

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 ООП – Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления

УДК 004.356.2:678.027.3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Рачковский Святослав Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к.ф-м.н.		

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШБИП	Мезенцева И.Л.			

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.			

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью

Код компетенции	Наименование компетенции
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств

Код компетенции	Наименование компетенции
	и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров

Код компетенции	Наименование компетенции
	и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.В. Цавнин
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Рачковскому Святославу Максимовичу

Тема работы:

Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Утверждена приказом директора (дата, номер)</td> <td style="text-align: center;">№ 34-90/с от 03.02.2023 г.</td> </tr> </table>	Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 34-90/с от 03.02.2023 г.
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 34-90/с от 03.02.2023 г.	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: мультифункциональная платформа для экструзионной с системой управления Цель работы: разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления, которая способна производить печать жидкостями и биогелями для создания биомедицинских продуктов
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучение принципов и методов 3D-печати биогелями и жидкостями, анализ и выбор компонентов и средств разработки. Проектирование и создание мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления
Перечень графического материала	Таблица бизнес-модели, таблица расчета себестоимости
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Концепция стартап-проекта	Шаповалова Н.В., старший преподаватель ШИП
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л., старший преподаватель ШБИП

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П.Вейнберга ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к.ф-м.н.		03.02.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Рачковский Святослав Максимович		03.02.2023 г.

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 – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Рачковскому Святославу Максимовичу

Тема работы:

Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2023 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к.ф-м.н.		03.02.2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин А.В.	к.т.н.		03.02.2023 г.

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Рачковский Святослав Максимович		03.02.2023 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 102 с., 34 рис., 14 табл., 18 источников, 1 прил.

Ключевые слова: мультифункциональная платформа, система управления, экструзионная печать, биомедицинский 3d-принтер.

Объектом исследования является мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления.

Цель работы – Разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления с целью послойной 3D печати функциональных биомедицинских изделий, которое будет дополнено разработкой уникального программного обеспечения для мультифункциональной платформы, предназначение которого заключается в управлении платформой в режиме реального времени и удалённо.

В процессе выполнения работы использовался программный комплекс САПР SolidWorks, были прописаны скрипты и функционал, реализация проведена на языке C++ на интегрированной среде разработки Arduino IDE.

В результате выполнения работы была разработана мультифункциональная платформа и прописаны команды для управления системами объекта.

Область применения: Мультифункциональные платформы широко применяются в научных исследованиях в области медицины, биомедицины, физической химии.

В будущем планируется расширить функционал сенсорным дисплеем, что позволит удобнее и быстрее управлять мультифункциональной платформой. Также имеется намерение интегрировать камеру в область печати, которая позволит следить в режиме реального времени за процессом 3D печати.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

C++: язык объектно-ориентированного программирования общего назначения, разработанный Бьярном Страуструпом и являющийся расширением языка Си (C). Данный язык дополняет язык программирования C классами, обеспечивая более широкий функционал в программировании.

Arduino IDE: интегрированная среда разработки для Windows, MacOS и Linux, разработанная на C и C++, предназначенная для создания и загрузки программ на Arduino-совместимые платы, а также на платы других производителей.

полимеры: органические и неорганические кристаллические и аморфные вещества, которые состоят из мономерных звеньев, соединенных между собой либо координационными, либо химическими связями, образуя длинные макромолекулы.

3D-печать: методика изготовления объемных изделий на основе цифровых моделей. Суть процесса заключается в постепенном послойном воспроизведении объектов.

3D-принтер: прибор, с помощью которого можно создавать реальные пространственные объекты из различных материалов.

экструдер: узел 3D-принтера, обеспечивающий равномерное выдавливание выбранного материала для формирования слоев 3D модели.

слайсер: компьютерная программа, подготавливающая для 3D-принтера цифровую модель объекта для печати. Технология создания объемной фигуры подразумевает ее послойный набор. Приложение-слайсер нарезает ее на слои заданной толщины, и печатающее устройство, считывая закодированную информацию, создает нужный объект.

прошивка: основная программа, «интеллект» 3D-принтера, которая позволяет обработать команды, полученные из слайсера, реализовав его в

конкретные действия и характеристики действий, выполняемых аппаратной частью 3D-принтера.

гидрогель: 3D-структура полимера, образованная из кросс-связей между молекулами полимера в присутствии воды.

биогель: растворимый препарат однородной структуры на основе натуральных компонентов, входящих в состав эпидермиса.

реология: наука, изучающая деформационные и течение свойства материалов

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	15
1 3D-печать биогелями и жидкостями.....	19
1.1 Анализ существующих подходов к 3D-печати биогелями и жидкостями	19
1.1.1 Материалы для 3D-печати	19
1.1.2 Технологии 3D-печати биогелями и жидкостями	20
1.1.3 Применение 3D-печати в биомедицинских исследованиях и промышленности	21
1.2 Исследование принципов работы биомедицинских 3D принтеров	22
1.3 Обзор существующих мультифункциональных платформ и их применения.....	23
1.3.1 Обзор существующих мультифункциональных платформ	23
1.3.2 Применение мультифункциональных платформ в биомедицинских исследованиях и промышленности.....	26
1.4 Описание способов управления 3D-принтером.....	27
1.4.1 Программное обеспечение для управления 3D-принтером.....	28
1.4.2 Аппаратное обеспечение для управления 3D-принтером.....	33
2 Выбор оборудования	35
2.1 Выбор материнской платы.....	35
2.2 Выбор шаговых двигателей	36
2.3 Выбор нагревательного элемента	37
2.4 Выбор вентиляторов	38
3 Разработка деталей мультифункциональной платформы в программе SolidWorks и их изготовление	40
3.1 Описание программного инструмента SolidWorks	40
3.2 Подготовка трехмерных моделей деталей в программе SolidWorks.....	41
3.3 Печать деталей на 3D принтере	42
4 Разработка шприцевого насоса для мультифункциональной платформы...	45
4.1 Сборка шприцевого насоса из напечатанных деталей	45

4.2	Подключение электронных компонентов к шприцевому насосу.....	45
4.3	Разработка программного обеспечения для управления шприцевым насосом.....	47
5	Разработка программного обеспечения, осуществляющего контроль системами мультифункциональной платформы	51
5.1	Архитектура программного обеспечения	51
5.2	Выводы по разделу.....	56
6	Концепция стартап-проекта.....	61
6.1	Описание продукта как результат НИР	61
6.2	Основные качества продукта, решаемая продуктом проблема.....	61
6.3	Защита интеллектуальной собственности.....	63
6.4	Объём и ёмкость рынка.....	63
6.5	Анализ современного состояния и перспектив отрасли	66
6.6	Расчёт стоимости продукта.....	70
6.7	Конкурентные преимущества продукта и обзор технико-экономических характеристик аналогов.....	72
6.8	Бизнес-модель проекта. Производственный план. План продаж.....	73
6.9	Стратегия продвижения продукта на рынок.....	75
7	Социальная ответственность	79
7.1	Введение	79
7.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
7.2	Производственная безопасность.....	83
7.3.1	Анализ опасных и вредных факторов и обоснование мероприятий по снижению их воздействия.....	84
7.4	Экологическая безопасность.....	88
7.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
7.6	Выводы по разделу социальная ответственность	90
	Заключение.....	92
	Список используемых источников.....	95

Приложение А (обязательное) Скрипт управления шприцевым насосом 97

ВВЕДЕНИЕ

Конечная цель многих биомедицинских исследований заключается в создании инновационных технологий и методов лечения, которые позволят улучшить здоровье людей и продлить их жизнь. В последние годы 3D-печать стала важным инструментом в различных областях, включая биомедицину, где она используется для создания различных биологических объектов, таких как ткани, органы и протезы.

Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления представляет собой новую технологию, которая может иметь огромный потенциал для биомедицинских исследований. Она позволяет печатать сложные структуры из биогелей и жидкостей, которые могут использоваться в различных приложениях, таких как биомедицинская диагностика, лекарственная терапия и инженерия тканей.

В современном мире существует множество проблем в области здравоохранения, таких как нехватка донорских органов и сложность производства дорогостоящих протезов. 3D-печать может решить некоторые из этих проблем, позволяя создавать органы и протезы по индивидуальным требованиям пациента, что улучшает эффективность и качество лечения.

Таким образом, мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления является актуальной темой в нынешнее время, так как она представляет собой важный инструмент для создания новых технологий в области биомедицины, который может улучшить здоровье людей и увеличить их продолжительность жизни.

Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления является новым и перспективным направлением развития 3D-печати. Она представляет собой новый подход к производству биомедицинских продуктов, который может быть использован для создания высокоточных и точных продуктов.

Разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати жидкостей и биогелей с системой управления является весьма

актуальной и новой темой в области биомедицинской 3D-печати. Данная технология позволяет создавать трехмерные биологические конструкции с высокой точностью и контролируемой микроструктурой, что открывает новые перспективы в медицине и биотехнологиях.

Существующие на рынке биомедицинские 3D-принтеры, как правило, имеют ограниченную функциональность и способны работать только с определенными материалами. В то время как мультифункциональная платформа позволяет работать с различными биогелями и жидкостями, что делает ее более универсальной и функциональной по сравнению с другими 3D-принтерами.

Более того, разработка системы управления для мультифункциональной платформы также представляет новизну в этой области. Управление и контроль за процессом экструзионной печати жидкостей и биогелей является сложной задачей, требующей высокой точности и стабильности, что делает данную разработку важной и актуальной в области биомедицинской 3D-печати.

Мультифункциональная платформа для экструзионной печати с системой управления имеет большую практическую значимость, так как:

- она может быть использована для создания различных биомедицинских продуктов, таких как ткани, органы, протезы, которые могут помочь в лечении различных заболеваний и травм.
- платформа может быть использована для проведения медицинских исследований, в том числе исследований новых лекарств и терапий.
- система управления печати позволяет точно контролировать параметры печати, такие как температура, скорость, количество материала, что обеспечивает высокую точность и качество печати.
- платформа обладает мультифункциональностью, что позволяет использовать ее для производства различных продуктов, а не только биомедицинских, что повышает ее универсальность.

Таким образом, разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления имеет большую практическую значимость и может быть использована в различных медицинских проектах и исследованиях.

Цель исследования – разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления, которая способна производить печать жидкостями и биогелями для создания биомедицинских продуктов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующие подходы к экструзионной печати, а также существующие биоматериалы, используемые в биомедицинской печати.

- разработать конструкцию мультифункциональной платформы, которая позволит производить печать жидкостями и биогелями с высокой точностью и качеством.

- создать систему управления печати, которая будет контролировать параметры печати, такие как температура, скорость, количество материала, для обеспечения высокой точности и качества печати.

- провести экспериментальные исследования мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления.

- произвести анализ полученных результатов разработки мультифункциональной платформы и оценить практическую значимость исследования.

Таким образом, цели и задачи исследования направлены на разработку мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления, способной производить печать жидкостями и биогелями для

создания биомедицинских продуктов, а также на оценку ее эффективности и производительности.

В ходе исследования будет использовано несколько методов, включая:

Анализ статей – обзор научных статей и литературы по 3D-печати биогелями и жидкостями, а также мультифункциональных платформ. Будет изучен опыт других исследователей в данной области, а также обзор промышленных решений и технологий.

Моделирование и проектирование мультифункциональной платформы с помощью систем САПР. Это позволит определить требования к компонентам и материалам, а также спроектировать систему управления и программное обеспечение.

Изготовление деталей – детали мультифункциональной платформы будут изготовлены с помощью 3D-принтера. На этапе прототипирования 3D печать позволяет изготавливать узлы конструкции, проверять работоспособность и эффективность разработанной платформы в реальных условиях, и вносить коррективы в разрабатываемую конструкцию. Данное решение экономит трудозатраты и ресурсы по сравнению с изготовлением деталей из металла.

Проведение тестирования и экспериментов было проведено для оценки эффективности и точности платформы. Также была оценена точность печати, скорость печати, надежность и качество создаваемых конструкций. Это помогает определить возможности и ограничения разработанной мультифункциональной платформы.

1 3D-печать биогелями и жидкостями

1.1 Анализ существующих подходов к 3D-печати биогелями и жидкостями

3D-печать биогелями и жидкостями – это новое направление в 3D-технологиях, которое находит все большее применение в медицинских технологиях. Она позволяет создавать биологически совместимые и точные модели для лабораторных исследований, создания прототипов медицинских имплантатов, создания функциональных тканей и органов, и даже создания еды для людей с различными пищевыми потребностями.

В данном разделе рассматриваются существующие подходы к 3D-печати биогелями и жидкостями. Они могут быть разделены на две категории: материалы для 3D-печати и методы печати.

1.1.1 Материалы для 3D-печати

Один из основных параметров для 3D-печати биогелями и жидкостями – это их реологические свойства. Тип материала, его свойства и концентрация влияют на реологические свойства и, следовательно, на возможность и качество 3D-печати.

Существует множество материалов для 3D-печати биогелями и жидкостями, включая гидрогели, пищевые материалы, смолы, металлы и др. Гидрогели являются наиболее распространенным материалом для 3D-печати биологических объектов. Они обладают высокой биосовместимостью, механической прочностью и могут быть функционализированы для конкретных применений [1]. Пример печати гидрогелями представлен на рисунке 1.

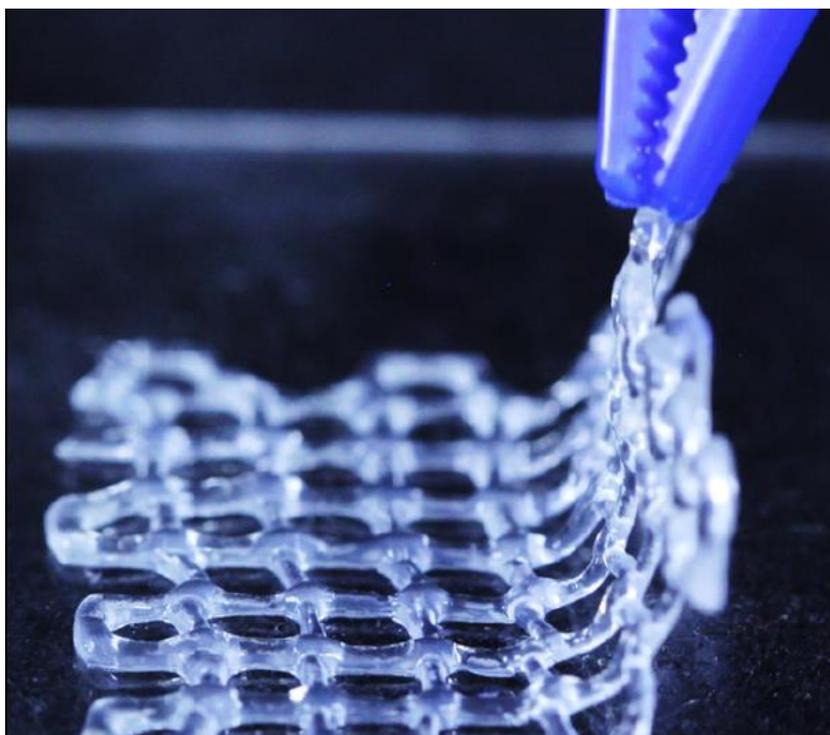


Рисунок 1 – Гидрогель, используемый для 3D печати

Также существуют материалы на основе белков и клеток. Эти материалы обычно производятся с использованием биоэкструзионных методов, которые позволяют сохранять высокую жизнеспособность клеток в процессе печати.

1.1.2 Технологии 3D-печати биогелями и жидкостями

Для 3D-печати биогелями и жидкостями применяются различные технологии, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества. Основные технологии включают:

- экструзионная 3D-печать: при этой технологии материал подается через насадку и экструдер, после чего печатается слой за слоем. Эта технология хорошо подходит для печати биогелей, так как они обладают достаточной вязкостью и не текут. Однако при использовании жидкостей могут возникать проблемы с удержанием формы, так как они имеют низкую вязкость [2].
- стереолитография: при этой технологии жидкий материал полимеризуется при воздействии света, создавая слои для печати.

Стереолитография позволяет печатать высокоточные и детализированные модели, но может быть ограничена в выборе материалов [3].

– лазерная 3D-печать: при этой технологии лазером воздействуют на порошковый материал, который затвердевает и создает модель слоя за слоем. Этот метод позволяет печатать высокоточные и детализированные модели из жидких материалов, но может быть ограничен в выборе материалов и требовательный к условиям печати [4].

– инъекционная 3D-печать: при этой технологии материал инжектируется через иглу, чтобы создать модель. Он может использоваться для печати как жидких материалов, так и биогелей, но может быть ограничен в выборе материалов и требований к ним [5].

1.1.3 Применение 3D-печати в биомедицинских исследованиях и промышленности

В этом разделе можно рассмотреть следующие области применения 3D-печати в биомедицине:

– изготовление протезов и имплантатов для замены поврежденных или отсутствующих тканей и органов

– создание моделей для планирования операций и обучения студентов и молодых специалистов

– изготовление микрочипов и биосенсоров для диагностики заболеваний

– изготовление фармацевтических продуктов с определенной формой и дозировкой

Кроме того, 3D-печать также применяется в промышленности:

– создание прототипов и функциональных деталей для различных отраслей промышленности, включая авиацию, машиностроение, электронику и др.

– изготовление форм и пресс-форм для литья металлов и пластмасс

- изготовление инструментов для обработки и контроля качества изделий

Процесс создания 3D-напечатанных объектов в биомедицинских исследованиях и промышленности может включать следующие этапы:

- создание 3D-модели объекта в специальном программном обеспечении
- разбиение модели на слои и генерация файлов для 3D-принтера
- подготовка материала для 3D-печати (например, загрузка биогеля или жидкости в картридж)
- 3D-печать объекта на мультифункциональной платформе
- послепечатная обработка объекта (например, удаление поддержек, полировка, обработка поверхности)

1.2 Исследование принципов работы биомедицинских 3D принтеров

Исследование принципов работы биомедицинских 3D принтеров является важным шагом в разработке мультифункциональной платформы для экструзионной печати. Биомедицинские 3D принтеры используются для создания трехмерных объектов, изготовленных из биологически совместимых материалов, таких как биогели и жидкости, которые используются в медицинских исследованиях и промышленности.

Принцип работы биомедицинских 3D принтеров заключается в том, что они используются для создания объектов путем наложения слоев материала на основание. Для этого принтеры используют экструдер, который перемещается вдоль трех координат (ось X, Y и Z) и насаживает материал на поверхность. Каждый слой наносится на основание последовательно, пока не будет создан трехмерный объект.

Основной элемент биомедицинского 3D принтера – это головка печати (экструдер или шприцевой насос), которая перемещается по трехмерному пространству и наносит материал на поверхность. Она обычно состоит из

сопла, мотора и устройства для подачи материала. Мотор перемещает сопло, а устройство для подачи материала помогает контролировать количество материала, который будет насажен на поверхность.

Для создания биомедицинского 3D принтера также требуется использование специального программного обеспечения, которое управляет печатью и обеспечивает точность и качество объектов. Это ПО управляет перемещением головки печати и регулирует количество материала, которое будет использовано при печати каждого слоя. Также оно может регулировать температуру и другие параметры, которые могут влиять на качество печати.

Таким образом, исследование принципов работы биомедицинских 3D принтеров включает изучение и понимание основных элементов принтера, таких как головка печати, программное обеспечение и аппаратное обеспечение.

1.3 Обзор существующих мультифункциональных платформ и их применения

Мультифункциональные платформы представляют собой комплексное решение для 3D-печати, объединяющее несколько функциональных модулей в одной системе. Они могут иметь различные конфигурации и комплектации, включая модули для печати различных материалов, системы дозирования и перемещения жидкостей, термостатирования, осушения и др.

В данном разделе рассматриваются существующие мультифункциональные платформы для 3D-печати с возможностью экструзионной печати биогелями и жидкостями. Описываются особенности этих платформ, их возможности и применения в различных сферах, включая медицину, науку и производство.

1.3.1 Обзор существующих мультифункциональных платформ

Одним из примеров таких платформ является BioBots, которая позволяет печатать живые клетки с помощью жидких материалов. Платформа оснащена высокоточным движением в трех измерениях, что позволяет печатать сложные конструкции. Она также имеет возможность

использования нескольких различных материалов и методов печати. Принтер от BioBots представлен на рисунке 2.

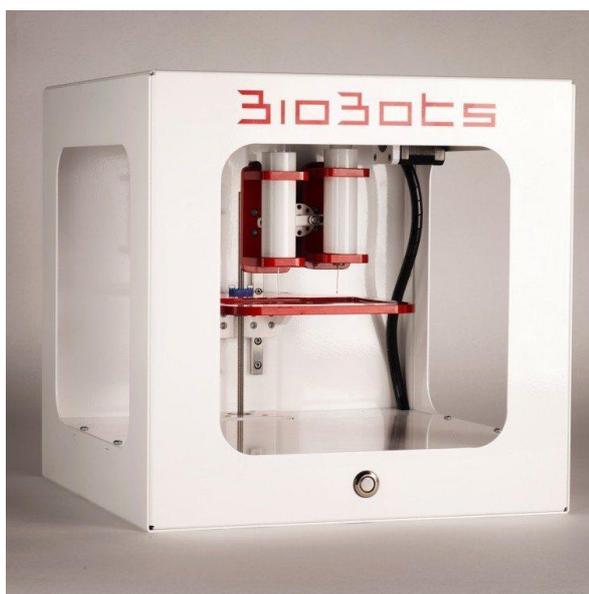


Рисунок 2 – Биомедицинский 3D принтер, созданный компанией BioBots

Ещё один пример multifunctional платформы для 3D-печати – это робот-манипулятор, разработанный исследовательской группой из университета Carnegie Mellon. Эта платформа предназначена для 3D-печати биологических материалов, таких как клетки, ткани и биополимеры, и может использоваться для создания сложных структур, таких как кровеносные сосуды и органы. Робот-манипулятор имеет несколько насадок, которые могут меняться в зависимости от конкретного материала и задачи, которую необходимо выполнить. Multifunctional платформа, созданная в университете Carnegie Mellon, представлена на рисунке 3.

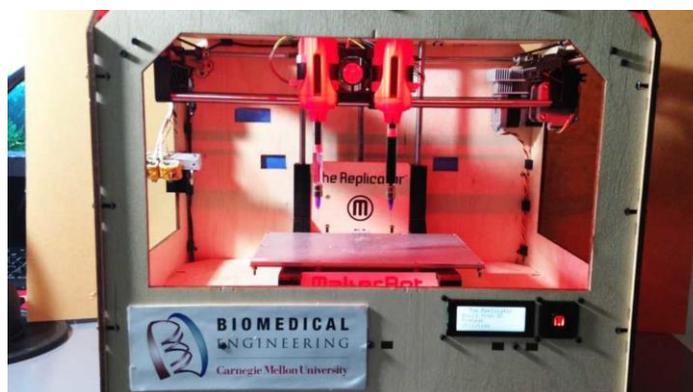


Рисунок 3 – Multifunctional платформа, разработанная в университете Carnegie Mellon

Ещё один пример – мультифункциональная платформа, разработанная исследовательской группой из университета Harvard. Она используется для 3D-печати живых клеток и тканей, в том числе для создания органов для трансплантации. Платформа использует специальные гелевые материалы, которые могут быть напечатаны в слоях, образуя сложные структуры, она представлена на рисунке 4.

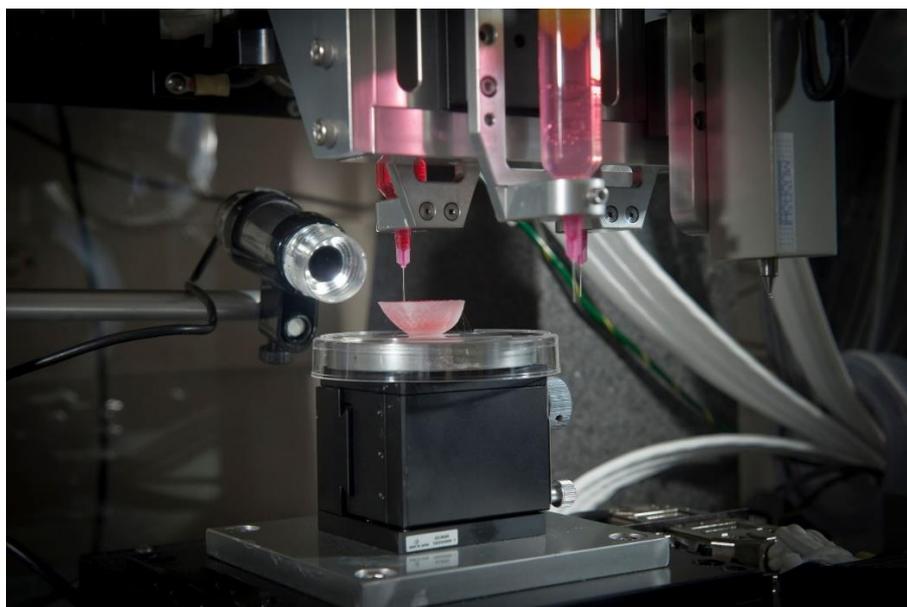


Рисунок 4 – Мультифункциональная платформа, разработанная исследовательской группой из университета Harvard

Также существуют мультифункциональные платформы, основанные на технологии смешивания и экструзии различных материалов. Эти платформы могут быть использованы для создания сложных объектов, состоящих из нескольких материалов, например, для создания имитаций органов для обучения медицинских студентов.

Все эти платформы имеют свои особенности и применения, и выбор конкретной платформы зависит от конкретных задач и потребностей.

Кроме того, многие существующие 3D-принтеры, предназначенные для печати пластика, также могут быть модифицированы для печати биогелей и жидкостей путем замены сопел и настройки параметров печати.

При выборе мультифункциональной платформы необходимо учитывать такие параметры, как качество печати, точность, возможность

использования различных материалов, скорость печати и наличие дополнительных функций, таких как автоматическое смешивание материалов.

1.3.2 Применение мультифункциональных платформ в биомедицинских исследованиях и промышленности

Мультифункциональные платформы нашли широкое применение в биомедицинских исследованиях и промышленности. В данном разделе рассмотрим основные области применения мультифункциональных платформ и их возможности.

– биопечать: мультифункциональные платформы могут быть использованы для создания трехмерных биологических конструкций, таких как ткани, органы и кости, методом биопечати. Биопечать – это технология, которая позволяет создавать биологические конструкции из живых клеток и биокompозитных материалов с помощью 3D-печати. Мультифункциональные платформы в этом случае обеспечивают точность позиционирования и дозировки клеток и материалов, а также контроль над окружающей средой, включая температуру, влажность и содержание газов. Это позволяет создавать более сложные и функциональные биологические конструкции, которые могут быть использованы в биомедицинских исследованиях и в медицине.

– создание микрочипов: мультифункциональные платформы могут использоваться для создания микрочипов, которые используются в биомедицинских исследованиях и промышленности. Микрочипы могут содержать клетки, белки и другие биологические компоненты, которые могут быть использованы для анализа биологических процессов и диагностики болезней.

– электроника и нанотехнологии: мультифункциональные платформы могут быть использованы для создания микроэлектронных и

нанoeлектронных устройств с различными функциями, такими как датчики, актуаторы, оптические устройства и т.д.

– материаловедение: с помощью мультифункциональных платформ можно исследовать и создавать новые материалы с определенными свойствами, такие как прочность, гибкость, проводимость и т.д.

– аналитика: мультифункциональные платформы могут использоваться для анализа биологических и химических образцов, таких как кровь, моча, пищевые продукты и т.д.

– фармацевтика: мультифункциональные платформы могут быть использованы для создания новых лекарственных препаратов, а также для исследования и оптимизации существующих.

– промышленность: мультифункциональные платформы могут быть использованы для создания новых продуктов и оптимизации производственных процессов в различных отраслях промышленности.

Возможности мультифункциональных платформ включают в себя создание сложных структур, применение различных материалов, интеграцию функций, высокую точность и контроль, а также автоматизацию процессов. Кроме того, мультифункциональные платформы могут быть использованы для создания персонализированных изделий, таких как медицинские импланты, протезы и ортезы, что может улучшить качество жизни пациентов.

1.4 Описание способов управления 3D-принтером

В данном разделе рассматриваются способы управления 3D-принтером, включая принципы работы и программное обеспечение. Описываются различные методы управления принтером, такие как прямое управление, управление через интерфейс пользователя и автоматическое управление.

1.4.1 Программное обеспечение для управления 3D-принтером

Программное обеспечение для управления 3D-принтером – это необходимый компонент при работе с 3D-печатью. Оно позволяет контролировать процесс печати и настраивать параметры, такие как скорость, температура и толщина слоя. Существует множество программного обеспечения для управления 3D-принтерами, и каждое из них имеет свои уникальные особенности и возможности.

Принтер для печати 3D-моделей получает команды из файла, в котором записан особый код. Для создания таких файлов необходимо особое программное обеспечение — приложения-слайсеры.

Слайсер — это компьютерная программа, подготавливающая для 3D-принтера цифровую модель объекта для печати. Технология создания объемной фигуры подразумевает ее послойный набор. Приложение-слайсер нарезает ее на слои заданной толщины, и печатающее устройство, считывая закодированную информацию, создает нужный объект [6].

Слайсеры делятся на два основных вида: универсальные и специализированные (корпоративные). Как правило, специализированные «заточены» под одну технологию, торговую марку или модельную линейку принтеров. Универсальные имеют большую вариативность в настройках и рассчитаны на широкий спектр совместимых устройств.

От работы слайсера конечный результат печати зависит едва ли не в большей степени, чем от возможностей самого принтера. Одним из наиболее популярных приложений-слайсеров является Cura. Оно бесплатно и поддерживает большое количество 3D-принтеров различных производителей. Cura позволяет пользователям настраивать все параметры печати, включая скорость, температуру, материал и толщину слоя. Также он имеет функцию предварительного просмотра модели и позволяет настраивать поддержку для более сложных объектов. Функционал программы представлен на рисунке 5.

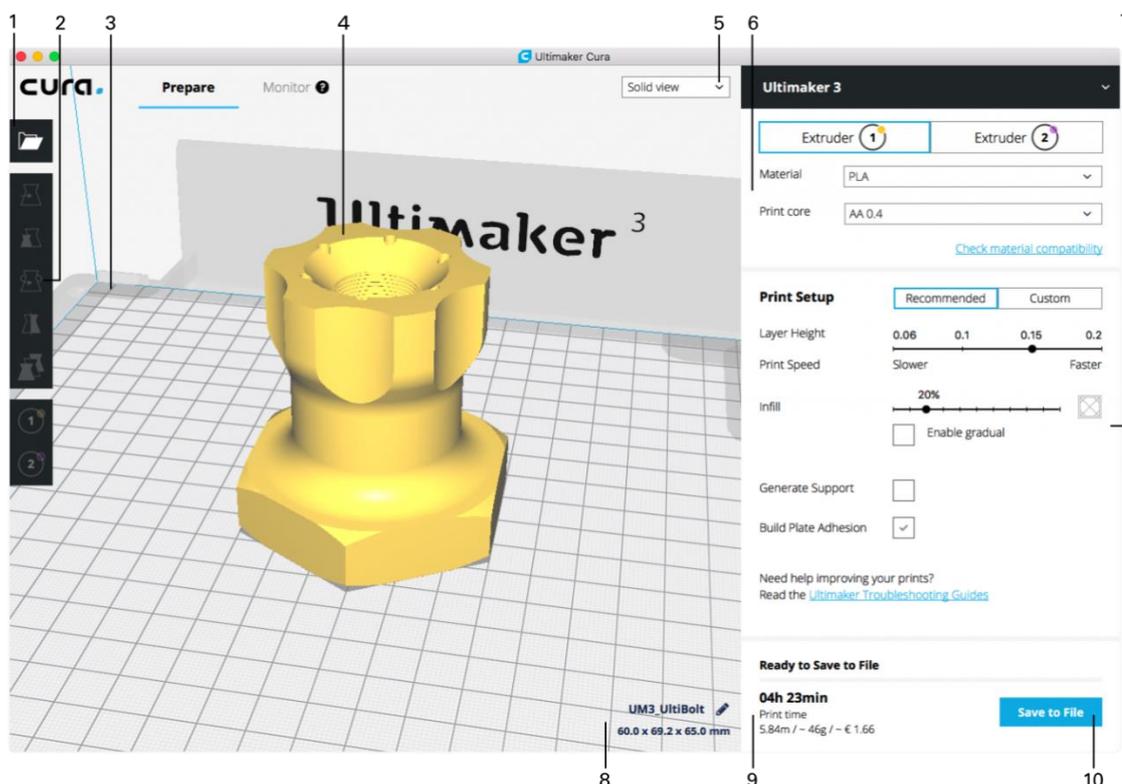


Рисунок 5 – интерфейс и функционал программы Cura

Интерфейс всех слайсеров разбит на блоки-разделы настроек. Блоки слайсеров, на примере программы Cura включают в себя.

- настройки самой программы, не оказывающие влияния на параметры печати: выбор локализации — языка, единиц измерения; включение/выключение расширенных функций; цветовое оформление, параметры отображения; информационные вкладки.

- подключение принтера: выбор марки и модели; управление действиями экструдера, установка скорости и температуры, указание количества печатающих головок.

- выбор филамента, указание вида материала и его характеристик.

- работа с моделью: позиционирование; масштабирование; модификация; анализ.

- параметры слайсинга: порядка послойного формирования объемного объекта из цифровой модели. Здесь же настраиваются сервисные конструкции: поддержки, стенки и прочие вспомогательные элементы.

– дополнительные установки: скрипты, плагины и макросы, содержащие заранее разработанную последовательность команд — включение паузы для смены филамента, холостые передвижения по осям, остановку и возобновление печати в нужное время на указанном слое и прочие. Демонстрация работы слайсера представлена на рисунке 6.

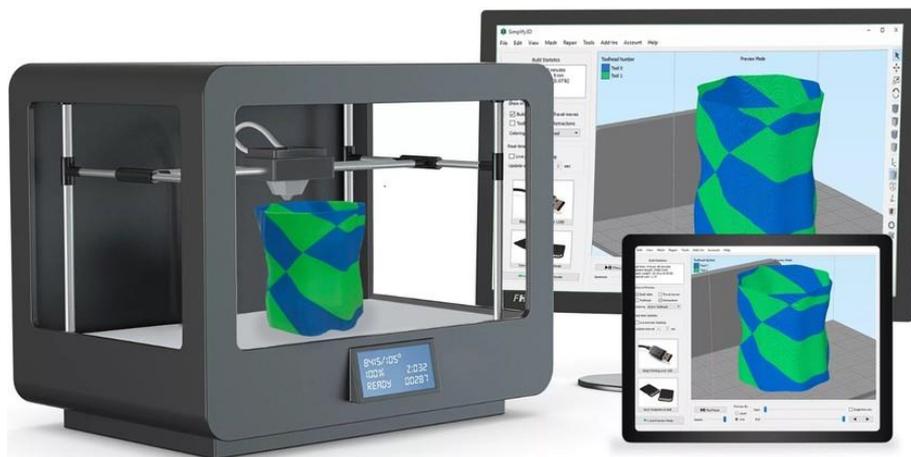


Рисунок 6 – Демонстрация работы слайсера

Другим популярным программным обеспечением является Simplify3D. Это коммерческое ПО с широким спектром возможностей. Simplify3D позволяет настраивать множество параметров, таких как путь движения печатающей головки и настройки поддержки. Оно также имеет функцию предварительного просмотра и генерирует код G-кода для 3D-принтера. Интерфейс программы представлен на рисунке 7.

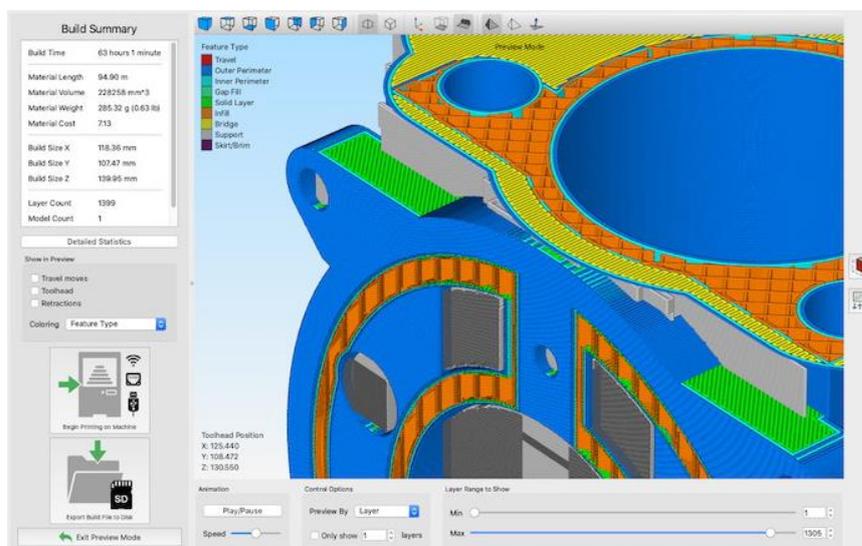


Рисунок 7 – Интерфейс и функционал программы Simplify3D

В области биомедицинских исследований и промышленности, где требуются более сложные и точные модели, используются специализированные программные продукты, такие как Materialise Magics и Netfabb. Они предоставляют дополнительные функции, такие как ремонт моделей и поддержка для больших файлов. Интерфейс программы представлен на рисунке 8.

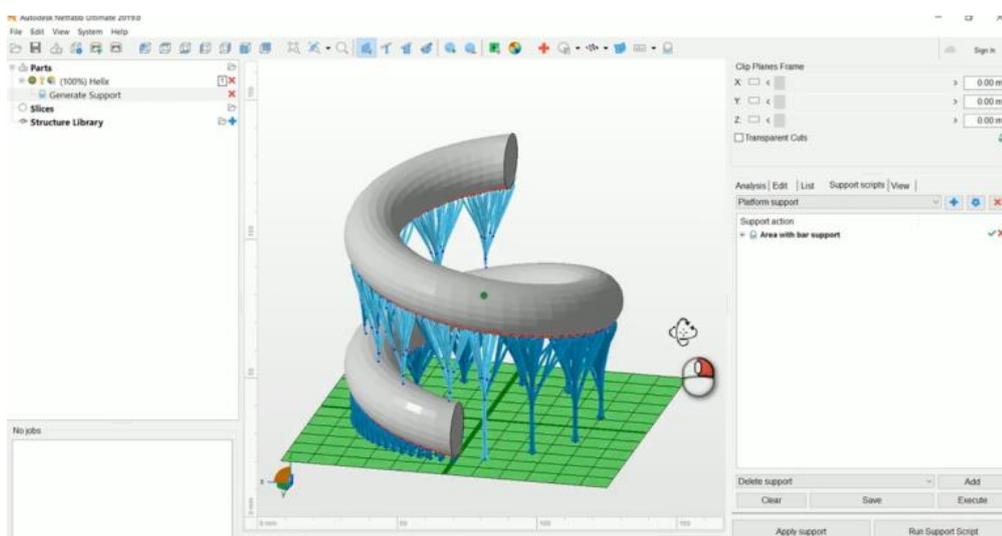


Рисунок 8 – Интерфейс и функционал программы Netfabb

Кроме того, существуют открытые библиотеки кода для управления 3D-принтерами, такие как Marlin и Repetier, которые позволяют пользователю настраивать и изменять код для управления принтером. Это является важным аспектом для разработчиков, которые хотят создавать свои собственные функции и управлять 3D-принтером более гибко. Для того, чтобы настраивать и изменять код, необходимо сделать тщательную настройку прошивки 3D-принтера. Прошивка — это «интеллект» 3D-принтера, его основная программа, которая позволяет обработать команды, полученные из слайсера, реализовав его в конкретные действия и характеристики действий, выполняемых аппаратной частью 3D-принтера [7]. Прошивка 3D-принтера определяет полярность, напряжение и продолжительность импульса на моторы, необходимые чтобы переместить экструдер по осям, после чего прошивка отправляет электрические сигналы к этим моторам. Таким же образом прошивка преобразует команды в действия

кулера, нагревателей и других элементов 3D-принтера. Дополнительными функциями являются вывод информации о процессе печати, печать с SD карты памяти, управление принтером через интерфейсы и др.

Прошивки можно разделить по типу поддерживаемого микроконтроллера и на разные ветви одной базовой прошивки, причем последние могут идти как параллельная версия, так и полностью переработанная [8].

Чаще всего в бюджетных принтерах установлены платы Arduino. Для перепрошивки принтера или для создания собственного программного обеспечения используется среда программирования ArduinoIDE, пример перепрошивки представлен на рисунке 9.

```
#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*40, 0} // set the homing speeds (mm/min)

// default settings

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {106.67,106.67,4000,759.9} // default steps per unit
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {300, 300, 5, 25} // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {4000,4000,100,10000} // X, Y, Z, E maximum start

#define DEFAULT_ACCELERATION 2500 // X, Y, Z and E acceleration in mm/s^2 for p
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration in mm/s^2 for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 2500 // X, Y, Z acceleration in mm/s^2 for travel

// The speed change that does not require acceleration (i.e. the software might assume it c
#define DEFAULT_XYJERK 20.0 // (mm/sec)
#define DEFAULT_ZJERK 0.4 // (mm/sec)
#define DEFAULT_EJERK 5.0 // (mm/sec)
```

Рисунок 9 – Пример перепрошивки в среде ArduinoIDE

Также перепрошивка принтера может решать типовые проблемы, возникающие при неполадках в ПО:

- если 3D-принтер зависает в процессе выполнения печати, особенно, если это происходит при одинаковых условиях (высокая скорость печати, начальный этап работы);
- если требуется улучшение и/или замена старой платы управления на более новую, которая не совместима с текущей версией прошивки.

В целом, программное обеспечение для управления 3D-принтером играет очень важную роль, так как оно отвечает за настройку печати.

1.4.2 Аппаратное обеспечение для управления 3D-принтером

Одним из основных компонентов аппаратного обеспечения для управления 3D-принтером является микроконтроллер. Микроконтроллер – это электронное устройство, которое реализует выполнение заданных команд, анализирует состояние установки и вносит корректировки в работу в режиме реального времени с помощью установленного ПО. Микроконтроллер может быть интегрирован в сам принтер или использоваться в качестве отдельного устройства.

Кроме микроконтроллера, для управления 3D-принтером также могут потребоваться следующие устройства:

- печатающая головка: отвечает за точность позиционирования и передвижения экструдера, как правило, состоит из сопла и термистора (датчика температуры).

- экструдер: отвечает за скорость печати, температуру. Экструдер состоит из двигателя (шагового или сервопривода) и механизма для передачи и выдавливания материала.

- моторы: отвечают за передвижение платформы и печатающей головки по осям XYZ, а также за вращение экструдера. Они управляются контроллером, который получает команды от компьютера через интерфейсные порты, такие как USB или Ethernet.

- систему охлаждения для экструдера и рабочей области: представляет собой активное и пассивное охлаждение, где пассивное охлаждение работает вне зависимости от уставок устройства и охлаждает важные узлы установки, а активное охлаждение – позволяет регулировать поток воздуха.

- элементы безопасности: позволяют сигнализировать о неисправности работы установки, а также предотвращают поломки оборудования при возникновении ошибок.

- дисплей: служит для отображения ввода и вывода информации, текущего статуса печати и настроек принтера. Взаимодействие в ручном режиме с установкой осуществляется через дисплей.

- датчики: используются для измерения температуры и других параметров, необходимых для правильной работы принтера.

- нагревательные элементы: используются для нагрева печатающей поверхности и плавления материала для печати.

- двигатели: отвечают за движение головки и других элементов принтера.

Кроме того, могут быть использованы дополнительные устройства, такие как сенсоры уровня, фильтры воздуха и другие, в зависимости от конкретных требований проекта.

Важно отметить, что качество аппаратного обеспечения напрямую влияет на точность и качество печати, а также на скорость работы принтера.

2 Выбор оборудования

Мультифункциональная платформа представляет собой автоматизированный комплекс, состоящий из систем перемещения, нагрева, охлаждения и дозирования материала. Аппаратный комплекс должен быть реализован на базе 32-битного процессора с возможностью управления шаговыми двигателями, вентиляторами, термисторами и дисплеем входящее напряжение составляет 24В.

На основании данных параметров необходимо выбрать оборудование, удовлетворяющее требованиям аппаратного комплекса.

2.1 Выбор материнской платы

Для разработки мультифункциональной платформы необходимо выбрать материнскую плату. Сравнение проводилось между Octopus pro F446, MKS GEN-L и BIGTREETECH BTT SKR, оно представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение материнских плат

Наименование	Octopus pro F446	MKS GEN-L	BIGTREETECH BTT SKR
Входящее напряжение, В	24	24	24
Разрядность процессора, бит	32	32	32
Количество подключаемых шаговых двигателей, шт.	8	5	5
Количество подключаемых термисторов, шт.	5	2	2
Количество подключаемых вентиляторов, шт.	8	2	4
Цена, руб.	6 000	3 000	8 500

Исходя из полученных данных, было принято решение делать разработку мультифункциональной платформы на базе материнской платы Octopus pro F446. Материнская плата представлена на рисунке 10.

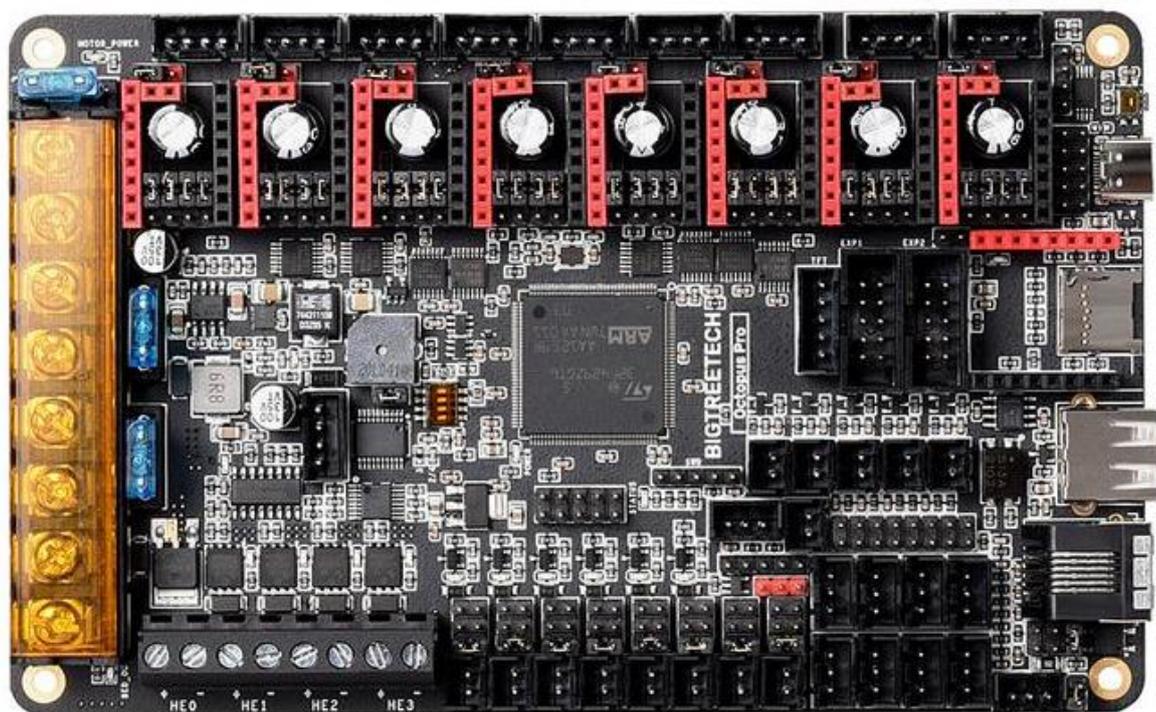


Рисунок 10 – Материнская плата Ostorus pro F446

2.2 Выбор шаговых двигателей

Для разработки мультифункциональной платформы необходимо выбрать шаговые двигатели для перемещения элементов платформы. Сравнение проводилось между Nema 17, Nema 23 и PL20H28-D4, оно представлено в таблице 2.

Таблица 2 – сравнение шаговых двигателей

Наименование	Nema 23	Nema 17	PL20H28-D4
Сила тока, А	2.8	1.7	0.6
Сопротивление, Ом	0.9	1.65	1.6
Длина двигателя, мм	56	42	20
Угловой шаг, *	1.8	0.9	1.8
Удерживающий крутящий момент, н.м	1.2	0.5	0.2
Цена, руб.	4 090	1 920	130

Исходя из полученных данных, было принято решение выбрать шаговый двигатель Nema 17 для разработки мультифункциональной платформы. Шаговый двигатель представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Шаговый двигатель Nema 17

2.3 Выбор нагревательного элемента

Для разработки мультифункциональной платформы необходимо выбрать нагревательные элементы для контроля температуры. Сравнение проводилось между HotEnd J-Head, IdeaFormer и I3 Mega Hotend V5 J-head, оно представлено в таблице 3.

Таблица 3 – сравнение нагревательных элементов

Наименование	HotEnd J-Head	IdeaFormer	I3 Mega Hotend V5 J-head
Напряжение питания, В	24	24	12
Мощность, Вт	50	40	40
Максимальная температура, градусы	350	300	500
Длина, м	2	1	1
Цена, руб.	95	71	273

Исходя из полученных данных, было принято решение выбрать нагревательный элемент HotEnd J-Head для разработки мультифункциональной платформы. Нагревательный элемент представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Нагревательный элемент HotEnd J-Head

2.4 Выбор вентиляторов

Для разработки multifunctional платформы необходимо выбрать вентиляторы для охлаждения системы. Сравнение проводилось между Octopus pro F446, MKS GEN-L и BIGTREETECH BTT SKR, оно представлено в таблице 4.

Таблица 4 – сравнение вентиляторов

Наименование	RQD4020MS	NF-A4x20 PWM	KF0410S1H
Напряжение питания, В	12	12	12
Тип подшипника	скольжения	качения	скольжения
Толщина, мм	20	20	10
Количество проводов, шт.	2	4	2
Присутствует режим управления	-	+	-
Цена, руб.	218	1 987	334

Исходя из полученных данных, было принято решение выбрать вентилятор KF0410S1H для разработки multifunctional платформы. Вентилятор представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Вентилятор KF0410S1H

3 Разработка деталей мультифункциональной платформы в программе SolidWorks и их изготовление

3.1 Описание программного инструмента SolidWorks

SolidWorks – это комплексное программное обеспечение для трехмерного проектирования (CAD) и моделирования, разработанное компанией Dassault Systèmes. Оно широко используется в инженерных отраслях, включая машиностроение, авиастроение, медицинскую технику, а также в разработке прототипов и 3D-печати.

SolidWorks предоставляет мощные инструменты и функции, которые позволяют инженерам создавать сложные трехмерные модели и детали с высокой точностью и эффективностью. В программе реализованы различные инженерные операции, такие как создание эскизов, построение выпуклых и вогнутых форм, моделирование поверхностей, создание сборок и многое другое.

Программное обеспечение SolidWorks имеет интуитивно понятный пользовательский интерфейс, что делает его доступным для разработчиков с разным уровнем опыта. Оно предлагает широкий набор инструментов для создания и редактирования деталей, таких как выдавливание, вырезание, сопряжение, скругление, наложение текстур и многие другие. Кроме того, SolidWorks поддерживает импорт и экспорт различных форматов файлов, что обеспечивает совместимость с другими программами и оборудованием.

Одной из ключевых особенностей SolidWorks является возможность проведения анализов и симуляций для проверки функциональности и прочности создаваемых деталей. Программа позволяет моделировать различные физические воздействия, такие как нагрузки, напряжения, тепловые воздействия и другие, и анализировать их влияние на конструкцию. Это позволяет инженерам оптимизировать детали и улучшить их производительность и надежность.

Использование SolidWorks в разработке деталей для мультифункциональной платформы позволяет создавать точные и

функциональные модели, учитывая все необходимые требования и спецификации проекта. Благодаря возможностям программы, можно проводить виртуальное тестирование и оптимизацию деталей перед их физической реализацией, что существенно сокращает время и затраты на разработку. Кроме того, SolidWorks обеспечивает гибкость в настройке размеров и форм деталей, позволяя инженерам экспериментировать и вносить изменения при необходимости, чтобы достичь оптимальных результатов. В результате, использование SolidWorks в процессе разработки деталей мультифункциональной платформы способствует повышению эффективности и качества проекта.

3.2 Подготовка трехмерных моделей деталей в программе SolidWorks

В данном пункте подробно описывается процесс разработки трехмерных моделей деталей мультифункциональной платформы с использованием программного обеспечения SolidWorks. Основная цель этого этапа заключается в создании точных и подробных трехмерных моделей, которые будут использованы для дальнейшего проектирования и изготовления деталей.

Первоначально проводится анализ требований к мультифункциональной платформе и ее функциональности. На основе этих требований определяются основные параметры и геометрические характеристики каждой детали. Это включает размеры, форму, поверхностные особенности и структурные элементы, которые необходимы для правильного функционирования платформы.

С помощью программного обеспечения SolidWorks и его инструментов моделирования были созданы трехмерные модели каждой детали. При этом учитывались основные принципы дизайна и функциональные требования. Были определены геометрические формы, добавлены дополнительные особенности при сборке, такие как отверстия, каналы, ребра жесткости и

другие детали, необходимые для обеспечения оптимального функционирования платформы.

Особое внимание уделялось точности и детализации моделей, чтобы обеспечить их соответствие требуемым размерам и функциональности. Также учитывались возможности и ограничения 3D-печати, такие как минимальные размеры и разрешение печати, чтобы гарантировать возможность изготовления моделей на 3D-принтере. Модель шприцевого насоса представлена на рисунке 14.

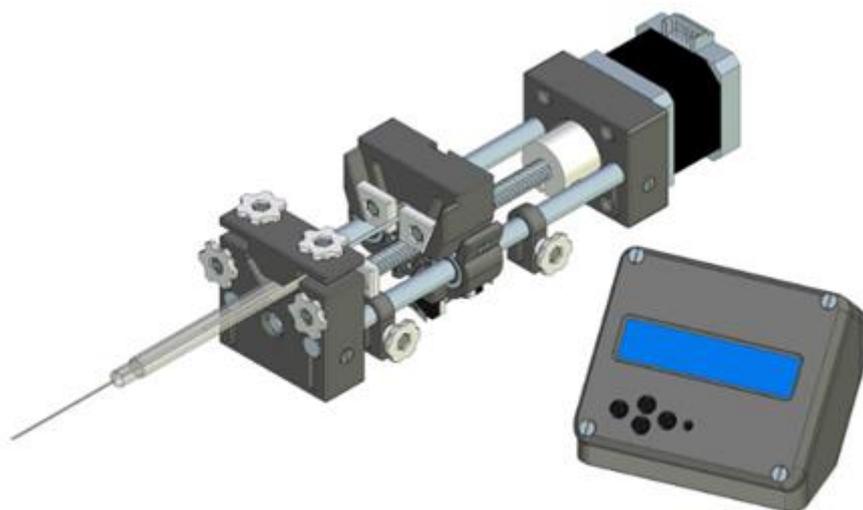


Рисунок 14 – Шприцевой насос в сборе

После завершения разработки трехмерных моделей деталей, были проведены их проверка и анализ с использованием инструментов SolidWorks, осуществлялась проверка на наличие ошибок моделирования, проверка соответствия размеров и формы заданным требованиям, а также проводилась визуальная оценка созданных моделей.

В результате этого этапа исследования получились точные и подробные трехмерные модели деталей multifunctional платформы, которые в последствии были использованы при сборке конструкции.

3.3 Печать деталей на 3D принтере

В данном пункте описывается процесс печати разработанных трехмерных моделей деталей multifunctional платформы на 3D принтере. Печать деталей является важным этапом, который позволяет

создать физические объекты на основе предварительно разработанных моделей.

Перед началом печати, 3D принтер был подготовлен к работе. Это включает установку и проверку печатающей головки, загрузку материала, а также настройку параметров печати, таких как скорость печати, разрешение и температура печатной платформы.

Затем были загружены трёхмерные модели деталей в программное обеспечение 3D принтера, где происходит подготовка моделей к печати. В этом процессе модели могут быть масштабированы, повернуты или разбиты на несколько частей для обеспечения оптимальной печати.

После подготовки моделей к печати, был запущен процесс печати на 3D принтере. Во время печати принтер слоями наносит материал в соответствии с трёхмерными моделями, постепенно создавая физические детали. Процесс печати может занимать разное время в зависимости от сложности и размера деталей. Примерное время печати на группу элементов варьировалось в диапазоне от 2-х до 4-х часов, процесс печати отображен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Процесс печати деталей на 3D принтере

По завершении печати, напечатанные детали были извлечены из 3D принтера. Затем проводился визуальный осмотр и анализ качества печати. Также были выполнены дополнительные операции по обработке деталей, такие как удаление поддержек и шлифовка поверхности для получения

качественных деталей, пригодных для использования в сборке конструкции, на рисунке 16 изображены напечатанные детали.



Рисунок 16 – Напечатанные детали шприцевого насоса

4 Разработка шприцевого насоса для мультифункциональной платформы

4.1 Сборка шприцевого насоса из напечатанных деталей

После успешного проектирования деталей в программе SolidWorks, следующим шагом в разработке мультифункциональной платформы была их сборка в единую конструкцию. Для этого были напечатаны ранее спроектированные детали на 3D-принтере с использованием соответствующих материалов.

Сборка деталей в единую конструкцию требует точности и внимательности. Каждая деталь была оценена на предмет соответствия требованиям и размерам, чтобы гарантировать правильную и надежную сборку. Некоторые детали были доработаны и подогнаны для обеспечения оптимальной посадки и функциональности, на рисунке 17 изображён собранный шприцевой насос.



Рисунок 17 – Собранный шприцевой насос.

В процессе сборки были использованы соединительные элементы, такие как винты, гайки и штифты, чтобы обеспечить жесткость и стабильность конструкции. Отверстия и крепёжные элементы были заранее предусмотрены при проектировании деталей в программе SolidWorks, что упростило процесс сборки и обеспечило точное выравнивание компонентов.

4.2 Подключение электронных компонентов к шприцевому насосу

Для обеспечения функциональности шприцевого насоса в рамках разработки мультифункциональной платформы, требовалось правильно подключить электронные компоненты. Эти компоненты включали в себя

концевые выключатели, моторы, контроллеры, элементы блока питания и платы, которые обеспечивают управление и мониторинг работы насоса.

Первоначально, был проведен анализ электронных компонентов, необходимых для работы шприцевого насоса. Исходя из требований и функциональности насоса, были выбраны соответствующие датчики и нужные элементы. Например, использовались датчики потока и давления для измерения и контроля параметров жидкости, а также моторы для приведения в движение шприцевого механизма, на рисунке 18 изображены электронные компоненты для шприцевого насоса.

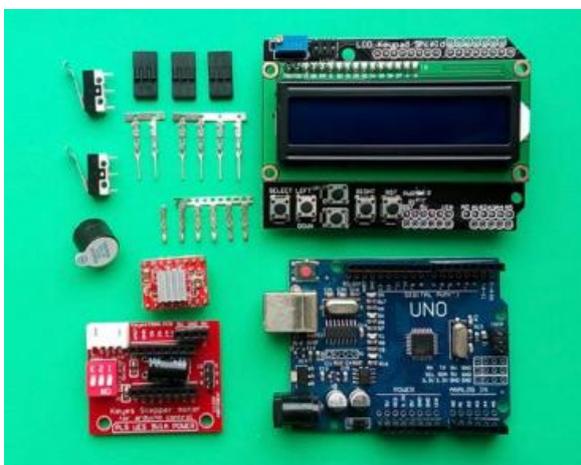


Рисунок 18 – Электронные компоненты для управления шприцевым насосом

Затем, осуществлялось физическое подключение электронных компонентов к шприцевому насосу. Каждый компонент был подключен к соответствующим портам или пинам на микроконтроллере. Были использованы провода и разъемы для обеспечения надежного соединения и передачи сигналов.

Важно отметить, что правильная организация подключения электронных компонентов требует тщательного соблюдения электрических и функциональных схем. Это включает в себя правильное размещение и маркировку проводов, учет полярности при подключении, а также обеспечение согласованности между компонентами и контроллером, на рисунке 19 изображена схема подключения электронных компонентов

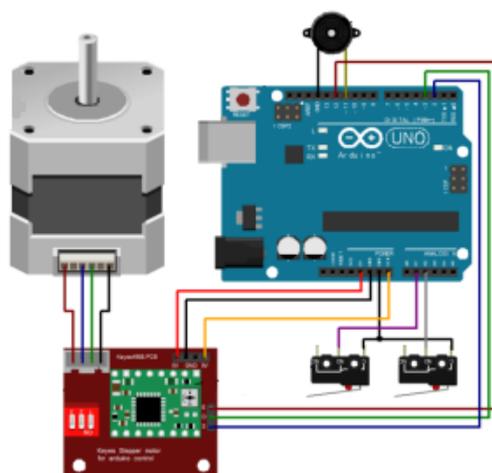


Рисунок 19 – Схема подключения электронных компонентов шприцевого насоса

После завершения подключения электронных компонентов, проводилась проверка и тестирование работы шприцевого насоса. Это включало проверку функциональности каждого компонента, а также проверку взаимодействия между ними. При необходимости, производились настройки и корректировки для обеспечения оптимальной работы насоса.

4.3 Разработка программного обеспечения для управления шприцевым насосом

Для полноценной работы шприцевого насоса в рамках мультифункциональной платформы требовалось разработать программное обеспечение (ПО) для его управления. В данном разделе рассмотрим процесс разработки ПО с использованием среды Arduino IDE.

– выбор среды разработки: для программирования и управления микроконтроллером, управляющим шприцевым насосом, была выбрана среда разработки Arduino IDE. Она предоставляет удобный интерфейс и широкий спектр возможностей для разработки программного кода, а также поддерживает платформу Arduino, на которой базируется микроконтроллер.

– определение функциональности ПО: определились основные функции и возможности, которые должно обеспечивать программное обеспечение для управления шприцевым насосом. Это включало установку заданного объема жидкости, управление скоростью движения шприца,

мониторинг параметров (например, давления, объема и времени) и другие функции, необходимые для оптимальной работы насоса.

– написание программного кода: на основе определенных функций и требований был разработан программный код на языке C++, который позволял управлять работой шприцевого насоса. В процессе разработки использовались различные библиотеки и функции, предоставляемые Arduino IDE, для обеспечения требуемой функциональности и взаимодействия с электронными компонентами насоса.

– тестирование системы: после написания программного кода проводилось тестирование системы управления шприцевым насосом. Это включало проверку работоспособности каждой функции, проверку точности установки заданного объема жидкости, а также проверку стабильности работы насоса на различных скоростях и условиях.

В рамках разработки multifunctionальной платформы была проведена успешная сборка и тестирование системы управления шприцевым насосом. При разработке программного обеспечения с использованием среды Arduino IDE были учтены основные функции и требования, необходимые для оптимальной работы насоса.

Фрагмент кода программы изображён на рисунке 20.

```

MenuItem items(NITEMS);
uint8_t lastButton = NA;
uint8_t buttonState = RELEASE;
uint32_t buttonPressTime = 0;
uint8_t currentItem = 1;
float coef;
uint8_t endStopPin;
volatile uint32_t ustepCounter;
uint32_t ustepCounterLimit;

uint32_t getValue(uint8_t itemNo);
void changeValue();
void setValue(uint8_t itemNo, uint8_t digits[8]);
void selectFromList();
void calculateActualValue(uint8_t itemNo);
void recalculateSyringe(uint8_t itemNo);
void printScreen();
void printUnits();
void printFirmwareInfo();
void printTimeAndVolume(uint16_t pumpingTime, uint32_t pumpingVolume);
void showScreensaver();
void readFromEEPROM(uint8_t itemNo);
void writeToEEPROM(uint8_t itemNo);
void getButtonState();
uint16_t valueDivider (uint8_t n);
uint8_t getElementNo(uint8_t linkToList);
void waitingForButton(uint8_t buttonCode, uint8_t itemNo);
void beep (uint16_t delayOn = 15, uint16_t delayOff = 100);
bool checkEndstop(int8_t pumpingDirection);
void infuseVolume();
void infuseTime();
void refillVolume();
void refillFull();
void pumpSingly(int8_t pumpingDirection, uint32_t flowrate, uint32_t volume);
void pumpContinuously();
uint8_t pump(uint32_t flowrate, uint32_t volume);

```

Рисунок 20 – Фрагмент кода программного обеспечения шприцевого насоса

С помощью программного кода, разработанного в среде Arduino IDE, удалось успешно управлять шприцевым насосом, обеспечивая установку заданного объема жидкости, контроль скорости движения шприца, а также мониторинг необходимых параметров. Тестирование системы подтвердило работоспособность и стабильность насоса при различных условиях, на рисунке 21 изображена готовая сборка прототипа шприцевого насоса с программным обеспечением и с подключением электронных компонентов.



Рисунок 21 – Готовая сборка прототипа шприцевого насоса

Полученные результаты свидетельствуют об успешной разработке программного обеспечения и его интеграции с аппаратной частью шприцевого насоса.

5 Разработка программного обеспечения, осуществляющего контроль системами мультифункциональной платформы

В данной главе рассмотрена разработка программного обеспечения для контроля системами мультифункциональной платформы. Программное обеспечение осуществляет управление и контроль такими системами, как температурное регулирование, охлаждение, перемещение платформы и печатающей головки, а также система подачи жидкости. Для реализации данного программного обеспечения была выбрана модификация прошивки на базе Marlin, которая позволяет эффективно управлять всеми системами мультифункциональной платформы.

5.1 Архитектура программного обеспечения

Программное обеспечение для контроля системами мультифункциональной платформы основано на архитектуре прошивки Marlin, которая широко используется в 3D-печати. Она обеспечивает гибкую и расширяемую платформу для управления различными аспектами печати.

Архитектура программного обеспечения состоит из следующих основных модулей:

- модуль управления температурным регулированием: этот модуль отвечает за управление температурными датчиками и системами обогрева, обеспечивая необходимую температуру для различных компонентов платформы. Он позволяет устанавливать и поддерживать заданные температурные режимы, контролируя процесс нагрева и охлаждения, блок температурного регулирования представлен на рисунке 22.

```

#if TEMP_SENSOR_0 == 1000
#define HOTEND0_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND0_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND0_BETA 3950
#define HOTEND0_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_1 == 1000
#define HOTEND1_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND1_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND1_BETA 3950
#define HOTEND1_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_2 == 1000
#define HOTEND2_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND2_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND2_BETA 3950
#define HOTEND2_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_3 == 1000
#define HOTEND3_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND3_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND3_BETA 3950
#define HOTEND3_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_4 == 1000
#define HOTEND4_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND4_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND4_BETA 3950
#define HOTEND4_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_5 == 1000
#define HOTEND5_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND5_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND5_BETA 3950
#define HOTEND5_SH_C_COEFF 0

```

Рисунок 22 – Фрагмент кода блока температурного регулирования

– модуль управления охлаждением: данный модуль обеспечивает контроль и управление системами охлаждения, предотвращая перегрев компонентов платформы. Он включает в себя управление вентиляторами и регулирует их скорость в зависимости от текущей температуры и других параметров. На рисунке 23 представлен блок управления охлаждением.

```

pinMode(soundPin, OUTPUT);
pinMode(fan1, OUTPUT);
pinMode(fan2, OUTPUT);
pinMode(fan3, OUTPUT);
pinMode(fan4, OUTPUT);
pinMode(ledBLUE, OUTPUT);
pinMode(ledGREEN, OUTPUT);
pinMode(ledYELLOW, OUTPUT);
pinMode(ledRED, OUTPUT);
pinMode(tempPin, INPUT);
Serial.begin(9600);
dht.begin();
lcd.begin(16,2);

}

void loop()

{

temp = readTemp();
if(temp < tempMin)

{

fan1Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
fan2Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
fan3Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
fan4Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
fanLCD = map(temp, tempMin, tempMax, 0, 100);
analogWrite(fan1, fan1Speed);
analogWrite(fan2, fan2Speed);
analogWrite(fan3, fan3Speed);
analogWrite(fan4, fan4Speed);
digitalWrite(ledBLUE, HIGH);

}

if((temp >= tempMin) && (temp <= tempMed))

```

Рисунок 23 – Фрагмент кода блока управления охлаждением

– модуль управления перемещением платформы и печатающей головки: данный модуль играет важную роль в управлении системами мультифункциональной платформы. Он отвечает за управление двигателями и перемещение платформы и печатающей головки по заданным координатам. Перемещение происходит с высокой точностью и плавностью, что является ключевым фактором для достижения высокого качества печати. При разработке данного модуля особое внимание уделялось точности и плавности перемещения. Были проведены тщательные исследования и оптимизации алгоритмов управления двигателями, что позволило достичь высокой точности позиционирования и минимизировать вибрации и дрожание платформы и печатающей головки. В рамках модуля управления перемещением также реализованы дополнительные функции, такие как

автоматическая калибровка и компенсация уровня платформы, что позволяет достичь оптимального контакта между печатающей головкой и рабочей поверхностью. Это особенно важно при работе с различными материалами и конфигурациями печати. Модуль управления перемещением печатающей головки представлен на рисунке 24.

```
#ifdef I_DRIVER_TYPE
#define AXIS4_NAME 'A'
#define AXIS4_ROTATES
#endif
#ifdef J_DRIVER_TYPE
#define AXIS5_NAME 'B'
#define AXIS5_ROTATES
#endif
#ifdef K_DRIVER_TYPE
#define AXIS6_NAME 'C'
#define AXIS6_ROTATES
#endif
#ifdef U_DRIVER_TYPE
#define AXIS7_NAME 'U'
#endif
#ifdef V_DRIVER_TYPE
#define AXIS8_NAME 'V'
#endif
#ifdef W_DRIVER_TYPE
#define AXIS9_NAME 'W'
#endif
#define DEFAULT_STEPPER_DEACTIVE_TIME 120
#define DISABLE_INACTIVE_X true
#define DISABLE_INACTIVE_Y true
#define DISABLE_INACTIVE_Z true
#define DISABLE_INACTIVE_I true
#define DISABLE_INACTIVE_J true
#define DISABLE_INACTIVE_K true
#define DISABLE_INACTIVE_U true
#define DISABLE_INACTIVE_V true
#define DISABLE_INACTIVE_W true
#define DISABLE_INACTIVE_E true
#define INVERT_X_STEP_PIN false
#define INVERT_Y_STEP_PIN false
#define INVERT_Z_STEP_PIN false
#define INVERT_I_STEP_PIN false
#define INVERT_J_STEP_PIN false
#define INVERT_K_STEP_PIN false
#define INVERT_U_STEP_PIN false
#define INVERT_V_STEP_PIN false
#define INVERT_W_STEP_PIN false
#define INVERT_E_STEP_PIN false
#if EITHER(INPUT_SHAPING_X, INPUT_SHAPING_Y)
  #if ENABLED(INPUT_SHAPING_X)
    #define SHAPING_FREQ_X 40
    #define SHAPING_ZETA_X 0.15f
  #endif
  #if ENABLED(INPUT_SHAPING_Y)
    #define SHAPING_FREQ_Y 40
    #define SHAPING_ZETA_Y 0.15f
  #endif
#endif
#define AXIS_RELATIVE_MODES { false, false, false, false }
```

Рисунок 24 – Фрагмент кода блока управления перемещением печатающей головки

– модуль управления системой подачи жидкости: данный модуль играет важную роль в функциональности платформы. Он отвечает за контроль и управление подачей жидкости в процессе работы платформы. Это может включать подачу растворов, реагентов или других жидкостей, необходимых для выполнения определенных задач или процессов. Программное обеспечение позволяет точно и стабильно контролировать объем и скорость подачи жидкости, а также регулировать параметры,

связанные с ее распределением и перемещением. Модуль управления системой подачи жидкости включает в себя несколько ключевых компонентов:

1) дозирующая система: для точного контроля объема подаваемой жидкости используется специальная дозирующая система. Она оснащена насосом или клапаном, которые управляют подачей жидкости с заданной скоростью и точностью. Дозирующая система может быть настроена и программно управляема, что обеспечивает гибкость в настройке процесса подачи.

2) датчики уровня жидкости: для надёжного контроля уровня жидкости в резервуаре или емкости используются соответствующие датчики. Они обеспечивают обратную связь, определяя текущий уровень жидкости и позволяя системе точно регулировать подачу в соответствии с требуемыми параметрами.

3) интерфейс управления: модуль управления системой подачи жидкости предоставляет удобный интерфейс для настройки параметров и контроля процесса подачи. Это может быть встроенный интерфейс на панели управления или программное приложение, которое позволяет оператору легко настраивать и контролировать подачу жидкости. На рисунке 25 представлен блок управления системой подачи жидкости.

```

#if EITHER(PARKING_EXTRUDER, MAGNETIC_PARKING_EXTRUDER)

#define PARKING_EXTRUDER_PARKING_X { -78, 184 }
#define PARKING_EXTRUDER_GRAB_DISTANCE 1

#if ENABLED(PARKING_EXTRUDER)

#define PARKING_EXTRUDER_SOLENOIDS_INVERT
#define PARKING_EXTRUDER_SOLENOIDS_PINS_ACTIVE LOW
#define PARKING_EXTRUDER_SOLENOIDS_DELAY 250
//#define MANUAL_SOLENOID_CONTROL

#elif ENABLED(MAGNETIC_PARKING_EXTRUDER)

#define MPE_FAST_SPEED      9000
#define MPE_SLOW_SPEED      4500
#define MPE_TRAVEL_DISTANCE  10
#define MPE_COMPENSATION     0

#endif

#endif

#if ANY(SWITCHING_TOOLHEAD, MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD, ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_POS      235
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_SECURITY  10
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_CLEAR    60
#define SWITCHING_TOOLHEAD_X_POS      { 215, 0 }
#if ENABLED(SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_NR    2
#define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_ANGLES { 0, 180 }
#elif ENABLED(MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_RELEASE   5
#define SWITCHING_TOOLHEAD_X_SECURITY  { 90, 150 }

#if ENABLED(PRIME_BEFORE_REMOVE)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_MM    20
#define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_MM  10
#define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_FEEDRATE 300
#define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_FEEDRATE 2400
#endif
#elif ENABLED(ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Z_HOP       2
#endif
#endif
#endif

```

Рисунок 25 – Фрагмент кода блока управления системой подачи жидкости

5.2 Выводы по разделу

В разделе "Разработка программного обеспечения, осуществляющего контроль системами мультифункциональной платформы" была представлена модификация прошивки на базе Marlin, позволяющая осуществлять контроль системами принтера, такими как температурное регулирование, охлаждение, перемещение платформы и печатающей головки, а также системы подачи жидкости.

В процессе разработки программного обеспечения были выполнены следующие шаги:

- анализ требований: были определены основные требования к системе контроля и разработаны функциональные и нефункциональные спецификации.
- проектирование архитектуры: была разработана архитектура программного обеспечения, определены основные компоненты и их взаимодействие.
- разработка и интеграция: был выполнен кодирование и тестирование различных модулей системы, а затем их интеграция в единую систему.
- тестирование и отладка: были проведены общее тестирование системы и анализ результатов для выявления дефектов и проблем.
- улучшение и оптимизация: были выполнены работы по устранению выявленных проблем, исправлению дефектов, оптимизации производительности и улучшению функциональности системы.

В результате разработки программного обеспечения была создана система, обеспечивающая контроль системами мультифункциональной платформы с высокой точностью и эффективностью, её прототип представлен на рисунке 27.



Рисунок 27 – Прототип мультифункциональной платформы

Это позволяет осуществлять печать различных объектов с использованием различных материалов и контролировать параметры печати, такие как температура, охлаждение, перемещение и подача жидкости.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8Т92	Рачковский Святослав Максимович

Школа	ИШИТР	Направление/ООП	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли
Уровень образования	Бакалавриат		

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Мультифункциональная платформа предназначена для научных исследований в области медицины, биомедицинской технологии, медицинского материаловедения, а также для печати биомедицинских изделий в качестве протезов для людей и животных.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Программное обеспечение для многофункциональной платформы для изготовления биомедицинских изделий будет оформлено в виде Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, так как разрабатываемое программное обеспечение является интеллектуальной собственностью разработчиков и подлежит коммерческой реализации вместе с поставляемым устройством
<i>Объем и емкость рынка</i>	Реально достижимый объем рынка в России составляет 830 штук, ёмкость рынка 531 200 000 рублей
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Рынок аддитивных технологий растет во всем мире. В России на данный момент рынок аддитивных технологий является открытым, является растущим в связи с импортозамещением
<i>Себестоимость продукта</i>	250 179 руб.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта и Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	<ul style="list-style-type: none"> – цена; – доступность на отечественном рынке; – простота в установке; – простота в использовании
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	<ul style="list-style-type: none"> – специализированные медицинские учреждения; – частные медицинские клиники; – научно-исследовательские центры

<i>Бизнес-модель проекта, производственный план и план продаж</i>	Модель по А. Остервальдеру
<i>Стратегия продвижения продукта на рынок</i>	Продукт является узкоспециализированным, стратегия продвижения продукта: <ul style="list-style-type: none"> – выход на потребителя напрямую и предложение товара; – участие в конференциях и выставках по соответствующей тематике; – бесплатное предоставление платформы потенциальным потребителям на пробный период
Перечень графического материала:	
	Бизнес-модель по А. Остервальдеру, таблицы затрат и расчета точки безубыточности.

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	03.02.2023
--	------------

Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н.В.			03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Рачковский Святослав Максимович		

6 Концепция стартап-проекта

6.1 Описание продукта как результат НИР

Идея проекта заключается в разработке мультифункциональной платформы для экструзионной печати жидкостями и полярными-неполярными растворами по технологии InkJet с целью послойной 3D печати функциональных биомедицинских изделий. Данный продукт будет дополнен разработкой уникального программного обеспечения для мультифункциональной платформы, предназначение которого заключается в управлении платформой в режиме реального времени и удалённо.

Целью проекта является проработка концепции стартап-проекта для вывода продукта в области 3D печати на рынок.

6.2 Основные качества продукта, решаемая продуктом проблема

Мультифункциональная платформа предназначена для научных исследований в области медицины, биомедицинской технологии, медицинского материаловедения, а также для печати биомедицинских изделий в качестве протезов для людей и животных.

Основные характеристики разрабатываемого продукта: количество печатающих головок – 2 шт., максимальная температура печатающей головки – 150°C, толщина между слоями – 100 мкм, размеры поля печати – 150x150x150, потребляемая мощность – 600 Вт.

Чтобы полностью понять ключевую проблему, «боль» клиента», был разработан ряд вопросов по методу Customer Development. Выборка включает в себя 5 респондентов, которые работают в сфере 3D-печати в медицинской и биомедицинской отрасли. Такая небольшая выборка связана с тем, что продукт не является товаром массового потребления и были выбраны узкоспециализированные учреждения Томска, которые могли ответить на данные вопросы. Были заданы вопросы, позволяющие понять, нужен ли данный продукт медицинским учреждениям, научно-исследовательским центрам, готовы ли они его приобретать и на что они бы обратили основное внимание при покупке данного продукта:

– как вы относитесь к внедрению цифровых технологий в медицину?

– как вы считаете, пригодится ли медицинским учреждениям мультифункциональная платформа?

– на что вы бы обратили внимание в первую очередь при покупке 3D принтера?

– отсутствие аналогов на отечественном рынке является плюсом данной разработки?

В ходе опроса были получены следующие ответы:

– 5 из 5 респондентов ответили, что положительно относятся к внедрению цифровых технологий в медицину и что это необходимо развивать.

– 5 из 5 респондентов ответили, что данная мультифункциональная платформа необходима медицинским учреждениям.

– 3 из 5 респондентов выделили следующие факторы:

- 1) наличие обратной связи;
- 2) замена комплектующих и ремонт оборудования;
- 3) точность и скорость печати.

2 из 5 воздержались от ответа, так как ранее они не имели дело с мультифункциональными платформами и/или 3D-принтерами и поэтому не ответили на данный вопрос.

– 3 из 5 респондентов ответили, что отсутствие аналогов на отечественном рынке является плюсом данной разработки. Остальные два ответили, что отсутствие аналогов является плюсом и минусом, так как не с чем сравнивать данный продукт.

Исходя из полученных данных, были определены проблемы, которые решает разрабатываемый продукт: продукт будет востребованным среди медицинских учреждений, так как не имеет аналогов на отечественном рынке, также он позволит производить печать биомедицинских изделий с

высокими параметрами точности и скорости печати, а также будет обладать возможностью замены комплектующих и ремонта оборудования.

6.3 Защита интеллектуальной собственности

Разрабатываемое программное обеспечение для Многофункциональной платформы для изготовления биомедицинских изделий, будет оформлено в виде Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, так как разрабатываемое программное обеспечение является интеллектуальной собственностью разработчиков и подлежит коммерческой реализации вместе с поставляемым устройством. Будет подана заявка на регистрацию программы для ЭВМ, после чего программное обеспечение будет регулироваться сразу несколькими актами - частью четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации, а также федеральными законами № 98-ФЗ от 29 июля 2004 года «О коммерческой тайне», № 149-ФЗ от 27 июля 2006 года «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», № 135-ФЗ от 26 июля 2006 года «О защите конкуренции», а также Кодексом об административных правонарушениях РФ, Уголовным кодексом РФ и другими. Тема заявки: «Программное обеспечение для управления мультифункциональной платформой».

Основными областями применения разрабатываемой мультифункциональной платформы являются наука и медицина. Данная платформа позволит проводить как фундаментальные исследования в областях биотехнологии, медицинского материаловедения, так и изготавливать медицинские изделия для проведения доклинических и клинических исследований.

6.4 Объём и ёмкость рынка

Ёмкость рынка — это потенциальный спрос на продукт в конкретном месте за отдельный период. При расчете этого показателя нужно учитывать особенности выбранной отрасли, полноту источников информации и точность расчета.

Ключевой областью применения мультифункциональной платформы будут являться научные исследования в области биомедицины, медицины и биотехнологии. С использованием платформы планируется проведение исследований по разработке новых материалов на основе природных глубоких эвтектических растворителей, биополимеров, биоразлагаемых полимеров, белков и лигандов для 3D печати тканеинженерных скаффолдов и изготовления капсул-носителей биоактивных молекул. Мультифункциональная платформа позволит проводить как фундаментальные исследования микрофлюидных процессов, лежащих в основе ультразвукового ионизационного распыления, так и прикладные исследования по изготовлению функциональных биомедицинских изделий.

Рынок, на который будет ориентирована данная разработка, является рынок B2B.

Целевая аудитория предлагаемого продукта:

1. Специализированные медицинские учреждения;
2. Частные медицинские клиники;
3. Научно-исследовательские центры.

Сегментирование рынка представлено на рисунке 28.

Распределение категорий по каждому сегменту



Рисунок 28 – Сегменты рынка

На этапе анализа объёма и ёмкости рынка рассмотрим рынок России, а не отдельных регионов. Так как предполагаемыми потребителями данной разработки являются специализированные медицинские учреждения, частные медицинские клиники и научно-исследовательские центры, то расчёты будут представлены, опираясь на данные по этим отраслям.

По данным на июль 2022 г. количество частных медицинских клиник составило около 10 тысяч, для удобства примем в расчёт цифру 10 тысяч.

По данным на 2022 г. зарегистрировано 5065 специализированных медицинских учреждений в различных регионах России, для расчёта принимаем значение 5000.

По данным на 2021 г. количество научно-исследовательских центров в России составляет около 1600, примем значение 1600.

Суммируя количество всех предполагаемых покупателей, получаем значение объёма рынка 16 600.

Для расчёта покупательной способности возьмём вероятный прогноз, согласно которому доля покупателей от общего числа составит 5 %. Тогда получим следующие данные: 830 предприятий из России готово приобрести данный продукт, что является неплохим результатом для старта. Оценка объёма рынка представлена на рисунке 29.



Рисунок 29 – Оценка объёма рынка с помощью метода «сверху вниз»
Зная примерную стоимость продукта, можно посчитать емкость рынка в рублях.

Ёмкость рынка равняется 531 200 000 рублей.

6.5 Анализ современного состояния и перспектив отрасли

Мировой рынок аддитивных технологий с 2014 по 2020 годы рос со среднегодовыми темпами в 19,3 %, достигнув к 2020 году объема почти в 12 млрд долл. Согласно отчету GlobalData, в настоящее время на долю рынка 3D-печати приходится менее 0,1 % от общего мирового производственного рынка, который оценивается в 12,7 трлн долл, состояние и прогноз объема мирового рынка аддитивных технологий представлен на рисунке 30.

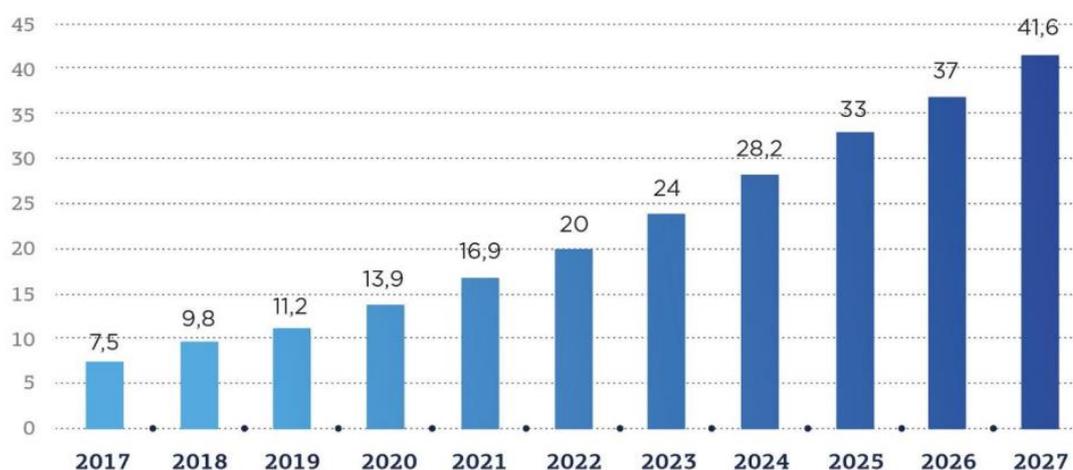


Рисунок 30 – Состояние и прогноз объема мирового рынка аддитивных технологий, млрд долл.

Прежде всего, как и в настоящее время, прогнозируется активный рост мировых разработок и внедрения аддитивных технологий в авиакосмической, медицинской и оборонной отраслях, электронике и автомобильной промышленности. На рисунке 31 отображен уровень внедрения 3D-печати по отраслям к 2025 году, где видно, что медицинское оборудование имеет высокий показатель.

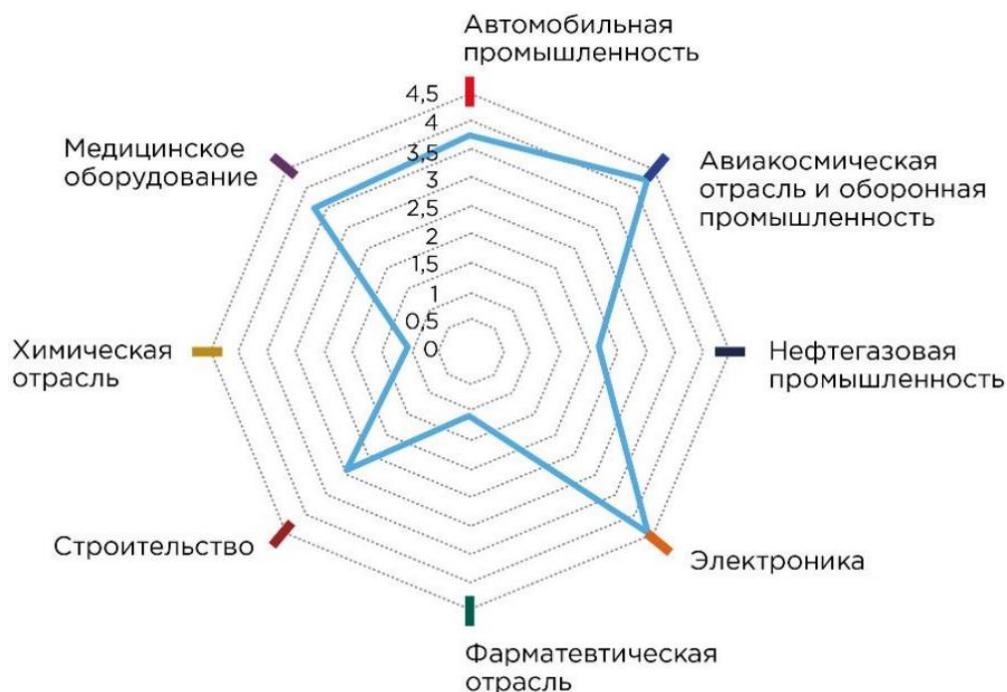


Рисунок 31 – Уровень внедрения 3D-печати по отраслям к 2025 году

Прогнозируется также, что самыми крупными областями применения аддитивных технологий будут аэрокосмическая и оборонная промышленность. Следом активно будет развиваться аддитивное производство в сфере автомобильной промышленности, а также стоматологии и производстве медицинских имплантов. В совокупности все указанные отрасли будут занимать более 50 % рынка. Прогноз отраслевой сегментации рынка аддитивных технологий к 2025 году представлен на рисунке 32.

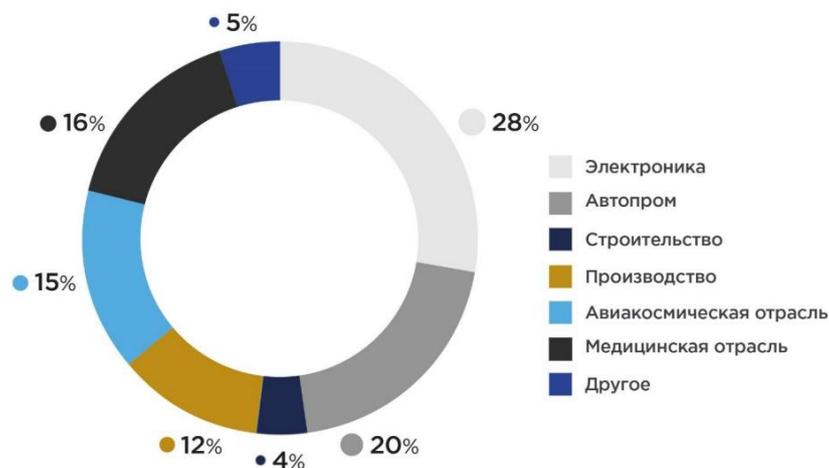


Рисунок 32 – Прогноз отраслевой сегментации рынка аддитивных технологий к 2025 году

Согласно прогнозам, к 2025 году глобальный рынок 3D-печати достигнет 32 млрд долл., а к 2030 году - 60 млрд долл. Так, компания Statista публикует оценку в 40,8 млрд долл. к 2024 году. Fortune Business Insights ожидает, что рынок будет расти со среднегодовыми темпами 25,8 % и достигнет 51,8 млрд долл. к 2026 году. Ещё более высоких темпов в 29,5 % ежегодно до 2025 года и достижение объемов в 63,5 млрд долл. ожидает Mordor Intelligence. MarketsAndMarkets прогнозирует объем рынка 3D-печати в 34,8 млрд долл. к 2024 году.

Сегодня Россию никак нельзя назвать лидером в этой сфере. Доля России составляет всего 2 %, страна находится на 11 месте в мире по производству и внедрению аддитивных технологий. Однако рынок 3D-печати в России за последние 8 лет вырос в 10 раз, совокупные продажи оборудования, материалов и услуг в области аддитивного производства (включая НИОКР) выросли до 4,5 млрд руб. в год. На закупку оборудования, допоборудования и материалов приходится около 80 % объемов рынка. В целом, в настоящее время на российском рынке аддитивных технологий отечественное оборудование занимает порядка 42 %, иностранное оборудование – около 60 %. Таким образом, в данной сфере снизилась импортозависимость с 96 % до 60 %.

Сегментация рынка аддитивных технологий в России происходит в соответствии с мировыми трендами. Тем не менее, процесс внедрения аддитивного производства в сферу электроники в отличие от европейских стран имеет низкие темпы. В наибольшей степени аддитивные технологии внедряются в авиакосмическую и автомобильную отрасли, в частности, аддитивное производство связано с печатью деталей металлическими порошками. По данным Минпромторга РФ, на авиакосмическую отрасль приходится порядка 30 % всего производства с применением аддитивных технологий. Отраслевая структура российского рынка технологий аддитивного производства в 2022 г. представлена на рисунке 33.



Рисунок 33 – Отраслевая структура российского рынка технологий аддитивного производства в 2022 г.

Среди основных тенденций развития российского производства – расширение номенклатуры изготавливаемых изделий, возможность к экономически обоснованному переходу от массового к мелкосерийному производству, экономия площадей, непрерывная печать, экономия труда, сокращение производственного цикла, экономия электроэнергии, возможность удовлетворения индивидуальных потребностей заказчика (кастомизация).

С недавних пор объединением и координацией российских компаний аддитивной отрасли занялась госкорпорация «Росатом». В частности, 10 июля 2019 г. Правительство Российской Федерации и «Росатом» подписали соглашение в целях развития в Российской Федерации высокотехнологической области «Технологии новых материалов и веществ». Также в развитии аддитивных технологий принимают участие «Ростех», «Роскосмос», ФГУП «ВИАМ» и другие крупные компании. Правительством совместно с бизнесом 28 апреля 2020 г. разработана «дорожная карта» развития аддитивных технологий до 2030 года. И эксперты полагают, что при реализации всех мер из «дорожной карты» Россия к 2030 году может войти в пятерку ведущих игроков мирового рынка 3D-печати.

Исходя из этой статистики можно сделать вывод, что в России на данный момент рынок аддитивных технологий является открытым и с

каждым годом он будет расширяться, а игроков на рынке станет всё больше. А акцент в производстве следует сделать на таких вещах как: расширение номенклатуры изготавливаемых изделий, экономия площадей, непрерывная печать, экономия труда, экономия электроэнергии, возможность кастомизации.

6.6 Расчёт стоимости продукта

Первым этапом для расчёта стоимости продукта стал расчёт затрат на изготовление прототипа и разработку программного обеспечения. Срок разработки и изготовления прототипа равен 6 месяцам.

Затраты на заработную плату специалистов по разработке продукта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Затраты на изготовление прототипа и ПО

Сотрудники	Кол-во, чел.	Оклад в месяц, руб.	Сумма затрат на з/п, руб.	Отчисления в соц. фонды, руб. (30 %)	Итого	Итого за 6 месяцев
Конструктор	1	20 000	20 000	6 000	26 000	156 000
Электротехник	1	20 000	20 000	6 000	26 000	156 000
Программист	1	20 000	20 000	6 000	26 000	156 000
ИТОГО					78 000	468 000

Сумма затрат на оплату труда специалистам, занятым разработкой прототипа и разработкой программного обеспечения составляет 468 000 руб.

Следующим шагом является расчёт единовременных первоначальных затрат с учётом затрат на патентование, сумма этих затрат составила 129 000 руб. Расчёт единовременных первоначальных затрат представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Единовременные первоначальные затраты

Наименование показателя	Кол-во, шт.	Сумма с НДС, руб.
Компьютер с комплектующими	1	70 000
Паяльная станция	1	5 000
Набор инструментов	1	1 000
Шуруповёрт	1	3 000
Затраты на патентование 1. Патент на полезную модель 2. Патент на ПО	2	50 000
ИТОГО		129 000

Расчет материальных затрат на изготовление 1 единицы продукции представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

№ п/п	Наименование	Кол-во для одной платформы, шт.	Стоимость для одной платформы, руб.
1	Шаговые двигатели	8	3 600
2	Набор Arduino Mega 2560	1	2 400
3	Провода	300	600
4	Дисплей	1	1 200
5	Датчики температуры и влажности	1	240
6	Корпус конструкции	1	10 000
7	Электрический блок с платами	1	10 000
8	Блок питания	1	2 000
9	Шнур питания	1	200
10	Болты	100	700
11	Валы	4	30 000
12	Дисплей	1	200
13	Датчики температуры и влажности	1	200
14	ИТОГО		61 340

Итого материальные затраты на одну мультифункциональную платформу составляют 61 340 руб.

С учетом проведенного расчета затраты на разработку платформы, изготовление прототипа и ПО составили 658 340 рублей.

Изготовление платформы будет разделено на стадии: изготовление прототипа, мелкосерийное производство и запуск масштабного производства. На первоначальном этапе планируется рассмотреть мелкосерийное производство.

Следующий шаг включал в себя расчёт заработной платы сотрудников в месяц, расходы составили 156 000 руб. в месяц. Расчёты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт затрат на заработную плату персонала

Персонал	Кол- во, чел.	Оклад, руб.	Сумма затрат на з/п, руб.	Отчисления в соц. Фонды 30 %, руб.
Конструктор	1	20 000	20 000	6 000
Электротехник	1	20 000	20 000	6 000
Сборщик	2	20 000	40 000	12 000
Директор	1	40 000	40 000	12 000
Итого	5	-	120 000	36 000

Продолжение таблицы 8 – Расчёт затрат на заработную плату персонала

Итого	156 000
--------------	----------------

Для расчета себестоимости единицы продукции определим амортизационные отчисления оборудования и инструментов с учетом их срока полезного использования. Срок полезного использования компьютера – 5 лет, паяльной станции – 3 года, инструмента и шуруповёрта – 1 год. Амортизационные отчисления составят: 1639 руб. в месяц, 19 997 руб. в год.

Примем накладные расходы в размере 20 % от фонда оплаты труда.

На первоначальном этапе планируется производить 12 мультифункциональных платформ в год, исходя из этого в таблице 9 представлен расчет себестоимости изготовления 1 мультифункциональной платформы.

Таблица 9 – Себестоимость изготовления одной мультифункциональной платформы

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	61 340
2. Затраты по заработной плате	156 000
3. Амортизация	1 639
4. Накладные расходы	31 200
Итого	250 179

Исходя из проведенного расчета себестоимость изготовления одной многофункциональной платформы составит 250 179 рублей.

6.7 Конкурентные преимущества продукта и обзор технико-экономических характеристик аналогов

Основными конкурентными преимуществами продукта являются цена, доступность на отечественном рынке, простота в установке и использовании. Многофункциональная платформа будет базироваться на трёхмерной подвижной механике, применяемой в ЧПУ и станках и 3D принтерах. Платформа будет иметь две поочередно печатающих головы для печати композиционных изделий, а также будет разработан специальный крепёж с учётом модульности для быстроты замены печатающих головок комплектующих для реализации многофункционального использования и

последующего расширения функционала. Для получения микрокапсул и микрочастиц будет реализован микрофлюидный (микрогидродинамический) процесс осаждения «чернил» в жидкие среды в контролируемом потоке защитного газа.

На мировом рынке присутствуют следующие аналоги: принтер 3D Bioplotter - компания EnvisionTEC, принтер INKREDIBLE - компания CELLINK, принтер BIO X - компания CELLINK. В таблице 10 представлены сравнительные характеристики разрабатываемого продукта и аналогов.

Таблица 10 – Сравнение с аналогами 3D Bioplotter, INKREDIBLE, BIO X

Наименование	3D Bioplotter	INKREDIBLE	BIO X	Разрабатываемая платформа
Количество печатающих головок, шт.	1	2	3	2
Максимальная температура печатающей головки, °С	150	130	250	150
Толщина между слоями, мкм	100	100	100	100
Размеры поля печати, мм	150x150x140	130x80x100	130x90x70	150x150x150
Потребляемая мощность, Вт	1000	500	1200	600
Стоимость, руб.	13 000 000	700 000	6 000 000	640 000

Сравнивая ключевые характеристики аналогов, можно сделать вывод, что мультифункциональная платформа обладает оптимальным набором характеристик, то есть, является лучшим вариантом по критерию цена-качество в сравнении с конкурентами.

6.8 Бизнес-модель проекта. Производственный план. План продаж

На первоначальном этапе мелкосерийного производства план производства многофункциональной платформы составляет 12 штук в год. Цена платформы предполагается в размере 640 000 рублей. В таблице 11 представлен бюджет проекта.

Таблица 11 – Бюджет проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
Первоначальные затраты	129 000

Продолжение таблицы 11 – Бюджет проекта

Постоянные расходы в год (оплата труда, включая страховые взносы, накладные расходы, амортизацию)	2 266 068
Переменные затраты на 1 единицу	61 340
Цена 1 единицы	640 000
Выручка, в год	7 680 000
Прибыль до налогообложения	4 548 825
Прибыль после налогообложения	3 639 081

Определим точку безубыточности как минимальное количество платформ, которые необходимо производить и продавать в год, чтобы можно было покрыть издержки.

Точка безубыточности – это отношение постоянных затрат к разнице цены продукта и переменным затратам на 1 единицу продукции. Таким образом получаем, что точка безубыточности в натуральном и стоимостном выражении составит:

Точка безубыточности (в натуральном выражении) = 4 шт.

Точка безубыточности (в стоимостном выражении) = 2 560 000 руб.

В качестве модели коммерческих отношений взята модель В2В. Предполагаемыми покупателями являются университеты, специализированные предприятия и медицинские клиники, занимающихся разработкой и производством имплантатов. Принцип организации бизнеса будет заключаться в том, что между заинтересованным лицом и производителем заключается договор о купле продаже multifunctional платформы для экструзионной печати жидкостями и полярными-неполярными растворами по технологии InkJet. Планируется привлечение институтов развития и инкубаторов стартап проектов, перечень которых будет актуализироваться и уточняться. В данный момент заинтересованными лицами в покупке данной multifunctional платформы являются компании Эндопринт - «Инновационно-Технологическая Компания Эндопринт» («ИТК Эндопринт») – первое Российское предприятие, реализующее возможности 3D-проектирования и аддитивных технологий для изготовления индивидуальных имплантатов,

применяемых при лечении пациентов в сложнейших случаях, а также компания ООО «Современные технологии» (Bestfilament) - крупнейший российский производитель качественных расходных материалов для 3D-печати.

На основе этих данных была построена бизнес-модель по методологии А. Остервальдера, которая отражена в таблице 12.

Таблица 12 – Бизнес-модель проекта по А. Остервальдеру

Ключевые партнеры	Ключевые виды деятельности	Ценностные предложения	Взаимоотношения с клиентами	Потребительские сегменты
«ИТК Эндопринт», ООО «Современные технологии»	Производство и продажа продукта	Постоянная обратная связь с партнёрами, а также наличие уникального продукта на отечественном рынке, аналогов которому не существует	Поддержка в режиме онлайн, постоянная обратная связь как по телефону, так и через интернет	Нишевый потребительский сегмент – научно-исследовательские центры, частные клиники, специализированные медицинские учреждения
	Ключевые ресурсы Материальные – материалы для сборки платформы Интеллектуальные – патент ПО, патент на полезную модель Трудовые – команда для работы над платформой		Каналы сбыта Прямые каналы сбыта – интернет-магазины и продажа через ключевых партнёров	
Структура издержек В проекте будет два вида издержек. Постоянные издержки: Заработная плата сотрудников, амортизационные отчисления, накладные расходы Переменные издержки: Материальные затраты			Потоки поступления доходов Основным потоком поступления доходов является получение прибыли от разовой сделки.	

6.9 Стратегия продвижения продукта на рынок

Для продажи многофункциональной платформу необходимо выходить на своего потребителя напрямую и предлагать товар – прямые продажи. Так как продукт является узконаправленным, то планируется его продвижение на

конференциях и выставках по соответствующей тематике. Также предполагаемым вектором продвижения является бесплатное предоставление мультифункциональной платформы потенциальным потребителям на пробный период, который равен 1-му месяцу.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8Т92	Рачковский Святослав Максимович

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объект исследования:</i> мультифункциональная платформа для экструзионной с системой управления. <i>Область применения:</i> медицина, биомедицинская технология, медицинское материаловедение. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 10*8 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> паяльная станция, рабочие инструменты, персональный компьютер. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль температуры платформы, регулирование шаговых двигателей.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022); 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования» 4. ГОСТ 7219-83. Электропаяльники бытовые. Общие технические условия.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с ожогами, возникающие при контакте человека без средств защиты с включённой паяльной станцией; – производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов. <p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с электромагнитными излучениями;

	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – повышенный уровень шума; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – удобное посадочное место – источник искусственного освещения – изоляция электроники от попадания влаги, пыли – наличие и использование средств защиты при работе с паяльной станцией
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	<p>Воздействие на литосферу: утилизация бытовых отходов при поломке оборудования.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы углекислого газа в атмосферу, как следствие использования приборов, потребляющих электроэнергию.</p> <p>Воздействие на гидросферу: отсутствует</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	<p>Возможные ЧС: аварии на электроэнергетических объектах, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения, обрушение здания, пожар.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	03.02.2023 г.
--	---------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			03.02.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Рачковский Святослав Максимович		03.02.2023 г.

7 Социальная ответственность

7.1 Введение

Разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента. Выпускная квалификационная работа заключается в создании опытного образца, способного производить 3D печать.

В качестве потребителя результатов проведенной разработки выступает компания ООО «Современные технологии» (Bestfilament) - крупнейший российский производитель качественных расходных материалов для 3D-печати. Возрастная категория потребителей – выше 18 лет, так как потребителями являются университеты, специализированные предприятия и медицинские клиники, занимающиеся разработкой и производством имплантатов.

Разработка мультифункциональной платформы проводилась в Томске. Она включает в себя разработку чертежей, сборочные работы, а также разработку программного обеспечения для управления системами мультифункциональной платформы.

В данном разделе проведен анализ вредных и опасных факторов труда, определен комплекс мер организационного, правового, технического и режимного характера, который должен способствовать снижению возможности возникновения негативных последствий работы разработчика.

Рабочее место представляет собой лабораторию, в которой работает разработчик. В лаборатории имеются такое оборудование для разработки как паяльная станция – 1 шт., рабочие инструменты (отвёртка, гаечный ключ, плоскогубцы, молоток) – 1 шт. и персональный компьютер – 1 шт.

Характеристика помещения:

- ширина – 10 м, длина – 8 м, высота – 3 м;
- площадь – 80 м²;

- объем – 240 м³;
- в помещении имеется естественная вентиляция – вытяжное вентиляционное отверстие, дверь, окно, щели;
- в помещении установлено искусственное освещение, имеется естественное освещение.

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Конституция РФ является основным законом Российской Федерации. Она имеет высшую юридическую силу, прямое действие и применяется на территории всей страны.

Согласно статье 37 главы 1 Конституции РФ, каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, каждый имеет право на отдых.

Трудовой Кодекс РФ устанавливает права и обязанности работника и работодателя, регулирует вопросы охраны труда, трудоустройства, правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров и другое.

Согласно статье 108 Трудового Кодекса РФ «Перерывы для отдыха и питания», в течение рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

Согласно статье 212 Трудового Кодекса РФ «Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда», работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, оборудования, осуществлении технологических процессов, применяемых материалов;
- создание и функционирование системы управления охраной труда;

Согласно статье 219 Трудового Кодекса РФ «Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда», каждый работник имеет право на:

- соответствующее требованиям охраны труда рабочее место;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, мерах защиты от воздействия вредных и опасных факторов производства;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда до устранения такой опасности.

ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда содержит требования, по которым должна производиться организация рабочего места при выполнении работы. Рабочее место при выполнении работ сидя» и соблюдением трудовых норм, регулируемых Трудовым кодексом РФ.

Согласно требованиям ГОСТ 12.2.032-78:

- конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.
- высота рабочего стола с клавиатурой должна составлять 680 - 800 мм над уровнем пола;
- высота экрана над полом – 900-1280 мм, монитор должен находиться в 600-700 мм от работника на 20 градусов ниже уровня глаз;

ГОСТ 21889 - «Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования» содержит требования, предъявляемые к креслу человека-оператора.

Согласно требованиям ГОСТ 21889-76:

- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности.

- кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника.

ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места» содержит требования, предъявляемые к рабочему месту человека-оператора.

Согласно требованиям ГОСТ 22269-76:

- взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

- взаимное расположение элементов рабочего места должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий.

ГОСТ 7219-83. Электропаяльники бытовые. Общие технические условия

содержит требования, предъявляемые к рабочему месту человека.

Согласно требованиям ГОСТ 7219-83:

- рабочая температура паяльного стержня должна быть в пределах: 250—400°С — для электропаяльников типов ЭПЦН, ЭПЦНТ, ЭПСН и ЭПСНТ; не более 500°С — для электропаяльников типов ЭПСИ и ЭПСФ.

- электропаяльники типа ЭПСИ должны иметь переключатель и лампочку подсвета места пайки.

- ручки электропаяльников должны обеспечивать безопасность во время работы.

- электропаяльники должны быть снабжены соединительным шнуром рабочей длиной не менее 1,5 м. Длину шнура измеряют от основания вилки до ввода в электропаяльник.

– установленная безотказная наработка электропаяльников непрерывного и форсированного нагрева должна быть не менее 700 ч, электропаяльников импульсного нагрева — не менее 1700 циклов «включено—выключено». Средняя наработка на отказ электропаяльников непрерывного и форсированного нагрева должна быть не менее 2200 ч, электропаяльников импульсного нагрева — не менее 5500 циклов. Установленный срок службы — не менее 8 лет. Среднее время восстановления — не более 0,5 ч.

На рабочем месте, предоставленном для работы с выпускной работой, были учтены и соблюдены все требования по организации труда.

7.2 Производственная безопасность

В процессе работы химические и биологические факторы не оказывают влияния на состояние здоровья. В ходе раздела рассматриваются физические и психофизиологические факторы.

К вредным и опасным производственным факторам относятся:

- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- нарушение правил электробезопасности;

Таблица 12 – Возможные опасные и вредные факторы производственные факторы на рабочем месте за персональным компьютером и при работе с паяльной станцией.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Производственные факторы, связанные с электромагнитными излучениями;	СанПиН 1.2.3685-21
2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016
3. Повышенный уровень шума;	СанПиН 1.2.3685-21

Продолжение таблицы 12 – Возможные опасные и вредные факторы производственные факторы на рабочем месте за персональным компьютером и при работе с паяльной станцией.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
4. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.019-2017
5. Производственные факторы, связанные с ожогами, возникающие при контакте человека без средств защиты с включённой паяльной станцией	ГОСТ ИЕС 60335-2-45-2014

7.3.1 Анализ опасных и вредных факторов и обоснование мероприятий по снижению их воздействия

7.3.1.1 Производственные факторы, связанные с электромагнитными излучениями

Персональный компьютер подвергает пользователя вредному электромагнитному излучению. Электромагнитное излучение компьютера изменяется в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц. Такое излучение состоит из электрической и магнитной составляющих.

При длительном воздействии электрических полей у работников отличаются субъективные расстройства в виде жалоб невротического характера (головные боли, ухудшение памяти, повышенная утомляемость, ощущение вялости, разбитость, раздражительность, боли в области сердца, расстройства сна и т.д.), проявляющиеся к концу рабочей смены. Одним из первых проявлений профессиональной патологии являются функциональные нарушения в деятельности нервной и сердечно-сосудистой систем.

Норма допустимых уровней напряженности полей и излучений регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах". Согласно установленным нормам, время пребывания работника в рабочей зоне

вычисляется по формуле:

$$T = (50/E) - 2.$$

Время пребывания в рабочей зоне составляет примерно 8 часов в день. На рабочем месте уровень напряженности электрических полей не выше 4 кВ/м. При котором разрешенное время пребывания в рабочей зоне может составлять до 10,5 часов. Следовательно, уровень электромагнитных излучений на рабочем месте в норме.

7.3.1.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны возникает вследствие отсутствия должного количества источников освещения в рабочей зоне и снижает работоспособность, значительно влияет на здоровье работников, а именно на их качество зрения.

В СП 52.13330.2016 зрительная работа сотрудника, работающего с персональным компьютером, охарактеризована как работа разряда Б – высокой точности, подразряда 1. В таблице 13 представлены требования к освещению рабочего помещения для вышеуказанного разряда.

Таблица 13 – Требования к освещению рабочего помещения для разряда Б1.

Освещенность на рабочей поверхности от системы	Цилиндрическая освещенность, лм	Объединенный показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации освещенности Кп, %, не более
300	100	21	15

Для снижения влияния фактора недостаточной освещенности на рабочем месте необходимо, чтобы уровень естественного освещения и яркость экрана персонального компьютера были приблизительно одинаковыми, так как яркий свет в зоне периферийного зрения заметно увеличивает глазное напряжение и приводит к быстрой утомляемости. Путем решения проблемы недостаточной освещенности помещения может стать установка качественных источников искусственного освещения.

7.3.1.3 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума на рабочем месте обусловлен

использованием персональных компьютеров, наличием центральной системы вентиляции и кондиционирования воздуха. В процессе длительной работы за персональным компьютером пользователю становится сложнее слышать, работоспособность снижается и повышается утомляемость.

Ниже представлены предельно допустимые уровни шума в таблице 14, которые представляют собой шум в рабочей зоне на рабочих местах. При сокращенном рабочем дне (менее 40 ч в неделю) ПДУ применяется без изменения., описанные в пункте 36 СанПиН 1.2.3685-21.

Таблица 14 – Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах.

Эквивалентные уровни шума, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Эквивалентный общий уровень шума, дБ	Максимальный текущий общий уровень шума, дБ
2	4	8	16		
100	95	90	85	100	120

Существуют следующие пути уменьшения воздействий шума: экранирование рабочих мест; чистка оборудования от пыли, т.к. любое оборудование при загрязнении увеличивает уровень шума.

7.3.1.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий прибор

Наличие большого количества электрических приборов и вычислительных машин на рабочем месте обуславливают важность электробезопасности на производстве.

При работе с электроприборами необходимо соблюдать технику безопасности. Общие правила по электробезопасности регламентируются ГОСТ 12.1.019-2017.

Серьезной проблемой является опасность поражения электрическим током. Человеческие органы чувств не могут обнаружить наличие электрического напряжения на расстоянии.

При повышенной влажности (относительная влажность воздуха выше 75 %) возрастает риск поражения электрическим током. Высокая температура воздуха и поверхностей (более 35 °С) также повышает

вероятность распространения электрического тока. Наличие токопроводящей пыли и токопроводящих полов повышает риск поражения электрическим током.

Также существует риск возникновения опасности:

- при прикосновении к токоведущим частям (во время ремонта ПК);
- при прикосновении к нетоковедущим частям, которые оказались под напряжением (при нарушении изоляции);
- при соприкосновении с полом или стенами, оказавшимися под напряжением (при нарушении электрической сети);
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках.

Место, в котором выполнялась работы, не относится к помещениям повышенной опасности электропоражения. В помещении используются стандартные бытовые приборы, потребляющие напряжение 220 В переменного тока с частотой 50 Гц.

Для предотвращения возникновения опасных ситуаций обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы необходимо убедиться, что выключатели и розетки закреплены и не имеют оголенных токоведущих частей;
- взаимодействовать с электроприборами исключительно сухими руками;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов, необходимо сообщить ответственному лицу, не делая никаких самостоятельных исправлений;
- запрещено загромождать рабочее место лишними предметами.

7.3.1.5 Производственные факторы, связанные с ожогами, возникающие при контакте человека без средств защиты с включённой паяльной станцией

Паяльные пистолеты и инструменты для резки пластмасс, имеющие

выключатель с самовозвратом, работают циклично в соответствии с инструкциями, они должны включаться не менее чем на 12с с периодами покоя, не превышающими 48 с. Для паяльных пистолетов период включения является таким, чтобы температура жала достигла не менее 300 °С в конце первого периода включения.

Инструкции для паяльных пистолетов должны включать в себя информацию следующего содержания:

- убедитесь, что инструмент для поджига расположен правильно;
- отключите инструмент для поджига перед извлечением инструмента из огня;
- дайте инструменту для поджига остыть перед хранением;
- не дайте горячим частям инструмента для поджига коснуться шнура или других горючих материалов.

7.4 Экологическая безопасность

Раздел «Экологическая безопасность» включает в себя данные о характере воздействия проектируемого решения на окружающую среду в процессе эксплуатации.

Разработка проектного решения экологически безопасна, однако может косвенно влиять на атмосферу, так как работа компьютера связана с потреблением электроэнергии и нагревом аппаратных средств.

Электроэнергия вырабатывается на ТЭС, где сжигаются углеродные соединения. Компьютер, который использовался для разработки системы, потребляет около 85 Ватт электроэнергии в час. Энергоблок 200 МВт потребляет 90 тонн угля в час. За час работы над проектным решением сжигается 40г угля в час. Если работа над проектным решением заняла 30 дней при работе 4 часа в день, то за все время работы было сожжено 4 кг 800 г угля. Соответственно выброс CO₂ в атмосферу составит около 9 кубических метров.

Этот показатель не является существенным, однако для сокращения влияния на атмосферу и экономии денежных средств следует выключать компьютер в нерабочее время.

Утилизация бытовых отходов при поломке оборудования, разрабатываемого устройства оказывает воздействие на литосферу, а выбросы углекислого газа в атмосферу, как следствие использования приборов, потребляющих электроэнергию, оказывают воздействие на атмосферу.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайной ситуацией называется обстановка, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы или другого бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Пожар – наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией для представленного рабочего помещения. Нарушение техники использования электрических приборов и ПК, нарушениях разводки электрических сетей и ряда других причин могут привести к пожару.

Рабочее помещение, представленное для выполнения выпускной квалификационной работы, согласно СП 12.13130.2009, можно отнести к категории В (пожароопасное). П. 5 категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Главные причины возникновения пожара:

- короткое замыкание;
- перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции;
- запуск оборудования после некорректного ремонта.

Чтобы обеспечить состояние защищенности пользователя и имущества от пожара, необходимо соблюдать правила пожарной безопасности.

Для защиты от коротких замыканий и перегрузок необходимо правильно выбирать, устанавливать и использовать электрические сети и средства автоматизации.

Для предупреждения возникновения пожаров необходимо исключить образование горючей среды, удостовериться в несгораемости и трудносгораемости материалов, примененных при строительстве и отделке помещений, проверить помещение на наличие средств пожаротушения.

Пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта (обучение правилам техники безопасности, распространение планов эвакуации);
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию используемого оборудования (соблюдение техники безопасности при эксплуатации оборудования, обеспечение свободного подхода к оборудованию, поддержание исправности изоляции проводников);
- технические и конструктивные мероприятия, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Для повышения устойчивости рабочего помещения к ЧС необходимо наличие систем противопожарной сигнализации, реагирующих на дым и другие продукты горения, установку огнетушителей.

В случае возникновения возгорания, необходимо вызвать пожарную службу по телефону 101 и сообщить место возникновения ЧС, предпринять меры по эвакуации в соответствии с планом эвакуации. При отсутствии прямых угроз здоровью и жизни произвести попытку тушения возникшего возгорания имеющимися углекислотными огнетушителями.

7.6 Выводы по разделу социальная ответственность

Проведен анализ процесса создания системы, рассмотрены его аспекты с точки зрения правовых, экологических и производственных норм, а также

обеспечения безопасности при возможных чрезвычайных ситуациях. Рабочее место соответствует всем необходимым требованиям, за исключением освещения. Тем не менее, наличие естественных источников света не вызывает неудобств для разработчика.

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ - первая (безопасное помещение). При этом согласно Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок группа по электробезопасности рабочего персонала – II группа.

Тяжесть труда во время рабочего процесса по созданию информационной системы относится к категории Iб в соответствии с СанПин 1.2.3685-21. Рабочее помещение, представленное для выполнения ВКР, согласно Федеральному закону "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ ст.27, – можно отнести к категории В2 (пожароопасность).

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года, N2398 «Критерии отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (с изменениями на 7 октября 2021 года) мультифункциональную платформу, оказывающую незначительное негативное воздействие на окружающую среду относится к III категории.

Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы была выполнена разработка мультифункциональной платформы для экструзионной печати с системой управления. Основной целью работы было создание современного и функционального устройства, способного осуществлять печать различных материалов, включая жидкости и биогели, и обладающего широким спектром применения в биомедицинских исследованиях и промышленности.

В ходе исследования был проведен анализ существующих методов и технологий в области 3D печати, а также изучены особенности и требования биомедицинских исследований и промышленных процессов. Это позволило определить основные характеристики и функциональные возможности мультифункциональной платформы.

Для реализации поставленных целей были использованы различные инструменты и технологии. В частности, была проведена разработка деталей платформы в программе SolidWorks, которые затем были напечатаны на 3D принтере. Была спроектирована и собрана шприцевая система, а также разработано программное обеспечение для управления шприцевым насосом на базе Arduino IDE. Кроме того, была выполнена модификация прошивки на базе Marlin для контроля системами платформы.

Полученные результаты подтверждают успешную разработку мультифункциональной платформы и ее компонентов. В ходе общего тестирования было подтверждено, что система работает в полном соответствии с заданными требованиями и демонстрирует высокую точность и эффективность в процессе печати. Важным достижением является успешная сборка и интеграция всех компонентов платформы, что позволяет ей функционировать как единое целое.

Тестирование позволило подтвердить работоспособность и функциональность различных систем, включая температурное регулирование, охлаждение, перемещение платформы и печатающей головки, а также систему подачи жидкости. Все эти системы были

интегрированы в платформу и контролируются разработанным программным обеспечением, что обеспечивает стабильную и надежную работу при выполнении печатных задач.

Полученные результаты открывают новые возможности в области биомедицинских исследований и промышленности. Мультифункциональная платформа способна печатать сложные структуры, включая жидкости и биогели, что является важным шагом в развитии тканевой инженерии, медицинской диагностики и других областей, требующих точной и прецизионной печати. Это открывает перспективы для создания новых материалов, разработки прототипов и улучшения процессов производства.

Однако следует отметить, что разработка мультифункциональной платформы является лишь первым шагом в её применении. В будущем необходимо продолжать исследования и развитие данной технологии, улучшая ее функциональность, надежность и масштабируемость. Также требуется дальнейшая оптимизация программного обеспечения для более удобного и гибкого управления системами платформы.

В целом, разработка мультифункциональной платформы представляет собой значимый вклад в область 3D печати и биомедицинских технологий. Созданная платформа обладает рядом преимуществ и инновационных особенностей, которые могут сыграть важную роль в различных сферах применения.

Однако разработка мультифункциональной платформы также вносит определенные вызовы и требует дальнейших исследований. Необходимо продолжать работу над улучшением точности и стабильности печати, а также развивать новые материалы и методы печати для расширения возможностей системы. Также следует уделять внимание аспектам безопасности и эргономики при использовании данной платформы в клинической практике и промышленном производстве.

В заключение, разработка мультифункциональной платформы представляет собой важный шаг в развитии 3D печати и биомедицинских

технологий. Результаты данной работы являются основой для дальнейших исследований и развития в данной области.

Список используемых источников

1. Основные материалы для 3D-печати [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://blog.iqb.ru/3d-printing-materials/>
2. Экструзионная 3D печать [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: http://personal-3d-printer.blogspot.com/2013/09/3d_17.html
3. Стереолитография [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: https://3dtoday.ru/wiki/SLA_print
4. Что такое SLS 3D печать [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://3dtool.ru/stati/chto-takoe-sls-3d-pechat-kak-rabotaet-sls-3d-printer-obzor-additivnykh-tehnologiy/>
5. Применение 3D печати в процессах промышленного литья [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://www.ddmlab.ru/articles/primenenie-3d-pechat-v-protsessah-promyshlennogo-litya/>
6. Обзор слайсеров для 3D печати [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://cvetmir3d.ru/blog/3d-obzory/chto-takoe-slayer/>
7. Прошивки для 3D принтера [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/tiger/firmware-for-the-3d-printer-3d-educational-program>
8. Настройка прошивки для 3D принтера [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://3d-diy.ru/blog/3d-printery/nastrojka-proshivki-marlin/>
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: https://pd.rkn.gov.ru/docs/Trudovoj_kodeks_RF.pdf
10. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 19 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664>

11. Федеральный закон о специальной оценке условий труда (с изменениями на 28 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499067392>

12. ГОСТ IEC 60335-2-45 — 2014, Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов, часть 2-45, Частные требования к переносным нагревательным инструментам и аналогичным приборам [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://meganorm.ru/Data/588/58818.pdf>;

13. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1979. – 9 с.

14. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартиформ, 2016. – 15 с.

15. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102598>

16. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2021. – 496 с.

17. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230583>.

18. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2017. – 122 с.

Приложение А
(обязательное)

Скрипт управления шприцевым насосом

Листинг 1 – Скрипт управления шприцевым насосом

```
1. LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
2. struct MenuItem
3. {
4. uint8_t button[4];
5. uint8_t type;
6. char *text;
7. uint8_t address;
8. uint32_t value;
9. };
10.enum listOfButtons {RIGHT, UP, DOWN, LEFT, SELECT, NA};
11.enum listOfButtonStates {RELEASE, SHORTPRESS, MEDIUMPRESS,
LONGPRESS};
12.enum listOfPrograms {CHANGEVALUE = 200, SELECTFROMLIST,
INFUSEVOLUME, INFUSETIME, REFILLVOLUME, REFILLFULL,
CYCLEMODE, FIRMWAREINFO};
13.enum listItemTypes {TEXT, LIST, VOLUME, TIME, FLOWRATE,
LENGTHPERVOLUME, DIAMETER};
14.const char firmwareInfo[] = "0.9a";
15.const uint16_t volumeDivider[2] = {1000, 1};
16.const uint16_t timeDivider[3] = {1, 60, 3600};
17.const uint16_t flowrateDivider[4] = {60000, 1000, 60, 1};
18.const float stepsPERmm = NOFSTEPSPER360 / MMPER360;
19.MenuItem items[NITEMS];
20.uint8_t lastButton = NA;
21.uint8_t buttonState = RELEASE;
22.uint32_t buttonPressTime = 0;
23.uint8_t currentItem = 1;
24.float coef;
25.uint8_t endStopPin;
26.volatile uint32_t ustepCounter;
27.uint32_t ustepCounterLimit;
28.uint32_t getValue(uint8_t itemNo);
29.void changeValue();
30.void setValue(uint8_t itemNo, uint8_t digits[8]);
31.void selectFromList();
32.void calculateActualValue(uint8_t itemNo);
```

```
33.void recalculateSyringe(uint8_t itemNo);
34.void printScreen();
35.void printUnits();
36.void printFirmwareInfo();
37.void printTimeAndVolume(uint16_t pumpingTime, uint32_t pumpingVolume);
38.void showScreensaver();
39.void readFromEEPROM(uint8_t itemNo);
40.void writeToEEPROM(uint8_t itemNo);
41.void getButtonState();
42.uint16_t valueDivider (uint8_t n);
43.uint8_t getElementNo(uint8_t linkToList);
44.void waitingForButton(uint8_t buttonCode, uint8_t itemNo);
45.void beep (uint16_t delayOn = 15, uint16_t delayOff = 100);
46.bool checkEndstop(int8_t pumpingDirection);
47.void infuseVolume();
48.void infuseTime();
49.void refillVolume();
50.void refillFull();
51.void pumpSingly(int8_t pumpingDirection, uint32_t flowrate, uint32_t
    volume);
52.void pumpContinuously();
53.uint8_t pump(uint32_t flowrate, uint32_t volume);
54.void setup()
55.{
56.lcd.begin(16, 2);
57.pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
58.pinMode(DIRECTION_PIN, OUTPUT);
59.pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
60.pinMode(ENDSTOP_PIN1, INPUT_PULLUP);
61.pinMode(ENDSTOP_PIN2, INPUT_PULLUP);
62.pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
63.digitalWrite(ENABLE_PIN, HIGH);
64.items[1] = {5, 0, 2, 0, TEXT, "Infuse" };
65.items[2] = {7, 1, 3, 0, TEXT, "Refill" };
66.items[3] = {9, 2, 4, 0, TEXT, "Cycle Mode" };
67.items[4] = {10, 3, 0, 0, TEXT, "Settings" };
68.items[5] = {15, 0, 6, 1, TEXT, "Target Volume" };
69.items[6] = {16, 5, 0, 1, TEXT, "Target Time" };
70.items[7] = {17, 0, 8, 2, TEXT, "Full Refill" };
```

Продолжение Листинга 1 – Скрипт управления шприцевым насосом

```
71.items[8] = {18, 7, 0, 2, TEXT, "Target Volume"};
72.items[9] = {19, 0, CHANGEVALUE, 3, FLOWRATE, "infuse flow:", 1,
  120000000};
73.items[10] = {20, 0, 11, 4, TEXT, "Units"};
74.items[11] = {23, 10, 12, 4, TEXT, "Syringe"};
75.items[12] = {25, 11, 13, 4, LIST, "Sound", 2};
76.items[13] = {27, 12, 14, 4, LIST, "EEPROM", 3};
77.items[14] = {FIRMWAREINFO, 13, 0, 4, TEXT, "Firmware"};
78.items[15] = {29, 0, CHANGEVALUE, 5, VOLUME, "volume:", 4, 1000000};
79.items[16] = {30, 0, CHANGEVALUE, 6, TIME, "time:", 5, 60000};
80.items[17] = {REFILLFULL, 0, CHANGEVALUE, 7, FLOWRATE,
  "flowrate:", 6, 2000000};
81.items[18] = {31, 0, CHANGEVALUE, 8, VOLUME, "volume:", 7, 1000000};
82.items[19] = {CYCLEMODE, 0, CHANGEVALUE, 9, FLOWRATE, "refill
  flow:", 8, 2000000};
83.items[20] = {32, 0, 21, 10, LIST, "Volume Units", 9};
84.items[21] = {34, 20, 22, 10, LIST, "Time Units", 10};
85.items[22] = {37, 21, 0, 10, LIST, "Flowrate Units", 11};
86.items[23] = {41, 0, 24, 11, TEXT, "Diameter"};
87.items[24] = {42, 23, 0, 11, TEXT, "Length/Volume"};
88.items[25] = {SELECTFROMLIST, 0, 26, 12, TEXT, "on"};
89.items[26] = {SELECTFROMLIST, 25, 0, 12, TEXT, "off"};
90.items[27] = {SELECTFROMLIST, 0, 28, 13, TEXT, "on"};
91.items[28] = {SELECTFROMLIST, 27, 0, 13, TEXT, "off"};
92.items[29] = {INFUSEVOLUME, 0, CHANGEVALUE, 15, FLOWRATE,
  "flowrate:", 12, 2000000};
93.items[30] = {INFUSETIME, 0, CHANGEVALUE, 16, FLOWRATE,
  "flowrate:", 13, 2000000};
94.items[31] = {REFILLVOLUME, 0, CHANGEVALUE, 18, FLOWRATE,
  "flowrate:", 14, 2000000};
95.items[32] = {SELECTFROMLIST, 0, 33, 20, TEXT, "mL"};
96.items[33] = {SELECTFROMLIST, 32, 0, 20, TEXT, "uL"};
97.items[34] = {SELECTFROMLIST, 0, 35, 21, TEXT, "s"};
98.items[35] = {SELECTFROMLIST, 34, 36, 21, TEXT, "min"};
99.items[36] = {SELECTFROMLIST, 35, 0, 21, TEXT, "h"};
100. items[37] = {SELECTFROMLIST, 0, 38, 22, TEXT, "mL/s"};
101. items[38] = {SELECTFROMLIST, 37, 39, 22, TEXT, "mL/min"};
102. items[39] = {SELECTFROMLIST, 38, 40, 22, TEXT, "uL/s"};
103. items[40] = {SELECTFROMLIST, 39, 0, 22, TEXT, "uL/min"};
```

```

104. items[41] = {0, 0, CHANGEVALUE, 23, DIAMETER, "diameter:", 15,
105. 11284};
106. items[42] = {0, 0, CHANGEVALUE, 24, LENGTHPERVOLUME,
    "length/volume:", 16, 10000};
107. for (uint8_t i = 1; i < NITEMS; i++)
108. {
109. if (items[i].type != TEXT) readFromEEPROM(i);
110. }
111. recalculateSyringe(LINK2DIA);
112. beep();
113. showScreensaver();
114. }
115. void loop()
116. {
117. uint8_t nextItem;
118. getButtonState();
119. if (buttonState == SHORTPRESS && lastButton != SELECT)
120. {
121. buttonState = MEDIUMPRESS;
122. nextItem = items[currentItem].button[lastButton];
123. if (nextItem != 0 && nextItem < 200)
124. {
125. currentItem = nextItem;
126. printScreen();
127. }
128. else if (nextItem == CHANGEVALUE) changeValue();
129. else if (nextItem == SELECTFROMLIST) selectFromList();
130. else if (nextItem == INFUSEVOLUME) infuseVolume();
131. else if (nextItem == INFUSETIME) infuseTime();
132. else if (nextItem == REFILLVOLUME) refillVolume();
133. else if (nextItem == REFILLFULL) refillFull();
134. else if (nextItem == CYCLEMODE) pumpContinuously();
135. else if (nextItem == FIRMWAREINFO) printFirmwareInfo();
136. }
137. }
138. getValue
139. uint32_t getValue(uint8_t itemNo)
140. {
141. uint16_t divider = valueDivider(items[itemNo].type);

```

```

142. uint8_t lastDigitIncrement = 0;
143. if ( uint16_t(items[itemNo].value % divider) > divider / 2)
144. lastDigitIncrement = 1;
145. if (items[itemNo].value / divider > 99999999)
146. {
147. items[itemNo].value = divider * 99999999;
148. return 99999999;
149. }
150. else return (items[itemNo].value / divider) + lastDigitIncrement;
151. }
152. changeValue
153. void changeValue()
154. {
155. uint8_t digits[8];
156. uint32_t value = getValue(currentItem);
157. for (int8_t i = 7; i >= 0; i--)
158. {
159. digits[i] = uint8_t(value % 10);
160. value /= 10;
161. }
162. lcd.setCursor(0, 1);
163. for (int8_t i = 0; i < 4; i++) lcd.print(digits[i]);
164. lcd.setCursor(0, 1);
165. lcd.cursor();
166. int8_t i = 0;
167. while (i >= 0 && i < 8)
168. {
169. getButtonState();
170. if (buttonState == SHORTPRESS || buttonState == LONGPRESS)
171. {
172. if (lastButton == UP) digits[i] = (digits[i] + 1) % 10;
173. else if (lastButton == DOWN) digits[i] = (digits[i] + 9) % 10;
174. lcd.print(digits[i]);
175. if (lastButton == RIGHT) i++;
176. else if (lastButton == LEFT) i--;
177. if (i == -1 && buttonState != SHORTPRESS) i++;
178. if (i == 8 && buttonState != SHORTPRESS) i--;
179. if (i < 5)lcd.setCursor(i, 1);
180. else lcd.setCursor(i + 1, 1);

```

```
181. if (buttonState == SHORTPRESS) buttonState = MEDIUMPRESS;
182. else if (buttonState == LONGPRESS)
183. {
184.   uint32_t nextMillis = millis() + AUTOCHANGINGDELAY;
185.   while (nextMillis > millis() && buttonState == LONGPRESS)
       getButtonState();
186. }
187. }
188. }
189. if (i == 8)
190. {
191.   bool isSame = true;
192.   value = getValue(currentItem);
193.   for (int8_t j = 7; j >= 0 && isSame == true; j--)
194.   {
195.     if (digits[j] != uint8_t(value % 10)) isSame = false;
196.     value /= 10;
197.   }
198.   bool isZero = true;
199.   for (int8_t j = 7; j >= 0 && isZero == true; j--)
200.   {
201.     if (digits[j] != 0) isZero = false;
202.   }
203.   if (isSame == false && isZero == false)
204.   {
205.     setValue(currentItem, digits);
206.     beep();
207.   }
208. }
209. lcd.noCursor();
210. lcd.setCursor(0, 1);
211. printScreen();
212. }
```