварка, соединяющая конструкцию; лазерная резка; установка крепежных систем; финишная обработка (покраска, нанесение покрытий, шлифовка).	Литьё в силиконовые формы 3D-печать шлифовка, грунтовка, покраска, склейка, покрытие лаком.	Фрезеровка, УФ-печать, травление.
Отрасли	Космическая	Медицинская, электроэнергетическая	Любая	Любая
Регион	Томск	Москва	Москва	Москва
Принципы работы с клиентом	Техническое задание от заказчика. Изучение предметной области, проектирование на основе системного анализа.	Разработка по чертежам.	Техническое задание от заказчика.	Разработка по чертежам.
Рынок	B2B, B2G	B2C, B2B	B2C, B2B	B2C, B2B

Можно выделить следующие конкурентные преимущества разрабатываемого продукта:

1. Использование композитных материалов, позволяет снизить массу корпуса и повысить прочность изделия.
2. Применение системного анализа, как инструмента проектирования прибора позволяет улучшить эргономику, а также учесть все внешние и внутренние факторы воздействия на корпус, повысить его функциональность.
3. Выход на рынок B2G позволит расширить целевую аудиторию.
4. Территориальное расположение может являться преимуществом для многих регионов страны.

4.7 Целевые сегменты потребителей услуги

Целевой аудиторией компании «Дизайн-Pro» являются частные компании по разработке сверхлёгких ракет; компании осуществляющие туристические и коммерческие полёты в стратосферу, компании производящие спутники и запуск их на орбиту (рисунок 37). В государственном секторе целевой аудиторией является госкорпорация «Роскосмос».

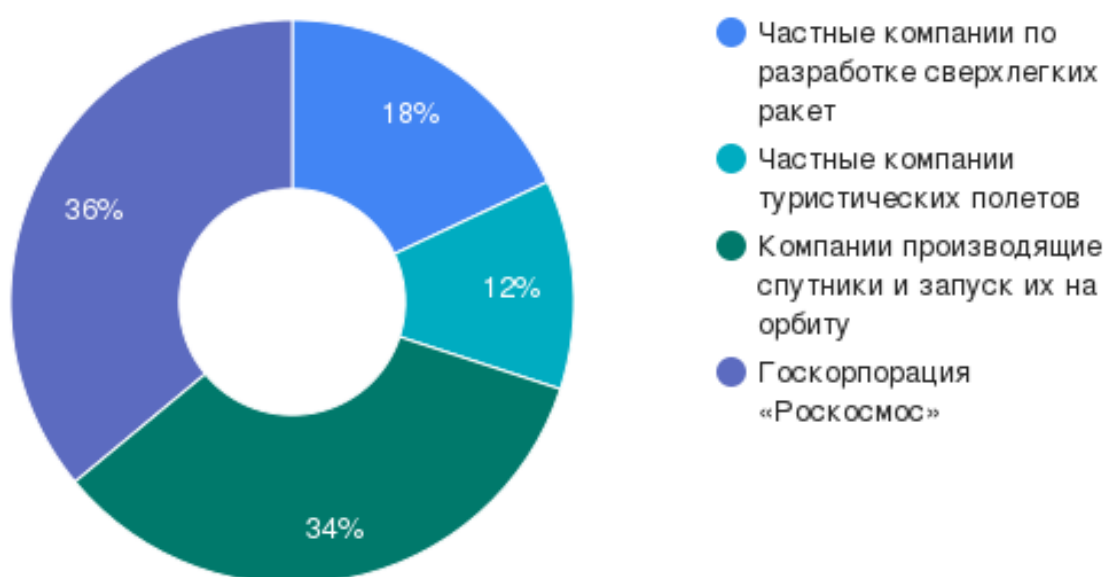


Рисунок 37 – Усреднённый потребитель

Основным целевым сегментом потребителей являются частные компании. Доля частных компаний составляет 64 процента, оставшиеся 36 процентов занимает государственный сектор.

4.8 Бизнес-модель проекта

Построена бизнес-модель для проектной компании «Дизайн-Pro» (рисунок 38). Продуктом проектной компании является услуга по разработке и проектированию корпусов приборов для космической отрасли. Услуга ориентирована на частные и государственные компании космической отрасли.

Услуга позволяет разрабатывать корпуса приборов любой сложности для любых условий использования. Индивидуальный подход к разработке корпуса прибора позволяет получить эргономичное решение соответствующие всем требованиям к проектированию.

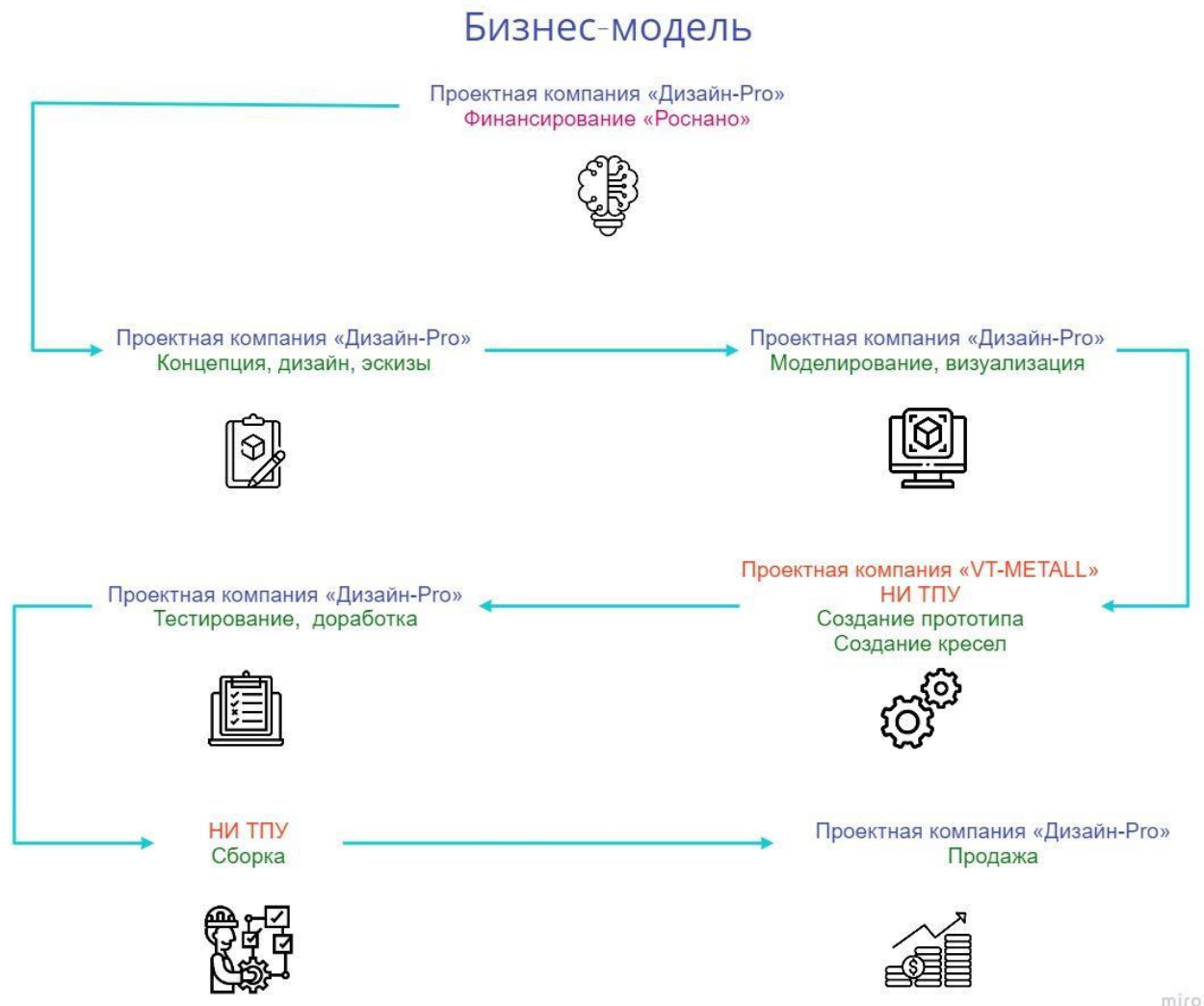


Рисунок 38 – Бизнес-модель проекта

Бизнес-модель отражает весь цикл разработки продукта, а также наличие компаний-партнеров.

Этапы бизнес-модели:

1. **Работа с клиентами.** Проектная компания «Дизайн-Pro» занимается привлечением клиентов и приемом заказов. На первом этапе работы с клиентом составляется договор и техническое задание.

2. **Концепция, дизайн, эскизы.** Проектная компания «Дизайн-Pro» изучает требования заказчика, проектную область разработки, аналоги. Предлагает концептуальные и эскизные решения.
3. **Моделирование, визуализация.** Лучшее эскизное и концептуальное решение принимается к дальнейшему проектированию и представлению модели приближенной к реальности. По моделям строятся уточнённые чертежи.
4. **Тестирование, доработка.** Проектная компания «Дизайн-Pro» производит тестирование разработанной модели по средствам компьютерной симуляции в специализированном программном продукте.
5. **Создание прототипа.** Техническая составляющая прибора производится и собирается в НИ ТПУ. Созданием металлических конструкций для корпуса прибора занимается партнерская компания по металлообработке «VT-METALL».
6. **Сборка.** Сборка всего изделия производится инженерами в лаборатории НИ ТПУ.
7. **Продажа.** Презентацию и разработку графического материала готового изделия производит проектная компания «Дизайн-Pro».

4.9 Стратегия продвижения услуги на рынок

Стратегия продвижения продукта на рынок является одним из ключевых элементов маркетингового плана компании, в котором фиксируются цели рекламных кампаний, базовые принципы и подходы маркетинговых коммуникаций бренда, общая долгосрочная стратегия продвижения продукта на рынок [52].

Продвижение продукта будет производиться для моделей «Business to Business» и «Business to Government». Так, B2B-модель подразумевает

активные продажи, и большую роль играет отдел продаж. В B2G-модели практически все товары и услуги закупают через торги, что исключает фактор спонтанных покупок.

К основным способам продвижения стартапа относятся:

- участие в специализированных выставках (выставки в музеях, авиакосмические выставки, а также выставки промышленного дизайна);
- коммерческое предложение;
- создание уникального контента о принципах и методах проектирования приборов и размещение информации на сайте компании.

К наиболее эффективному способу продвижения стартапа относится коммерческое предложение. На продвижение через коммерческое предложение было выделено 70 тысяч рублей (рисунок 39).

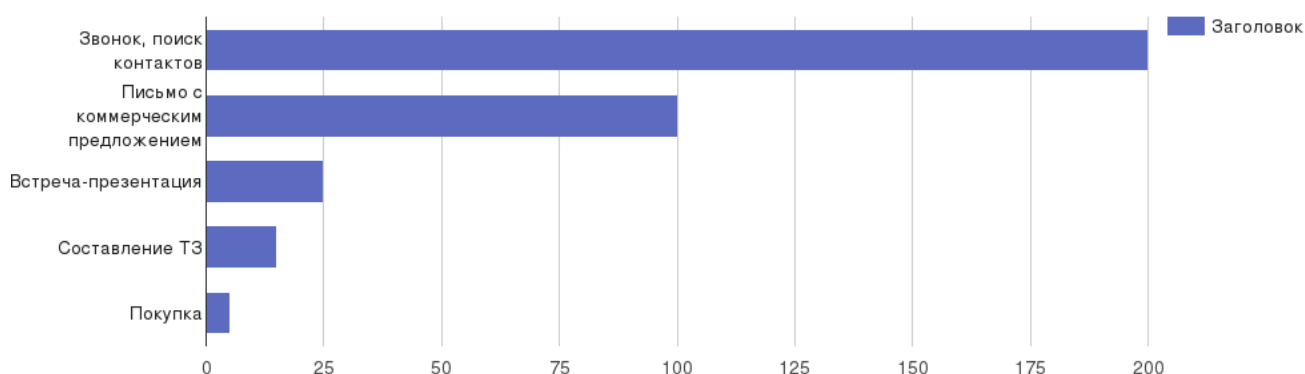


Рисунок 39 – Продвижения стартапа через коммерческое предложение

Общая конверсия от коммерческого предложения равна 2,5 процента.

Рассмотрим продвижение стартапа через выставку. Для участия на выставке выделено 150 тысяч рублей (рисунок 40).

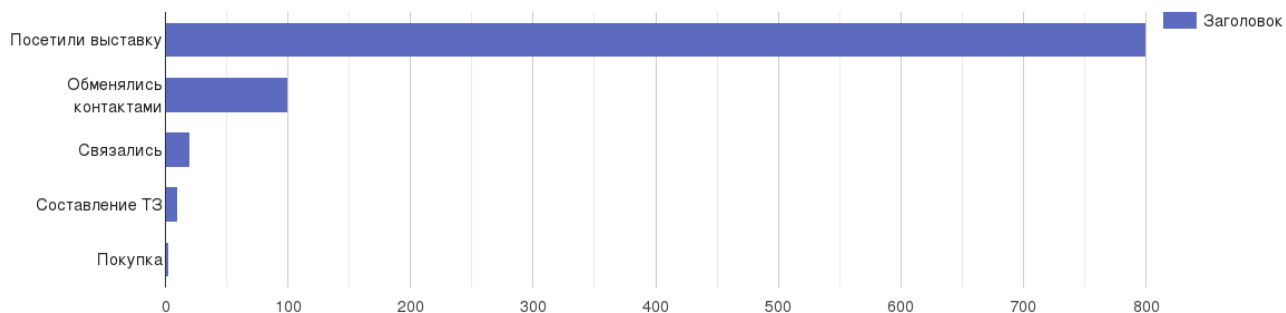


Рисунок 40 – Продвижения стартапа на выставке

Общая конверсия от коммерческого предложения равна 0,5 процентов.
При этом вкладывается большая сумма денег на продвижение.

5 Социальная ответственность

Раздел социальной ответственности занимается освещением вопросов, связанных с обеспечением безопасности при чрезвычайных ситуациях, охраной труда и окружающей среды. В разделе анализируются вредные и опасные производственные факторы, возможные аварийные ситуации и даются рекомендации по снижению их воздействия на человека.

Предметом исследования является система требований разработки 3D-принтера, предназначенного для печати в условиях невесомости. Блок 3D-принтера предназначен для создания изделий методом послойного наплавления термопластичных полимеров в условиях космического полета. Область применения: космическая промышленность.

Рабочее место дизайнера – помещение офисного типа площадью 24, 91 м². В холодное время года используется нерегулируемое водяное отопление.

Вентиляция – естественная. В помещении совмещенный тип освещения.

Работа осуществляется на индивидуальном рабочем месте с использованием персонального компьютера и периферийных устройств.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 10 и 11.

Таблица 10 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.2

Таблица 11 – Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Общая площадь рабочего помещения составляет 24,91 м², объем составляет 87,2 м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сделать вывод, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров был рассмотрен микроклимат в помещении. В качестве параметров микроклимата были рассмотрены: температура, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной недостаток – приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³[53]. В

нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2.542-96. [53].

5.1.2 Превышение уровней шума

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК.

Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными

методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 [54, 55]. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты СИЗ.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц

до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [57]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [56]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.) [57, 58].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83): в диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМдоп) при времени облучения (τ облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см², при τ облуч., равном 2 ч, - 100 мкВт/см² и при τ облуч., равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см² (при обязательном использовании защитных очков). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см². Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

1. защита временем;
2. защита расстоянием;

3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
4. экранирование источника;
5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ:

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

5.1.4 Недостаточная освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 [59] в помещении, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на

должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5,3$ м, ширина $B = 4,7$ м, высота $H = 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5,3 \cdot 4,7 = 24,91 \text{ м}^2 \quad (8)$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_C = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Pi} = 70\%$. Коэффициент запаса, соответствующий помещению с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛБ}} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы ЛБ мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой ОДОР лежит в диапазоне 1,1-1,3. Возьмем минимальное значение $\lambda = 1,1$ и расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_C = 0,5$ м.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $H = 3,5$ м. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_C = 3,5 - 1,0 - 0,5 = 2,0 \text{ м.} \quad (9)$$

Из формулы

$$\Phi_{\text{ЛБ}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \eta} \quad (10)$$

находим число ламп:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{ЛБ}\eta} \quad (11)$$

η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} = \frac{5,3 \cdot 4,7}{2,0 \cdot (5,3+4,7)} = 1,25. \quad (12)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{П} = 70\%$, $\rho_{С} = 50\%$ и 81 индексе помещения $i = 1,25$ равен $\eta = 0,57$. Тогда

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{ЛБ}} = \frac{300 \cdot 5,3 \cdot 4,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2600 \cdot 0,57} = 8,32 \approx 8 \text{ ламп.} \quad (13)$$

При этом получается 4 светильника.

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $L_1/3$ и L_2 и $L_2/3$ по следующим уравнениям:

$$4700 = L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 2 \cdot 265; \Rightarrow L_1 = 2502 \text{ мм}; \frac{L_1}{3} = 834 \text{ мм}; \quad (14)$$

$$5300 = L_2 + \frac{2}{3}L_2 + 2 \cdot 1227; \Rightarrow L_2 = 1708 \text{ мм}; \frac{L_2}{3} = 569 \text{ мм}; \quad (15)$$

Была составлена схема помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами (рисунок 41).

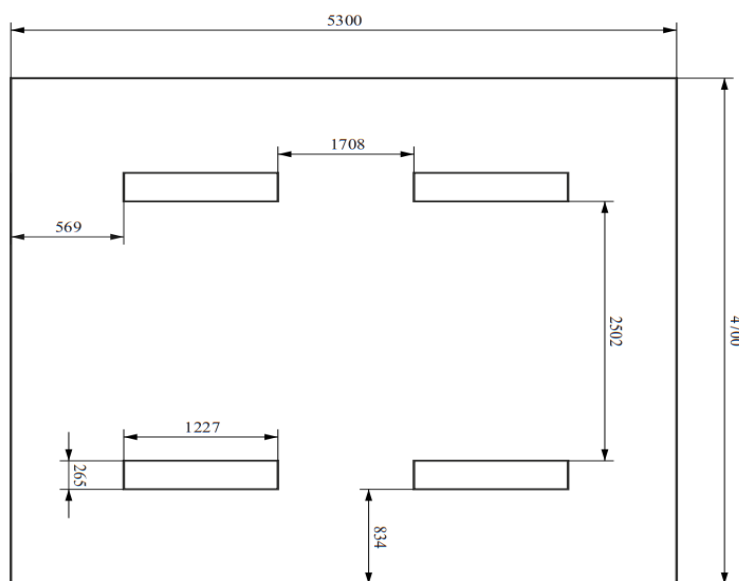


Рисунок 41 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Потребный световой поток люминесцентной лампы определяется по 82 формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \eta} = \frac{300 \cdot 5,3 \cdot 4,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,57} = 2704,05 \text{ лм.} \quad (16)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛБ}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{ЛБ}}} \cdot 100\% \leq 20\%, \quad (17)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛБ}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{ЛБ}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2704,05}{2600} \cdot 100\% = -3,71\% \quad (18)$$

Таким образом необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт.} \quad (19)$$

5.1.5 Факторы электрической природы

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования.

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1$ А; $U < (2-36)$ В; $R_{\text{зазем}} < 4$ Ом.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты: защитное заземление, зануление; малое напряжение; электрическое разделение сетей; защитное отключение; изоляция токоведущих частей; оградительные устройства; использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки, изолирующие клещи и штанги, слесарные инструменты с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, резиновые коврики и дорожки.

5.1.6 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы [60].

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам) [61].

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

- отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 1, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

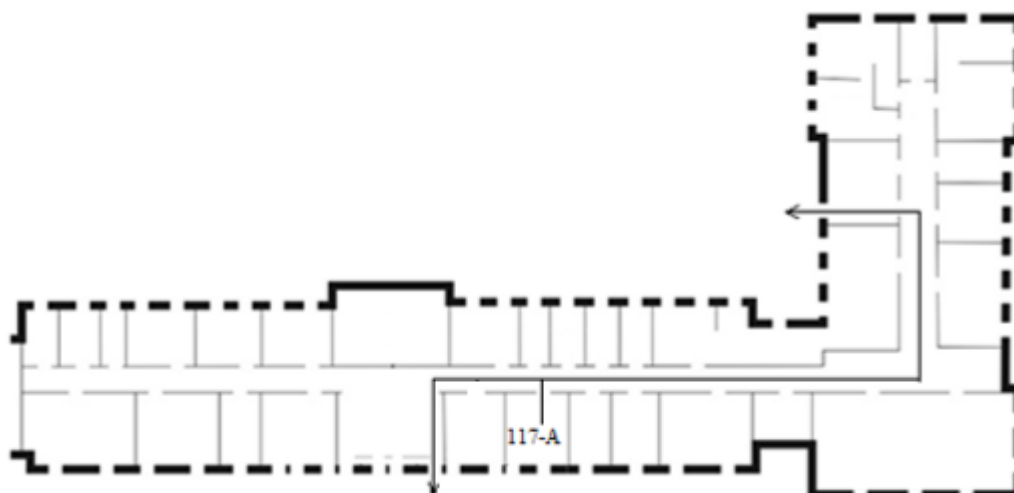


Рисунок 42 – План эвакуации при пожаре и других ЧС.

5.2. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектрогенераторы; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 «ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты»
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры
16. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан дизайн корпуса и конструкции 3д-принтера для печати в условиях невесомости.

Проведено исследование патентов, прямых и косвенных аналогов. Было найдено и проанализировано два прямых аналога и сформулированы их достоинства и недостатки патентов. В качестве косвенных аналогов были проанализированы пульта управления космическими кораблями. Проведено сравнение пультов управления по управляющим элементам, цветовой гамме, форме и семантике. На основе полученных данных были составлены рекомендации к проектированию 3д-принтера.

Составлены основные требования к проектированию 3д-принтера такие как: требования к эргономике, требования безопасности, требования к конструкции, требования стойкости к внешним воздействиям, требования надежности.

Были выявлены факторы влияния микрогравитации на физиологическое состояние космонавта, а также влияние на психоэмоциональное состояние космонавта при условии длительного пребывания в замкнутом пространстве.

Приведено исследование антропометрических данных космонавтов. На основе полученных данных были составлены соматографические схемы по методу плоских манекенов.

Подбор колористического решения для 3д-принтера производился на основе исследования влияния цветов на психологию и восприятие человека. На основе полученных данных было выбрано два основных цвета корпуса: оранжевый и серый. Использование серого цвета в качестве основного нейтрально влияет на психологию и физиологию человека, а акцентный оранжевый цвет способен улучшить психологическое и физиологическое состояния космонавта.

Был произведен анализ опыта эксплуатации 3д-принтера. Была сформулирована последовательность шагов использования объекта от

хранения прибора до проведения полного цикла печати изделия. К каждому шагу использования 3д-принтера были сформулированы рекомендации к проектированию прибора.

Применение в работе системного анализа позволило систематизировать всю научно-исследовательскую работу и структурировать информацию для проектирования 3д-принтера.

Проектирование 3д-принтера началось с поиска эскизного решения. Было создано три эскизных решения устройства в разной стилистике. На основе метода экспертной оценки был выявлен наилучший эскиз по трем критериям (эксплуатация, эстетика, технологичность) и принят к дальнейшему проектированию.

Проектирование конструкции 3д-принтера состояло из моделирования крышки, рабочей камеры и двух пультов управления. Впоследствии, были составлены соматографические схемы в горизонтальной и профильной проекциях. Которые позволили оценить габаритные размеры устройства по сравнению с человеком, удобство пользования прибором. На основе анализа схем были сформулированы рекомендации к рабочему пространству космонавта при использовании 3д-принтера. Были составлены соматографические схемы для пульта управления. По итогам соматографического анализа пульты управления считаются функциональными и эргономичными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mohammad E. Arbabian, Michael R. Wagner The impact of 3D printing on manufacturer–retailer supply chains. // European Journal of Operational Research – Том 285, Выпуск 2, 2020. С. 538-552 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720301016>
2. Santosh K. P. Salil D. A. Comprehensive Review of Additive Manufacturing (3D Printing): Processes, Applications and Future Potential / American Journal of Applied Sciences 2019, 16 (8): С. 244 – 272.
3. Горьков Д. Е., Холмогоров В. А. 3D-печать с нуля // СПб.: БХВ-Петербург, 2000. — С. 256.
4. Словарь 3D-терминов [Электронный ресурс] – URL: <https://iqb.ru/glossary/> (дата обращения: 15.03.2023).
5. Кухта М. С. Ильинова К. А. Эргодизайн приборов для Международной космической станции // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 21–25 марта 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 138-139.
6. Богомолов В.В., Григорьев А.И., Козловская И.Б. Медицинское обеспечение здоровья экипажей международной космической станции // Сб. «Третий Международный Аэрокосмический Конгресс, 2000. — Т. 4. — С. 261.
7. Pengyan Liu, Dong Zhou, Long Xue and Yuan Li Human Ergonomics Study in Microgravity Environment Бейханский университет, Пекин, Китай, 2018
8. Шавнев А.А. Неметаллические материалы и защитные покрытия для деталей авиационной и космической техники / Сб. IV Всероссийская научно-техническая конференция «Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники» 2019. — Т. С. 6 — 15.

9. ГОСТ Р 50804-95 Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате.
10. ГОСТ Р 52985-2008 Экологическая безопасность ракетно-космической техники.
11. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
12. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности» [Электронный ресурс]. – URL: <https://new.fips.ru/about/> (дата обращения: 28.07.2022).
13. Патентная база «PATENTSCOPE» [Электронный ресурс]. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf> (дата обращения: 15.03.2023).
14. Espacenet поиск патентной информации [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.espacenet.com/?locale=ru_RU (дата обращения: 15.03.2023).
15. 3D-принтер для производства деталей из термопластичных полимеров в условиях космоса [Электронный ресурс]. – URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=210105&TypeFile=html (дата обращения: 28.07.2022).
16. Космический 3D-принтер, разработанный учеными Томска, улетел в космос [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.riatomsk.ru/article/20220603/kosmicheskij-3d-printer-razrabotannij-uchenimi-tomska-uletel-v-kosmos/> (дата обращения: 06.10.2021).
17. Специальный 3d принтер для глубоководных подводных лодок [Электронный ресурс]. – URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=WO2021012675&_cid=P21-LF9ENJ-60808-4 (дата обращения: 16.10.2021).
18. Оснащение подводных лодок 3d-принтерами [Электронный ресурс]. – URL: <https://rossaprimavera.ru/news/a71a0807> (дата обращения: 06.03.2023).
19. Нужно больше кнопок! Как менялись пульта космических кораблей [Электронный ресурс]. – URL: <https://fishki.net/2891080-nuzhno-bolyshe-105>

- кнопок-kak-menjalisy-pulyty-kosmicheskikh-korablej.html (дата обращения: 04.07.2022).
20. Система управления Crew Dragon [Электронный ресурс]. – URL: <https://24gadget.ru/1161070618-sistema-upravlenija-crew-dragon-shozha-s-igrovoj-konsolju.html> (дата обращения: 04.07.2022).
21. Курбацкая Т.Б. Эргономик а. В 2-х частях. Часть 1. Теория. Учебное пособие. – Набережные Челны, 2013.- с. 213.
22. Кухта М.С., Ильинова К.А. Исследование особенностей проектирования приборов для космической станции. / Современные проблемы машиностроения сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции 2021 г – Томск: ТПУ, 2021. – С. 278 –279
23. G.B. Prange, L.A. Kallenberg, M.J. Jannink, et al, Influence of gravity compensation on muscle activity during reach and retrieval in healthy elderly, J Electromyogr Kinesiol, 19(2): e40-e49 (2009).
24. A. Ishihara, F. Nagatomo, M. Terada, et al, Effects of microgravity on the mouse triceps brachii muscle, Muscle & Nerve, 52(1):63-68, (2015).
25. P. Ghosh, J. N. Stabley, B.J. Behnke, et al, Effects of spaceflight on the murine mandible: Possible factors mediating skeletal changes in non-weight bearing bones of the head, Bone, 83:156-161, (2016).
26. S. M. Smith, M. Heer, L. C. Shackelford, et al, Bone metabolism and renal stone risk during international space station missions, Bone, 81:712-720, (2015).
27. M.F. Reschke, J.J. Bloomberg, D.L.Harm D L, et al, Posture, locomotion, spatial orientation, and motion sickness as a function of space flight, Brain Research Brain Research Reviews, 28(1–2):102-117 (1998)
28. Требования, предъявляемые к претендентам на участие в конкурсе по отбору кандидатов в космонавты [Электронный ресурс] URL: <https://inlnk.ru/роехN2> режим доступа - свободный (дата обращения: 15.04.2022).

29. Перечень медицинских документов, представляемых претендентами в конкурсную комиссию [Электронный ресурс] URL: <https://inlnk.ru/Rj6x1Z> режим доступа - свободный (дата обращения: 15.04.2022).
30. Шкиль, О.С. Основы эргономики в дизайне среды. Часть I: Учебное пособие – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2010. – 164 с.а.
31. Курбацкая Т.Б. Эргономика. В 2-х частях. Часть 1. Теория. Учебное пособие. – Набережные Челны, 2013.- с. 213.
32. Алексеев П.Г. Основы эргономики в дизайне: учебно-методическое пособие. ГОУ ВПО СПбГТУРП. – СПб.,2010. – с. 69.
33. Машинное обучение помогает исследовать космические лучи сверхвысоких энергий [Электронный ресурс]. – URL: <https://rscf.ru/news/presidential-program/mashinnoe-obuchenie-pomogaet/#!> (дата обращения: 06.10.2021).
34. ГОСТ 22614-77 Система "человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные.
35. Базыма Б.А.; Психология цвета: Теория и практика; Изд: Речь 2005– 110с.
36. Шварц Л.А. Изменения цветоощущения в эмоциональных состояниях. //Проблемы физиологической оптики. М, 1948. т. 6. с. 314-320.
37. Урванцев Л.П. Психология восприятия цвета. Методическое пособие. Ярославль, 1981. 65 с.
38. Теоретические и методологические исследования в дизайне. — М.: Изд-во Шк. Культ. Полит., 2004. — 372 с.
39. Быстрова Т. Ю. Системный метод в дизайне: становление российской версии, «Академический вестник уралниипроект РААСН», 2021. — 46 с.
40. Системный анализ и проектирование – Краткое руководство [Электронный ресурс]. – URL: <https://coderlessons.com/tutorials/kachestvo-programmnogo-obespecheniia/izuchite-sistemnyi-analiz-i-dizain/sistemnyi-analiz-i-proektirovanie-kratkoe-rukovodstvo> (дата обращения: 31.10.2022).
41. Горизонтов П. Д., Роль гормонов в общем адаптационном синдроме и болезни адаптации, «Клинич. медицина», 1956, т. 34, №7;

42. Селье Г., Очерки об адаптационном синдроме, пер. с английского, М., 1960;
43. Лишшак К., Эндрёци Э., Нейроэндокринная регуляция адаптационной деятельности, [пер. с венг.], Будапешт, 1967.
44. Гератеваль З., Психология человека в самолёте, пер. с нем., М., 1956;
45. Первые космические полёты человека. Сб. ст., М., 1962; Гагарин Ю., Лебедев В., Психология и космос, М., 1968.
46. European Users Guide to Low Gravity Platforms European Space Agency. (дата обращения: 31.10.2022).
47. Волков П. К. Конвекция в жидкости на земле и в космосе // Природа. — 2001. — № 11.
48. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.Л. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; под ред. И.В. Голубятникова, М.С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013 – 312с.
49. Что такое В2В, В2С, В2G? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.itfstudio.ru/content/materials/b2b> (дата обращения: 15.04.2023).
50. Архипова Т.В. Мировые тренды в космической сфере и перспективы устойчивого развития космической отрасли России // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 10-3. – С. 263-268.
51. Звездная экономика: кто зарабатывает на космосе в России и мире [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/609e90409a794700dab35d24> (дата обращения: 15.04.2023).
52. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы"
53. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы. Санитарные правила и нормы.

54. ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»
55. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».
56. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиена труда, технологические процессы, сырье, материалы, оборудование, рабочий инструмент»
57. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования.
58. ГОСТ 12.1.010 – 76 Система стандартов безопасности труда.
59. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
60. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
61. СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы»

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Раздел магистерской диссертации на иностранном языке

FEATURES OF DESIGN ENGINEERING IN ZERO GRAVITY CONDITIONS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ11	Ильинова Ксения Андреевна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОАР ИШИТР	Кухта Мария Сергеевна	д.филос.н., профессор		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель ОИЯ	Персидская Анастасия Сергеевна			

INTRODUCTION

In the modern world, 3D printing is widely used across various industries, including healthcare, aerospace, automotive, and consumer products.

One of the most interesting applications of 3D printing technology is printing in space. 3D printers have the potential to revolutionize the space industry by reducing the need to transport everything from Earth, which can save cost, time, and resources. In 2014, a 3D printer was sent to the International Space Station (ISS) for the first time, and since then, NASA has been conducting further research and development on 3D printing in space.

Printing in space requires 3D printers that can work in zero-gravity environments and with the unique demands of space travel. The printers must be able to work with materials that are durable, lightweight, and easy to transport. This has led to the creation of specialized 3D printers that can print objects using various materials, including plastic, metal, and ceramics.

Literature review: in a 2018 research published in the journal "Manufacturing Letters," scientists designed and built a polyoxymethylene (POM) 3D printer that could operate in a zero-gravity environment. The printer's frame consisted of modular components designed to promote stability and incorporated features to minimize acceleration effects. The researchers also developed a new type of POM filament that could extrude in zero gravity, which, combined with the printer's low acceleration and stable printing frame, resulted in accurate printing.

A 2019 study published in the journal "Applied Sciences" explored the feasibility of using a laser sintering process to 3D print in zero gravity. The researchers proposed a small-scale laser sintering system that utilized a mobile laser sintering head that moved around the build platform using an overhead gantry system. The printer's components were stabilized, and the build chamber was kept at a constant temperature to prevent powder from sticking to the internal components.

The relevance of research: the ability to print in space has significant implications for future space exploration. 3D printing could be used to create tools, replacement parts and even habitats on other planets or on the ISS, allowing for more extended missions that are increasingly self-sustaining. Additionally, this technology could potentially be used to create spare parts or make repairs on long space missions without having to rely on costly and time-consuming Earth-to-space resupply missions.

Research problem: the lack of a market for aerospace technologies accompanies the state problem of designing space equipment. When designing a 3D printer, there are strict requirements for safety, reliability, performance, materials, and print quality. All of the above requirements have a high priority. Thus, when designing space equipment, colorist, ergonomics and aesthetics are rarely encountered.

The aim of the master's thesis is to develop the design and construction of a 3D printer case for printing in zero gravity.

To achieve this goal, it is necessary to solve the problems:

- 1) to study the principle of operation and components of a 3D printer;
- 2) to allow patent search;
- 3) to conduct a study of production;
- 4) to present requirements for the design of a 3D printer;
- 5) to develop an intensive project;
- 6) to develop an industrial design and lighting of a 3D printer;
- 7) to draw up a report and graphic materials on the work done.

The object of the study is ergonomics and design features of equipment for the space industry.

The subject of the scientific research is a 3D printer designed for printing in zero gravity.

The scientific novelty of the research consists in:

- researching and designing the ergonomic shape of the 3D printer case, taking into account the operating conditions, materials, the impact of external conditions and the technical requirements for the device;
- researching and designing instrument controls, taking into account tactile sensations and ergonomics;
- achieving safety, comfort, ergonomics, aesthetics of the created products during operation on a spacecraft. As well as improving working conditions by changing the design of the facility.

The practical significance of the master's thesis is to improve the design of the body and controls of the 3D printer, which facilitate the use of the device, speed up the process of controlling the device, and increase the emotional state of the astronauts

Chapter 1. Research Part

In recent years, 3D printers have become increasingly popular due to their ability to create 3D objects from digital files. Various 3D printing technologies are available today, such as Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), and Selective Laser Sintering (SLS). Each technology offers unique advantages and disadvantages, but they all have in common the ability to create objects of complex geometric shape and complex internal structure [3].

From healthcare to consumer products, 3D printing has the potential to revolutionize the way we think about manufacturing. In the field of medicine, 3D printers have been used to create prosthetic limbs, dental implants, and even transplant organs. This opened up opportunities for personalized and custom-made medical devices. The fashion world is seeing the emergence of 3D printed clothing and jewelry, demonstrating the potential for creativity and individuality in the design process.

3D printing has also found its way into the space industry, where it has played a critical role in the construction of the International Space Station (ISS). Without

access to traditional manufacturing methods, NASA used 3D printers to produce tools and spare parts aboard the ISS. This allowed the astronauts to perform repair and maintenance tasks without the need for costly and time-consuming resupply missions.

In addition, 3D printing can reduce waste in manufacturing processes, as only the required amount of material is used to create an object. This is a more sustainable approach compared to traditional production methods, which often result in excess waste.

The role of 3D printers in human life is growing rapidly, and this technology can change the way we think about production and consumption in the future. The ability to print in space opens up new opportunities for space exploration, and the ability to quickly and efficiently produce to order is of great importance to a wide variety of industries.

1.1 Basic Requirements for the Design of a 3D Printer

A 3D printer is a device that creates three-dimensional objects by stacking successive layers of material, usually plastic or metal, in a process called additive manufacturing [4]. This process allows the creation of complex custom shapes and designs that are difficult or impossible to manufacture using traditional manufacturing methods [4].

In this work, physical characteristics play an important role due to the fact that they are subject to strict restrictions due to safety at the space station, microgravity conditions, and the laws of physics. When drawing up requirements for the design of the device, it is also necessary to take into account the functionality of the device and the conditions for testing the product.

The 3D printer includes a 3D printer block, a set of external storage media, cables, and a set of consumables. The 3D printer block consists of a sealed working chamber in which the printing system is built. It includes a filament-feeding extruder and a movable heated table. The 3D printer block is equipped with a system of

thermal control and ventilation of a sealed working chamber. The control computer is located outside the chamber [5].

The 3D printer unit is designed to create products by layer-by-layer deposition of thermoplastic polymers in space flight conditions. Storage media are necessary for storing 3D printer settings, data for printing, data recorded during the operation of the device.

Ergonomic requirements

The natural posture of a person in microgravity has such features as: flexion of the ankle joint to the sole of the foot, flexion of the hip and knee joints, slight abduction of the hip, slight bending of the torso forward, shoulders, arms and elbows rise up, and the neck leans forward (figure 1) [5, 6].

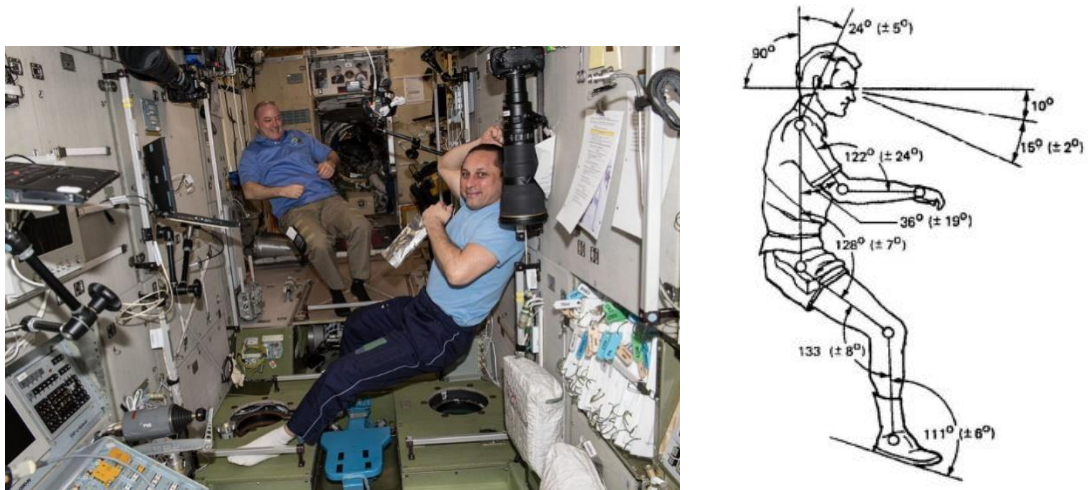


Figure 1 – Natural posture in microgravity

The front panel of the 3D printer should contain controls and indications, places for connecting removable storage media. The controls of the device must meet the requirements of ergonomics and be convenient for using the device in zero gravity.

Hand controls must be protected from false operation. False alarms in outer space are justified by the fact that the microgravity environment is most susceptible to the effects of cosmic rays. Cosmic rays are 90% protons that move with high energies and are capable of causing false triggering of sensor devices [7].

The design of a 3D printer must take into account microgravity conditions and provide ease of maintenance when conducting an experiment on board of the International Space Station.

Safety requirements

A 3D printer must meet the safety requirements presented in GOST R 50804-95, GOST R 52985-2008 [8, 9].

From the point of view of design, the safety of the device is understood as rounding the corners and edges of the device, reliable fixation of the device to the work surface, fixing the device components, ensuring smooth removal of components, eliminating sharp edges, corners, burrs, sharp glue, putty, wire binding of fasteners. All materials, coatings, component parts must not emit substances that pose a danger to the life of the crew.

To ensure the safety of the operator, the force applied when performing manual operations should not exceed 30N. The device must also be equipped with an indication system about the occurrence of emergency situations.

Design requirements

The 3D printer must be made in the form of a monoblock with overall dimensions of 500x500x300 mm. The overall dimensions are due to the patency of the structure into the hatch of the rocket launcher. The estimated weight of the printer is not more than 30 kilograms. The body of the device must be equipped with fasteners for fixing the unit in the workplace. The 3D printer must be able to produce samples no larger than 200x200x100 mm.

To ensure safety, when designing a case, it is necessary to have open corners with an outer rounding radius of at least 13 mm, open edges with a thickness of 2 mm or more, and small roundings with a radius of at least 2 mm.

Requirements for resistance to external influences

A 3D printer must maintain mechanical integrity and operability after exposure to mechanical loading factors at all stages of operation and under the action of mechanical loads in orbital flight as part of the International Space Station module.

Loading modes on a 3D printer:

- quasi-static (linear) overloads;
- low-frequency dynamic overloads;
- harmonic (sinusoidal) vibration;
- broadband random vibration;
- shock-impulse loading;
- acoustic impact.

Reliability requirements

In accordance with the requirements of GOST 27.003-90, in terms of product classification features, a 3D printer is:

- a product for a specific purpose (according to the number of possible options for its intended use);
- a product of multiple cyclic use (according to application modes);
- a product of type I, which may be in working or inoperable state (according to the number of acceptable working states);
- a product whose failure or transition to the limit state does not lead to consequences of a catastrophic nature (according to the possible consequences of failures);
- a serviceable product (if maintenance is possible) [10].

1.2 Patent Search

The creation of any scientific invention begins with the study of existing solutions that are competitive on the market at the moment. The analysis of patented inventions allows you to explore analogues, explore the potential directions of a particular area (in this case, the space industry), and check the uniqueness of your own invention.

The patent search was carried out on the basis of the databases of the Federal Institute of Industrial Property (FIPS) [11]. The FIPS database allows you to find patents among Russian inventions. To create a competitive product on the market, it

is necessary to analyze patent inventions, the publication date of which falls within the time period of the last five years.

A detailed study of the market requires a patent search not only in Russian databases, but also in foreign ones. To carry out a patent search among foreign inventions, the databases "Patentoscope" and "EAPATIS.COM" were used [12, 13].

The Patentoscope database allows you to search 109 million patent documents, including 4.5 million published international patent applications [12].

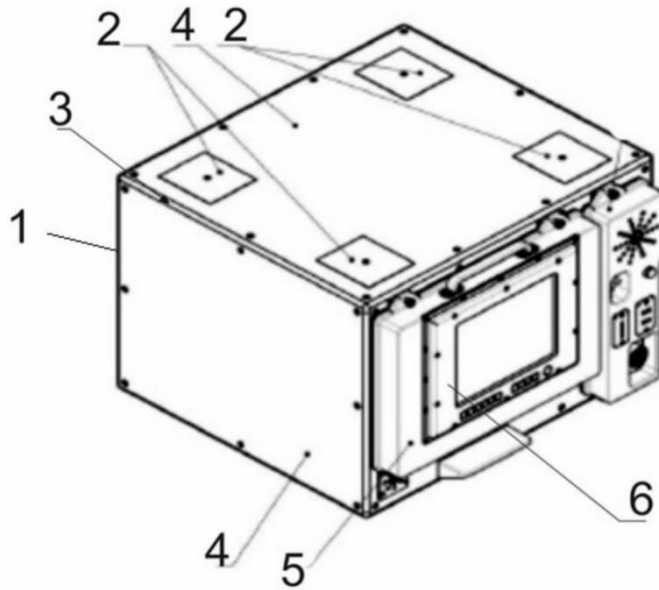
The EAPATIS.COM database is a Eurasian patent organization that unites 12 patent organizations [13].

"Space 3D printer" refers to objects in the space industry. Direct analogues of the object are the inventions of a 3D printer for printing products in zero gravity. Direct analogues exist, but they are few. In this case, it was proposed to study indirect analogues. Indirect analogues include 3D printers with similar printing technology, or objects created for use on a space station. Indirect analogues make it possible to identify the features of ergonomics and working conditions in a microgravity environment.

1.2.1 Direct Analogues

On request: name – 3D printer; the request area is space, the formula of the Russian utility model "3D printer for the production of parts from thermoplastic polymers in space" (hereinafter referred to as the 3D printer) was found [14]. The utility model was developed by Tomsk scientists and engineers by order of the State Space Corporation Roscosmos [15].

A 3D printer is a rectangular monoblock, which includes block-modular structures [14]. The rectangular case (1) is equipped with fastening elements at the place of operation (2), and is formed by a frame (3) and top, bottom and side panels (4) installed on it, as well as a door (5) located on the front side of the case, on which there is a computer (6) for controlling the printing process (figure 2) [14].



Фиг. 1

Figure 2 – 3D printer for the production of parts from thermoplastic polymers in space

The 3D printer consists of a sealed working chamber, printing system, a control computer system, a thermal control system for a sealed working chamber, a ventilation (gas filtration) system for a sealed working chamber containing at least one filter, at least one fan, at least one heating element, one radiator, one damper [14].

The advantage of the model is the possibility of its operation in adverse conditions of outer space. The disadvantages of the device are the inability to quickly replace various components and parts when they fail during operation, as well as the low reliability of the ventilation system of the device, which should ensure the quality of the air entering the closed space of the space station during the operation of the 3D printer [14].

Common essential features with the claimed device are the presence of a sealed working chamber; printing system; a control computer system, a thermal control system for a sealed working chamber, a ventilation (gas filtration) system for a sealed working chamber containing at least one filter, at least one fan, at least one heating element, one radiator, one damper [14].

The principle of creating a product print in a 3D printer is the layer-by-layer deposition of special thermoplastic polymer materials.

Printing on a 3D printer is controlled by a control computer located on the cover of the case. The control computer includes a screen, cursor controls, a print start button, a personal computer power button, and a 3D printer emergency shutdown button (figure 3) [15].



Figure 3 – Case and controls of a 3D printer

The disadvantages of a 3D printer are:

- far located "Start" button from handles;
- cursor control in the horizontal position of the 3D printer leads to a crease of the brush;
- "the Emergency Stop" button is not highlighted in shape, size, or color;
- slim toe grips, comfortable grip on 38mm diameter.

Invention "Special 3D Printer for Deep Sea Submarines" published in 2021 in China was found in foreign patent databases.

The purpose of the dedicated deep sea submarine 3D printer is to solve the problem that existing 3D printers cannot be adapted to environments such as ships and submarines where vibrations and turbulence often occur.

The 3D printer consists of: a vibration-damping platform (31), a rotating helical vibration-damping platform (61), a vibration-damping rod (4), longitudinal connecting rods (2, 3), an external structure with an annular support (1), a bearing connecting pin (7) (figure 4) [16].

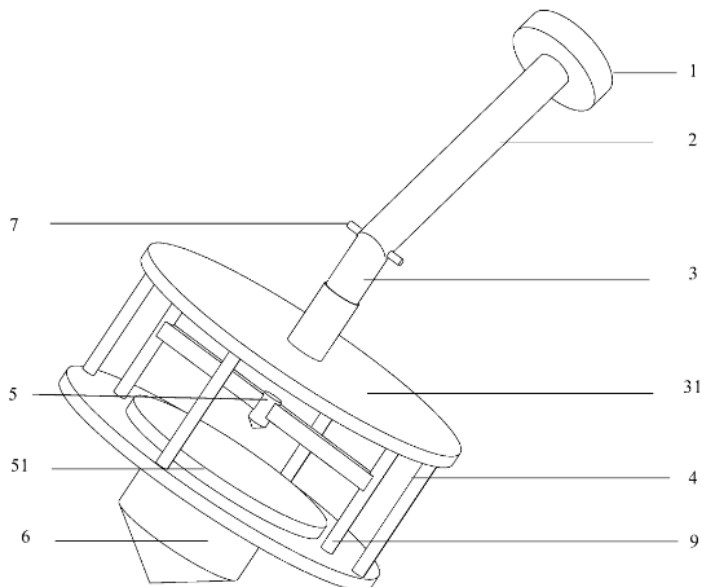


Figure 4 – Special 3D printer for deep-sea submarines

The technology of 3D printing on submarines has been introduced and is being tested not only on submarines, but also on ships [17]. The 3D printer has a sealed working chamber with working mechanisms (figure 5).



Иллюстрация: Markforged

Figure 5 – Appearance of a 3D printer for deep-sea submarines

The advantages of a 3D printer are: vibration protection, print quality. The disadvantage is large overall dimensions.

1.2.2 Indirect Analogues

Among the indirect analogues, the most common information is about simulators used for training astronauts. The simulators contain exact replicas of the spacecraft control panels. An analysis of the spacecraft controls and other equipment presented inside the astronaut simulators will make it possible to form ideas about the most common types of controls, forms of controls, their placement on the console, grouping of buttons, semantic signs and color solutions.

For the analysis of the controls, the control panels of the Soyuz, Apollo, Neptune and Dragon V2 spacecraft were taken (figure 6-9).

The control panel of the latest model of the Soyuz-TMA spacecraft consists of two parts, each of which contains a screen, buttons and other controls (figure 6). To control such a ship, two people are needed: a flight engineer and a crew commander [18]. An interesting feature of the control panel is a metal grill, the function of which is to distinguish between adjacent buttons.

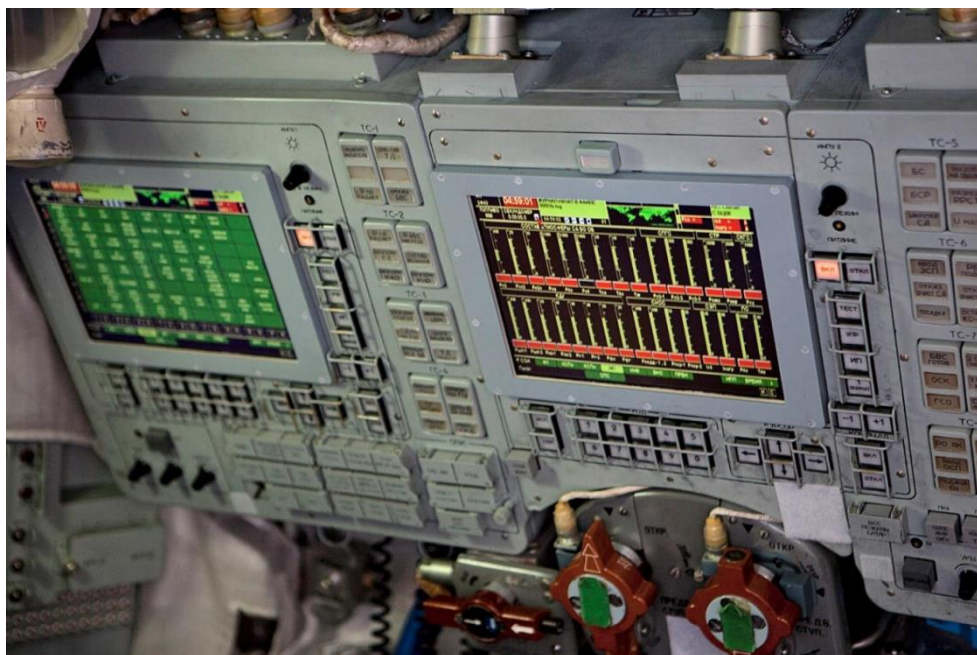


Figure 6 – Control panel of the Soyuz spacecraft

The control panel of the Apollo spacecraft is designed for three people: the command module pilot, the crew commander and the lunar module pilot (figure 7). Each member of the crew performs its task. The total length of the control panel is two meters [18].

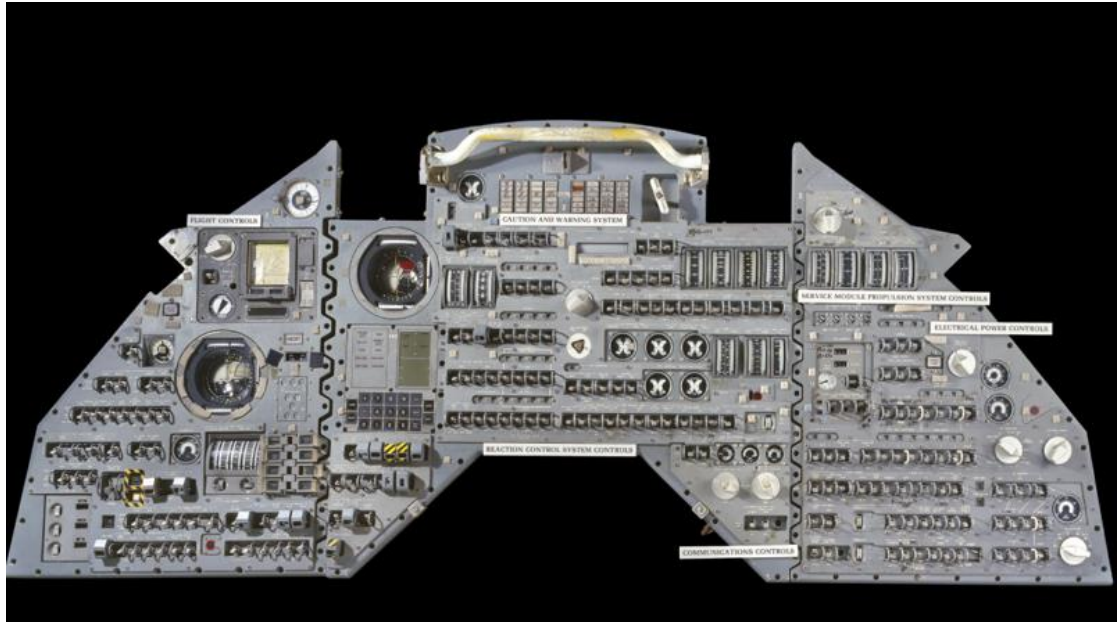


Figure 7 – Control panel of the Apollo spacecraft

The remote control of the Neptune spacecraft is similar to the remote control of the Soyuz spacecraft. The control panel has two screens, buttons and rotary controls (figure 8).



Figure 8 – The control panel of the ship "Neptune"

The Dragon V2 is controlled by three touch screens. The control panel contains physical buttons that are auxiliary in nature and duplicate the functions of the buttons

presented on the screen (Figure 9). The ship is controlled automatically, and manual control is performed in emergency situations. Two pilots participate in the control [19].



Figure 9 – Touch control panel in the spacecraft "Dragon V2"

In the course of the study of spacecraft control panels, a table was compiled in which data were entered for each control panel in accordance with the criteria.

Table 1 – Analysis of the space flight controls

Name	Soyuz spacecraft control panel	Apollo control panel	The control panel of the ship "Neptune"	SpaceX Dragon 2
Control elements	-buttons protruding high above the surface of the device - rotary knobs	- toggle switches - rotary knobs	- buttons - rotary knobs	- buttons sewn into the panel - screen interface
Colors	- grey - black - red illuminated	- grey - white - yellow	-grey -orange -yellow -black	- black - white
Form	square	round	square	square
Semantic signs	- arrows - brightness - inscriptions	- inscriptions - LED indicators	- brightness - increase and decrease - inscriptions	- inscriptions - arrows

After analyzing the table, the following conclusions were made:

- control is mainly carried out by buttons, toggle switches or rotary knobs, depending on the function of the control;
- when creating a panel, most often gray (the most neutral and versatile) color is selected;

- to highlight the control element from the total mass, accent colors yellow, red, orange are used;
- the shape of the buttons is most often square and resembles a computer keyboard;
- semantic signs are rarely used, there are common signs of magnification, brightness, direction (arrows);
- all controls are signed or marked with symbolic letters.

