

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Отделение школы (НОЦ): электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система управления многоэкструдерной головкой FDM 3D-принтера

УДК 678.057.374.2:004.356.2:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Сю Хуацин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф. А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М. В	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	Д.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кулагин А. Е	К.Ф.-М.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Солдатов. А.И.	Д.Т.Н.		

Томск – 2022

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА
СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ Электроника интернета вещей

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПК(У)-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
ПК(У)-3	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени
ПК(У)-4	Способен к организации и проведению экспериментальных

	исследований с применением современных средств и методов
ПК(У)-5	Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения
ПК(У)-6	Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников
ПК(У)-7	Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
ПК(У)-8	Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований
ПК(У)-9	Способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями
ПК(У)-10	Способен разрабатывать программные и аппаратные средства передачи цифровых данных
ПК(У)-11	Способен организовывать работу коллективов исполнителей проводить технико-экономический и функционально-стоимостной анализ рыночной эффективности создаваемого продукта
ПК(У)-12	Способен проводить лабораторные и практические занятия со студентами бакалавриата
ПК(У)-13	Способен овладевать навыками разработки учебно-методических материалов для студентов по отдельным видам учебных занятий
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	Способен проектировать аппаратные и программные средства для решений на основе интернета-вещей

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Уровень образования магистратура

Отделение электронной инженерии

Период выполнения весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022 г
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.03.2022	Обзор литературы	20
22.04.2022	Разработка привода двухэкструдерной печатающей головки 3D принтера. Анализ материалов для использования в работе с предлагаемой конструкцией двухэкструдерной печатающей головки 3D-принтера.	20
30.04.2022	Сборка макета двухэкструдерной печатающей головки	20
02.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	5
07.05.2022	Социальная ответственность.	5
22.05.2022	Написание раздела на иностранном языке.	5
30.05.2022	Выводы по результатам работы.	10
10.06.2022	Оформление ВКР и представление работы рецензенту.	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф. А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ А.И. Солдатов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1AM01	Сю Хуацин

Тема работы:

Система управления многоэкструдерной головкой FDM 3D-принтера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	33-27/с от 02.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022 г
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе .	Объект исследования – разработка методики и рекомендаций для проектирования многоэкструдерных головок специальной конструкции для FDM-печати.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Сбор материалов и анализ существующих систем Анализ частей конструкции. Разработка привода печатной головки. Разработка датчика движения филамента. Разработка системы управления двухэкструдерной печатающей головкой. Оценка результатов.
Перечень графического материала	Пинципиальная схема
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М. В.
Социальная ответственность	Сечин А. И.
Иностранный язык	Кобзева Н. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1.Обзор литературы/iterature review	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.02.2022.
---	-------------

Задание выдал руководитель :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Ф.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Сю Хуацин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM01	Сю Хуацин

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	магистратура	Направление	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических, бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; опрос, наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение структуры работ в рамках научного исследования; Определение участников каждой работы; Установление продолжительности работ; Построение графика проведения научных исследований.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости выполнения работ, расчет бюджета научно – технического проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

«Портрет» потребителя результатов НТИ; Сегментирование рынка; Оценка конкурентоспособности технических решений; Диаграмма FAST; Матрица SWOT; График проведения и бюджет НТИ; Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ; Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М. В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Сю Хуацин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM01	Сю Хуацин

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Тема ВКР:

Многoэкструдерная головка с дополнительными степенями подвижности для FDM-печати	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка и исследование системы управления многoэкструдерной головкой с дополнительным движением.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов – Природа воздействия – Действие на организм человека – Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) – СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов : – Термические источники опасности – Электробезопасность – Пожаробезопасности	Вредные факторы: Недостаточная освещенность; Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; Опасные факторы: Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, Rзаземления, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ.
2. Экологическая безопасность: Выбросы в окружающую среду Решения по обеспечению экологической безопасности	Наличие промышленных отходов и способы их утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой; 2) техногенная несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место.
4. Перечень нормативно-технической документации.	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин А. И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM01	Сю Хуацин		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 с., 37 рис., 16 табл., источников, 3 приложений, 2 чертежа.

Ключевые слова: FDM – печать, PLA, Печатающая головка с двойным экструдером, Анализ температурного поля, Элементы конструкции.

Объектом исследования является: Разработка методики и рекомендаций для проектирования многоэкструдерных головок специальной конструкции для FDM-печати.

Цель работы: Проектирование и сборка макета системы управления положением сопел многоэкструдерной головки.

В процессе исследования проводились: Анализ существующих инженерных решений, подбор элементов конструкции и создание 3D модели привода.

В результате исследования: Разработан привод печатающей головки дельта принтера для 3D печати с повышенной подвижностью, а также выполнен подбор составляющих механизма.

Степень внедрения: Внедрен, Сборка макета печатающей головки двойного экструдера завершена.

Область применения: Обеспечение 3D печати с использованием нескольких материалов.

Экономическая эффективность/значимость работы: невысокая стоимость изделия, сокращение затрат и повышение эффективности.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

экструдер: Машина для размягчения (пластфикации) материалов и придания им формы путем продавливания через профилирующий инструмент (экструзионную головку), сечение которого соответствует конфигурации изделия.

дельта принтер: Устройство, предназначенное для печати 3D объектов, в котором рабочий стол неподвижен, а перемещается только печатающая головка экструдера, приводимая в движение тремя манипуляторами расположенными по окружности.

сервопривод: привод, который в широком диапазоне регулирования скорости обеспечивает динамичные, высокоточные процессы и обеспечивает хорошую их повторяемость.

моделирование методом послойного наплавления: Технология аддитивного производства, широко используемая при создании трехмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве.

Обозначения и сокращения

FDM – Моделирование методом послойного наплавления.

САПР – Система автоматизированного проектирования.

PLA – Полилактид (полимолочная кислота).

ABS – Акрилонитрил бутадиен стирол.

PEEK – Полиэфирэфиркетон.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	15
1.1 Общие сведения об FDM – печати	15
1.2 Общие сведения многоэкструдерных головках.....	18
1.3 Печать объекта двумя материалами	20
1.3.1 Материалы поддержки	20
1.3.2 3D принтер с двумя экструдерами.....	22
1.4 Анализ существующих конструкций	24
1.4.1 SpiderBot Dual Extruder Upgrade.....	25
2 Разработка привода двухэкструдерной печатающей головки 3d принтера	27
2.1 Разработка компьютерной 3D-модели детали с помощью САПР DS SolidWorks	27
3 Расчетная часть.....	29
3.1 Анализ температурного поля одного сопла.....	29
3.2 Анализ материалов для использования в работе с предлагаемой конструкцией двухэкструдерной печатающей головки 3D-принтера.....	34
3.3 Анализ теплового влияния конструкции с двойным соплом	36
4 Элементы конструкции печатающей головки.....	41
4.1. Экструдеры (хотэнды, HotEnd).....	41
4.2. Платформа для хотэндов.....	43
4.3. Рама печатающей головки.....	46

4.4.	Сервопривод TowerPro SG90.....	46
4.5.	Датчик движения филамента.....	50
4.6.	Рассеивание тепла.....	55
4.7.	Сборка макета двухэкструдерной печатающей головки.....	56
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	63
5.1	Технико-экономическое обоснование НИР.....	63
5.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	64
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	64
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	65
5.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	66
5.3.1	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	70
5.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	71
5.3.3	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	73
5.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	76
5.5	Накладные расходы.....	77
5.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	77
5.7	Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.....	78
6	Социальная ответственность	81

6.1 Производственная безопасность.....	81
6.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении	81
6.1.2 Превышение уровней шума	83
6.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	84
6. 1.4 Поражение электрическим током	86
6.1.5 Пожарная опасность	93
6.2 Экологическая безопасность.....	96
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
Заключение.....	100
Список литературы	102
Приложение А Раздел ВКР на иностранном языке.....	106
Приложение Б Спецификация.....	120
Приложение В Особенности Arduino UNO	124

Введение

В настоящее время сфера аддитивных технологий находится в активной стадии развития. Технология позволяет получать изделия очень сложной формы, практически без лишней оснастки. Качественные характеристики получаемых изделий растут, при этом стоимость принтеров снижается, так как на рынке появляется все больше производителей данной техники. Аддитивные технологии 3D-печати – это инновационный способ послойного производства (выращивания) единичных изделий различного уровня сложности и функционального предназначения. Однако, существуют проблемы, с которыми сталкиваются пользователи в процессе одновременной печати объекта из двух и более материалов. Прежде всего возникают трудности с калибровкой, ведь необходимо отрегулировать не только высоты сопел относительно друг друга, но и расстояние между ними, чтобы избежать ошибок печати. Более того, велика вероятность протечки пластика из неактивного сопла во время печати не только что напечатанный слой, что безусловно отразится на качестве поверхности, внешнем виде и механических свойствах объекта.

С целью поиска вариантов устранения возникающих в процессе 3D-печати несколькими материалами, была спроектирована конструкция привода печатающей головки дельта принтера, которая позволяет осуществить попеременный наклон экструдеров. Реинжиниринг используемой в качестве прототипа конструкции двухэкструдерной печатающей головки направлен на улучшение технологичности, замену дорогих комплектующих на доступные и более дешевые без снижения надежности изделия.

1. Обзор литературы

1.1 Общие сведения об FDM–печати

Производственный цикл 3D-печати начинается с обработки трехмерной цифровой модели. Электронная модель изделия (ЭМИ) в формате *.stl* делится на слои и ориентируется наиболее подходящим образом для последующей печати. Процесс подготовки модели для печати называется «*Slicing*» (Слайсинг), программу для реализации слайсинга часто называют слайсером. Результатом работы является набор команд для исполнительных элементов принтера, называемый G-кодом (*G-code*). В полученном коде закладываются все параметры печати, перемещения экструдера, при необходимости программа генерирует поддерживающие структуры, необходимые для печати нависающих элементов. Некоторые устройства позволяют использовать разные материалы во время одного производственного цикла. Например, возможна печать модели из одного материала с печатью опор из другого, легкорастворимого материала, что позволяет с легкостью удалять поддерживающие структуры после завершения процесса печати. Альтернативно, возможна печать разными цветами одного и того же вида пластика при создании единой модели [1].

Изделие, или физическая модель, производится выдавливанием («экструзией») (либо, нанесением микрокапель) расплавленного термопластика с последовательным формированием слоев, застывающих сразу после экструдирования [2].

Пластиковая нить разматывается с катушки и подается в экструдер —

устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя часть сопла в то же самое время, охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, препятствующего образованию жидкой фазы пластика в канале подвода нити к соплу. Это необходимо для обеспечения подачи материала, поскольку если при перегреве жидкая фаза начнет образовываться в канале подачи филамента на значительном удалении от сопла, пластик начнет протравливать через любые имеющиеся зазоры (в том числе, и через технологические) подача пластика в сопло резко уменьшится, либо, вообще прекратится. При этом, следует помнить о том, что каждый вентилятор имеет определенную величину подачи (объем воздуха, перемещаемого за единицу времени) и рассчитывается для обдува конкретного источника тепла. В случае подвода к радиатору дополнительного теплового потока (например, «паразитного» нагрева одного экструдера от другого, находящегося с первым на одной теплопроводящей платформе), вентилятор может не справляться и в канале подачи филамента будут реализовываться описанные выше нештатные тепловые процессы, сопровождающиеся технологическими отказами.

Экструдер перемещается в горизонтальной и вертикальной плоскостях под контролем алгоритмов, аналогичных используемым в станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Сопло перемещается по траектории,

заданной слайсером. Модель строится слой за слоем, снизу-вверх, изредка, сверху-вниз. Как правило, экструдер (также называемый «печатающей головкой») приводится в движение приводами с шаговыми двигателями, реже – сервоприводами. Наиболее популярной системой координат, применяемой в *FDM*, является прямоугольная («Декартовая» или «Картезианская»), с осями *X*, *Y* и *Z*. Альтернативой является цилиндрическая система координат, используемая так называемыми «дельта-роботами» [3].

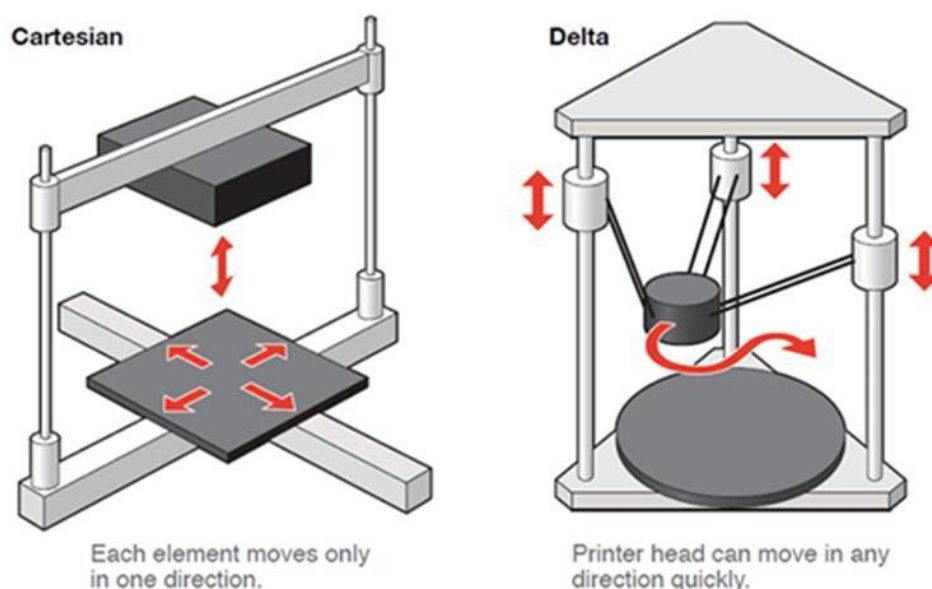


Рисунок 1 – 3D-принтер на основе картезианского робота и дельта принтер

Технология *FDM* отличается высокой гибкостью, но имеет определенные ограничения. Хотя создание нависающих структур возможно при небольших углах наклона, в случае с большими углами необходимо использование искусственных опор, как правило, создающихся в процессе печати и отделяемых от модели по завершении процесса.

В качестве расходных материалов доступны всевозможные термопластики и композиты, включая *ABS*, *PLA* [4], поликарбонаты *PC*,

полиамиды *PA*, полиэтилентерафталат *PETG*, полистирол, лигнин и многие другие. Как правило, различные материалы предоставляют выбор баланса между определенными прочностными и температурными характеристиками.

1.2 Общие сведения многоэкструдерных головках

Печатающая головка *FDM*-принтера называется экструдером (от *to extrude* — выдавливать), что отражает ее принцип действия: экструдер создает объект послойно, выдавливая размягченный материал через сопло. Тюбик с зубной пастой, клеевой пистолет, шприц с силиконовыми герметиками — примеры изделий, действующих по тому же принципу.

Чаще всего, для печати в *FDM*-устройствах используются термопластики *ABS* и *PLA* в виде филамента (нити) [5].

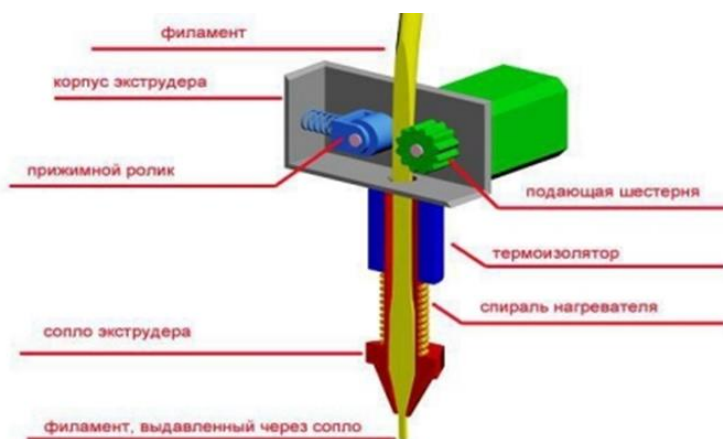


Рисунок 2 – Устройство экструдера 3D-принтера

Основным конструктивным элементом *FDM*-3D-принтера является печатающая головка, которая состоит из экструдера и нагревателя.

Экструдер – это подающий механизм 3D-принтера, который обеспечивает дозированную подачу полимерной нити в нагреватель. Некоторые пользователи

ошибочно называют экструдером всю головку, включая подающий механизм и нагреватель, но это не верно, поскольку экструдером является только механизм подачи нити.

Нагреватель – часть печатающей головки, в которой полимерная нить расплавляется и выдавливается через крошечное отверстие диаметром 0,15-1,0 мм. Нагреватель с соплом часто называют *hot-end*, а экструдер по аналогии *cold-end*.

На рынке представлены полимерные нити и прутки пластика диаметром 1,78 мм и 3,0 мм. Экструдер может работать только с нитями определенного диаметра, это необходимо учитывать при приобретении расходных материалов.

Для подачи полимерных нитей в печатающую головку используется шаговый двигатель с редуктором. Контроллер, управляющий двигателем, обеспечивает необходимую скорость подачи нитей, а также их извлечение при смене материала.

Температура нагревателя печатающей головки контролируется термистором, поэтому к данной части головки подводится четыре провода: два тонких к термистору и два толстых к нагревателю.

Сопло печатающей головки является расходным материалом, со временем его отверстие покрывается нагаром и засоряется, в результате его приходится чистить или заменять на новое. Поэтому, желательно, чтобы сопло было сменным и достаточно легко заменялось, чаще всего, для этого применяют резьбовое соединение. Шаг и диаметр резьбы могут быть разными, да и сама резьба на сопле может быть, как внутренней, так и внешней, поэтому сопла разных принтеров не всегда взаимозаменяемы [6].

1.3 Печать объекта двумя материалами

Количество экструдеров может варьироваться в зависимости от назначения 3D-принтера. Простейшие варианты используют одну печатающую головку. Двойной экструдер значительно расширяет возможности устройства, позволяя печатать одну модель двумя разными цветами, либо использовать разные материалы. Последний момент важен при построении сложных моделей с нависающими элементами конструкции: *FDM*-принтеры не могут печатать «по воздуху», так как формирующемуся слою требуется опора. В этом случае, возникает потребность в использовании так называемых материалов поддержки.

1.3.1 Материалы поддержки

При 3D-печати сложных по форме изделий любой процесс сталкивается с явлением гравитации, которая затрудняет создание нависающих элементов. Эту проблему отлично решают материалы поддержки, формируя опорные конструкции, на которые опираются элементы модели, или разделительный слой при печати составных моделей.

Материалы поддержки для *FDM*-печати можно условно разделить на две группы:

1. Разрушаемые;

Разрушаемые материалы поддержки в основном изготавливаются из того же материала, из которого создается модель, но формируемая ими конструкция имеет значительно меньшую плотность (*infill* – заполнение). В этом случае после завершения печати необходимо механически удалить поддержку, после чего

отшлифовать место слома.

Второй вариант – использование более хрупкого материала или материала, который имеет низкое сцепление с основным. Например, принтеры с двумя экструдерами могут использовать в качестве материала поддержки пластик *PLA*, а в качестве основного – *ABS*.

Достоинства:

- возможность использования одной печатающей головки;
- отсутствие необходимости в дополнительных материалах.

Недостатки:

- экономически невыгодно;
- процесс постобработки довольно сложен и занимает много времени;
- есть риск повредить модель во время удаления;
- при использовании некоторых материалов (например *PLA*) места изломов имеют острые края, что может привести к травмам во время работы;
- подходит далеко не для всех моделей (многие сложные/составные модели имеют поверхности, которые попросту недоступны для постобработки).

1. Легкоплавкие;

Отличительная черта легкоплавких материалов – низкая температура плавления (60-100) °C. В их качестве обычно используются различные виды воска, а также гелеобразные вещества. Удаляются такие материалы путем нагрева в печи или с помощью фена.

Достоинства:

- простота применения;

- доступность;
- прочность;
- лёгкость удаления;
- экологичность;
- пригодность для использования в сложных/составных моделях (в подвижных соединениях остатки воска даже могут выступить в качестве дополнительной смазки);
- возможность вторичного использования практически сразу после применения.

Недостатки:

- непригодны для моделей из легкоплавких пластиков;
- если модель впоследствии предполагается окрашивать, может потребоваться дополнительная обработка для полного удаления воска с поверхности модели.

1.3.2 3D принтер с двумя экструдерами

Двухцветный 3D-принтер оснащен двумя печатающими головками (экструдерами) и отдельными бобинами с разноцветным пластиком.

Каждый экструдер формирует каплю пластика и наносит ее на платформу для печати.

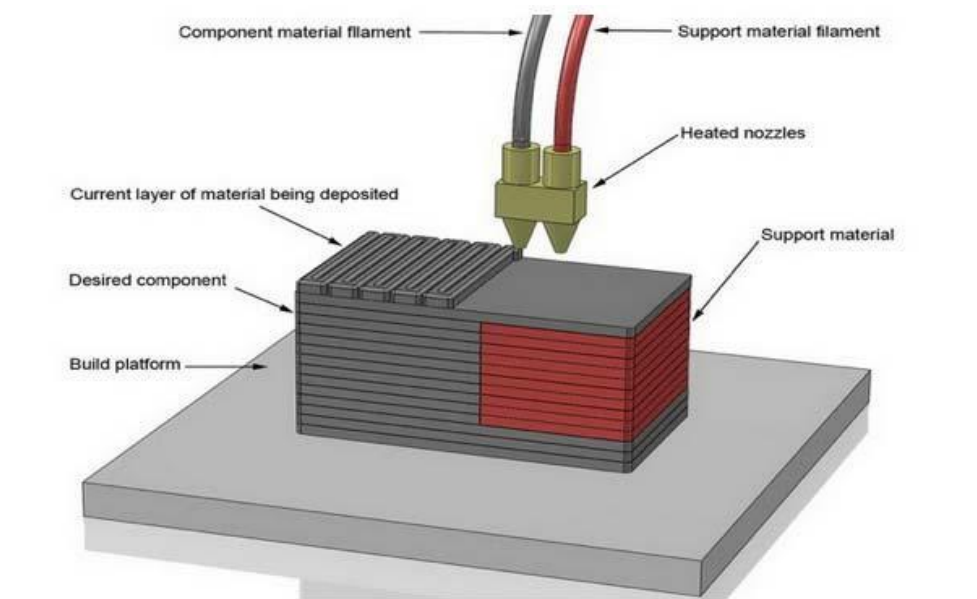


Рисунок 3 – Печать объекта двумя экструдерами

Достоинства 3D-принтеров с двумя экструдерами:

1. Возможность создавать двухцветные изделия, наносить контрастные надписи на готовые изделия.
2. Возможность использовать растворимый материал поддержки.
3. Возможность одновременной печати двух одинаковых по форме объектов.

Наиболее частые проблемы при печати двумя экструдерами:

1. Калибровка 3D-принтера при использовании двух экструдеров сложна.

Помимо того, что необходимо точно выставить зазор между каждым соплом и платформой, еще необходимо выровнять высоту обоих сопел между собой.

2. При печати двумя экструдерами высокие шансы что расплавленный пластик из неактивного сопла будет произвольно вытекать на объект, который сейчас печатается другим экструдером [7].

Решением данной проблемы может стать постройка вокруг объекта специальных защитных стенок. Однако расход материала и количество операций печати при этом увеличивается. Кроме того, защитные конструкции будут

нуждаться в периодической чистке и обслуживании.

3. Современные 3D-принтеры не могут печатать одновременно обоими экструдерами разные объекты так как головки жестко закреплены и не двигаются независимо. Поэтому, принтер поочередно задействует каждый экструдер по мере необходимости.

4. При подготовке к печати необходимо учитывать расстояние между соплами головок.

Решением большинства проблем 3D-принтера с двумя экструдерами может стать введение дополнительной степени подвижности печатающей головки.

Обеспечение наклона печатающей головки позволит:

1. Упростить процедуру калибровки;
2. Предотвратить попадание вытекшего пластика из неактивного сопла на формируемую поверхность;
3. Не учитывать в программе слайсера расстояние между соплами.

Таким образом, введение дополнительной степени подвижности для печатной головки позволит избежать множества проблем с печатью, возникающих у пользователей и упростит процесс использования 3D-принтера.

1.4 Анализ существующих конструкций

В настоящее время существует не так много прототипов исследуемого механизма, позволяющих осуществлять наклон печатающей головки. Продвинутые пользователи 3D-принтеров пытаются самостоятельно решить имеющиеся проблемы с печатью при помощи подручных средств,

усовершенствования конструкции, либо при помощи модификаций программного кода. Однако, на современном рынке уже существует механизм, способный осуществлять попеременный наклон экструдеров.

1.4.1 Механизм смены сопел двухэкструдерной головки *SpiderBot Dual Extruder Upgrade*

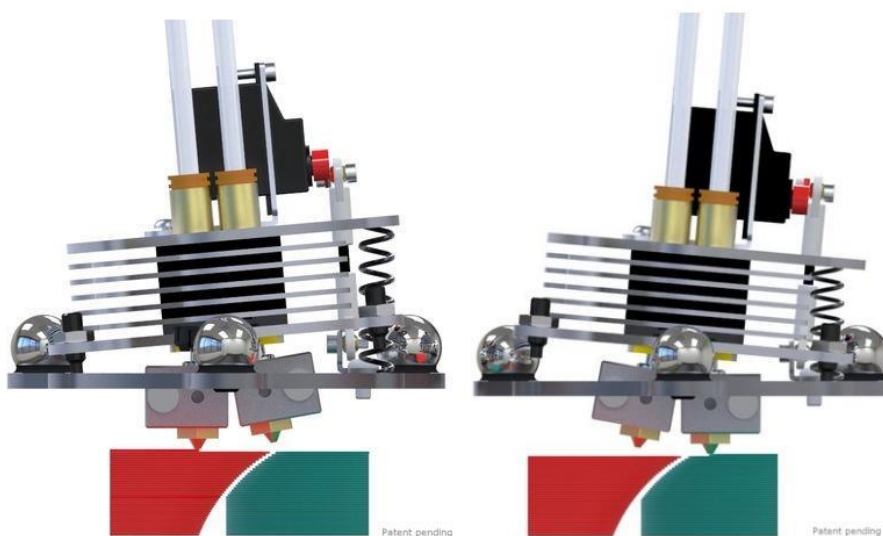


Рисунок 4 – Конструкция и принцип действия механизма смены сопел *SpiderBot Dual Extruder Upgrade*

Изначально печатающие головки расположены под определенным углом, так что при печати одним соплом, второе оказывается приподнятым и не касается поверхности объекта. В случае необходимости смены материала происходит такой наклон экструдеров, при котором бывшее неактивным сопло наклоняется и переходит в рабочее положение, начинается печать другим материалом, а другое сопло приподнимается над поверхностью и подача материала в нем приостанавливается.

Наклон осуществляется при помощи серводвигателя, который соединен с

пневматическим поршнем, прикреплённым к раме экструдеров. Так же в конструкции имеется пружина, служащая демпфером. При необходимости смены сопла, серводвигатель поворачивает выходной вал на определенное количество градусов, при этом поршень поднимается или опускается. Рама наклоняется под воздействием поршня, и печатающая головка так же приобретает наклон.

Данный механизм имеет множество преимуществ:

- Он довольно компактный;
- Масса всей конструкции составляет менее 200 г;
- Механизм имеет два мощных керамических нагревателя 12 В 40 Вт и две термопары, способные осуществлять нагрев до 260 °С;
- Скорость печати 10,0 м³/час.

Однако, существует несколько недостатков данного механизма:

Наклон не до конца решает проблему с протеканием пластика на слой, сопло по-прежнему требует очистки перед печатью нового слоя, что значительно увеличивает расход материала, а значит затраты на печать объекта растут [8]. Кроме того, пневмоцилиндр также вносит определенную нестабильность в процесс печати.

2. Разработка привода двухэкструдерной печатающей головки 3D принтера

2.1 Разработка компьютерной 3D-модели детали с помощью САПР DS SolidWorks

Компьютерная модель печатающей головки двухэкструдерного 3D-принтера, выполненная с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) DS SolidWorks выглядит следующим образом (рис. 5).

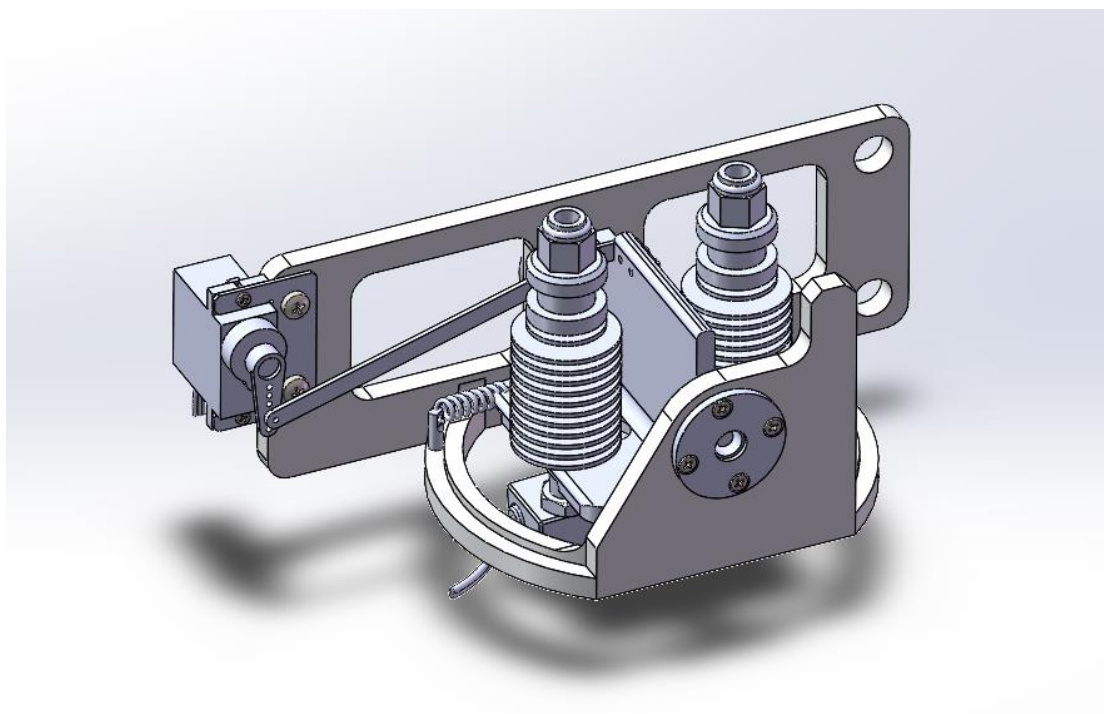


Рисунок 5. 3D-модель привода печатающей головки
двухэкструдерного 3D-принтера

Как видно из рисунка, предлагаемая конструкция представляет собой качающийся механизм с попеременной сменой печатающих сопел. Экструдеры закреплены на подвижной платформе, которая имеет степень подвижности в виде качания относительно оси на определенный угол. На платформе монтируются две полуоси, закрепленные с помощью штифтов. Цапфы полуосей входят в подшипниковые узлы, установленные на неподвижной раме. К верхнему краю

качающейся платформы подвижно прикреплена тяга, другим концом соединённая с выходным валом сервомотора SG-90, который в свою очередь, крепится винтами к опорной пластине, жестко закреплённой на раме. Для устранения колебаний в процессе работы, в соединении рамы и качающейся платформы с экструдерами предусмотрена двунаправленная упругая растяжка, представленная двумя пружинами растяжения. В случае установки головки на 3D-принтер типа «Дельта» («Трипод»), рама соединена с приводными тягами принтера с помощью магнитных опор, роль которых выполняют аксиально намагниченные сферические элементы, изготовленные из редкоземельных материалов.

Когда в процессе работы возникает необходимость в смене пластикового материала (филамента), сервопривод поворачивает свой выходной вал на угол, заданный программой. В свою очередь, шарнирно присоединённая к выходному валу сервопривода тяга приводит в движение подвижную платформу, которая и обеспечивает наклон печатающей головки в требуемые рабочие положения сопел экструдеров.

Путём экспериментальных исследований было получено, что оптимальный наклон, при котором пластик, вытекающий из соседнего сопла, не оказывает влияние на печатную поверхность составляет 22° относительно плоскости горизонта [6].

Подбор компонентов производился исходя из массогабаритных характеристик изделия, выбор серводвигателя осуществляется исходя из требований обеспечения необходимой мощности для приведения в движение качающейся платформы при условии минимальных веса и габаритов.

При подборе элементов необходимо помнить, что еще одна причина по которой масса конструкции должна быть минимальной – это стремление снизить инерцию печатающей головки, т.к. значительная масса головки и связанная с ней большая инерция неизбежно приведут к снижению скорости печати и к увеличению времени на печать изделия, а следовательно, к увеличению себестоимости напечатанной продукции.

Особая облегченная форма рамы механизма и применение полимерных материалов, и цветных сплавов (например, сплава алюминия Д16Т) для изготовления деталей конструкции поможет существенно снизить массу и габариты проектируемого изделия.

3. Расчетная часть

3.1 Анализ температурного поля одного сопла

В настоящее время основными механизмами теплопередачи в термическом анализе являются теплопередача, тепловая конвекция и тепловое излучение. Среди них теплопроводность в основном относится к теплопередаче в непосредственно контактирующих частях, тепловая конвекция относится к теплопередаче, вызванной относительным потоком жидкости и целевого тела, а тепловое излучение относится к теплопередаче частей с определенной температурой, излучающих электромагнитные волны. Поскольку модель представляет собой достаточно трудоемкую с точки зрения инженерного анализа модель, эта часть работы предназначена в основном для определения температурного поля попеременно нагреваемых элементов контрукции

печатающей головки. Возникающие при нагреве тепловая конвекция и тепловое излучение – это части процесса теплообмена между объектом и окружающей средой, воздействие которых относительно невелико. В одном сопле, чтобы упростить процесс анализа и отразить изменение температуры во времени, принят метод переходного термического анализа. При моделировании, помимо наблюдения за распределением температуры в нагретом экструзионном сопле, также необходимо учитывать тепловую деформацию, вызванную тепловым расширением металлических деталей. Нагревательный элемент заменяется температурной нагрузкой, а влияние небольших устройств, таких как датчики температуры, на общую картину распределения тепла в расчетной модели не учитывается.

В этом разделе работы используется специализированное программное обеспечение (ПО) «ANSYS» для проведения термического анализа методом конечных элементов (МКЭ). Для упрощения расчетов, в модели применено нагревание одного сопла. Основные материалы включают алюминиевый сплав Д16, медный сплав (латунь ЛС59-1 ДПН), нержавеющая сталь 08Х18Н10 (A2 AISI) и пластик ABS, для данных материалов применены механические и теплофизические характеристики из соответствующих ГОСТов, такие как теплопроводность, коэффициент излучения, удельную теплоемкость и т.д. Температура печати для большинства распространенных полимерных материалов составляет примерно 200 °C, поэтому граница температуры установлена на 200°C. Созданная в САПР *DS SolidWorks* модель печатающей головки импортирована в модуль *Workbench* ПО «ANSYS».

Как показано на рисунке 6, глобальный размер сетки установлен на 1 мм и в качестве конечных элементов (КЭ) использованы тетраэдрические элементы высокого порядка для разделения геометрической сетки. Как видно на рисунке 7, тепловая нагрузка составляет 44Вт в месте нагрева (стержень нагревательного алюминиевого блока). Температурная граница нижней поверхности двигателя составляет 20°C, время нагрева установлено на 300 сек., коэффициент излучения составляет 0,3, а коэффициент конвекции радиатора равен 5 Вт/(К · м²) (рисунки 8, 9).

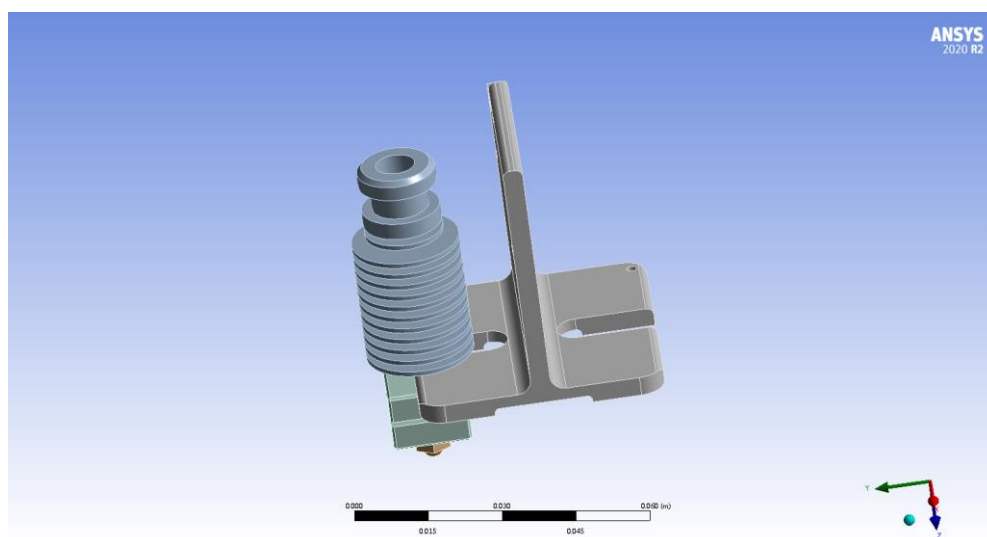


Рисунок 6 – Упрощенная модель одиночного сопла.

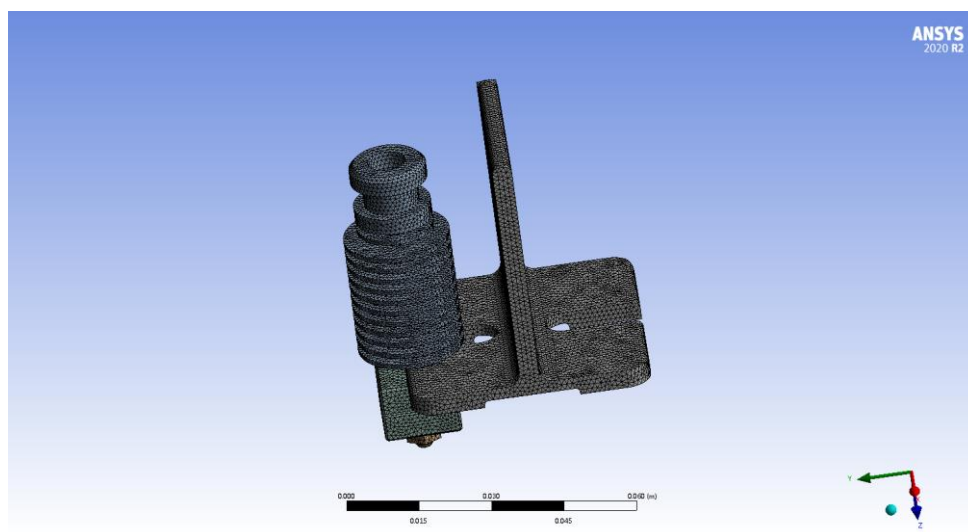


Рисунок 7 – Сетка конечных элементов, наложенная на расчетную модель

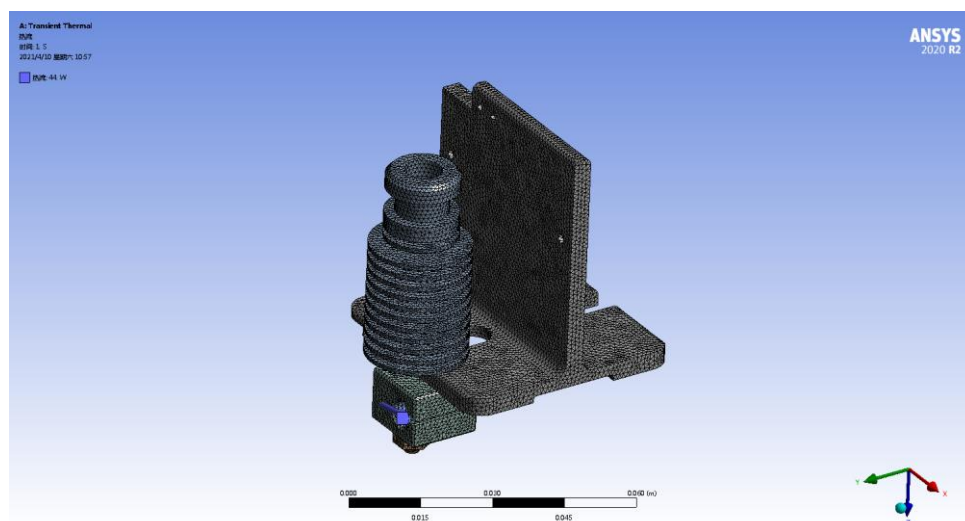


Рисунок 8 – Приложение тепловой нагрузки к расчетной модели

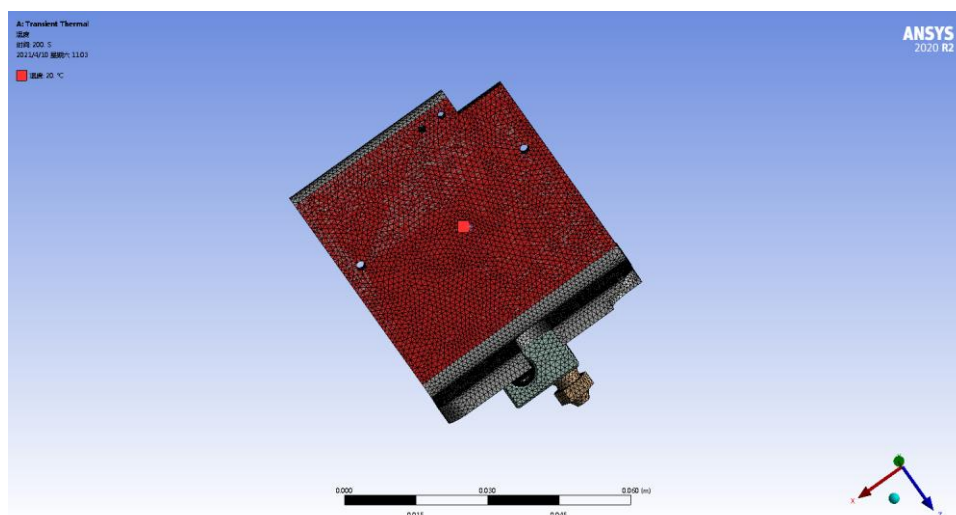


Рисунок 9 – Граничная температура одиночного сопла

Моделирование МКЭ показало, что температура элементов конструкции печатающей головки (упрощенная модель) достигает 200°C за 77 секунд. После достижения установленного времени 300 секунд получается картина распределения температуры, представленная на рисунке 10. Можно видеть, что температура отдельного сопла представляет собой ступенчатое изотермическое распределение в направлении сопла, что способствует плавлению материала филамента. Температура сопла достигает 200°C , соединительной части составляет около 51°C , а температура окружающей среды не меняется и составляет 20°C ,

поэтому считается, что нагрев сопла не оказывает явного теплового воздействия на другие части. Картина распределения термической деформации показано на рисунке 11. Можно видеть, что термическая деформация достигает максимальных значений в сопле и нагревательном алюминиевом блоке, и составляет около 0,155 мм. Такой величиной деформации можно было бы пренебречь, однако это составляет порядка 38% от наиболее распространенного диаметра отверстия сопла экструдера. Это весьма значительная погрешность. Бороться с ней можно, если избавиться от причин, порождающих ее, например если в качестве материала опорной платформы, деформация которой вносит наибольший вклад в погрешность использовать неметалл, например, полимер, имеющий меньший коэффициент теплового расширения. Другие ключевые компоненты деформируются менее чем на 0,05 мм, что можно считать малозначительным.

Расчетное время нагрева до 200 °C составляет около 77 с, и если температурная граница отсутствует, сопло будет продолжать неконтролируемо нагреваться, поэтому на практике температурный нагрев необходимо регулировать соответствующим образом. В дальнейшем предлагается использовать метод ПИД-регулирования температуры. Далее, при нагревании в течение примерно 100 секунд температура большинства элементов конструкции достигает 200°C и картина распределения тепловых полей стабилизируется.

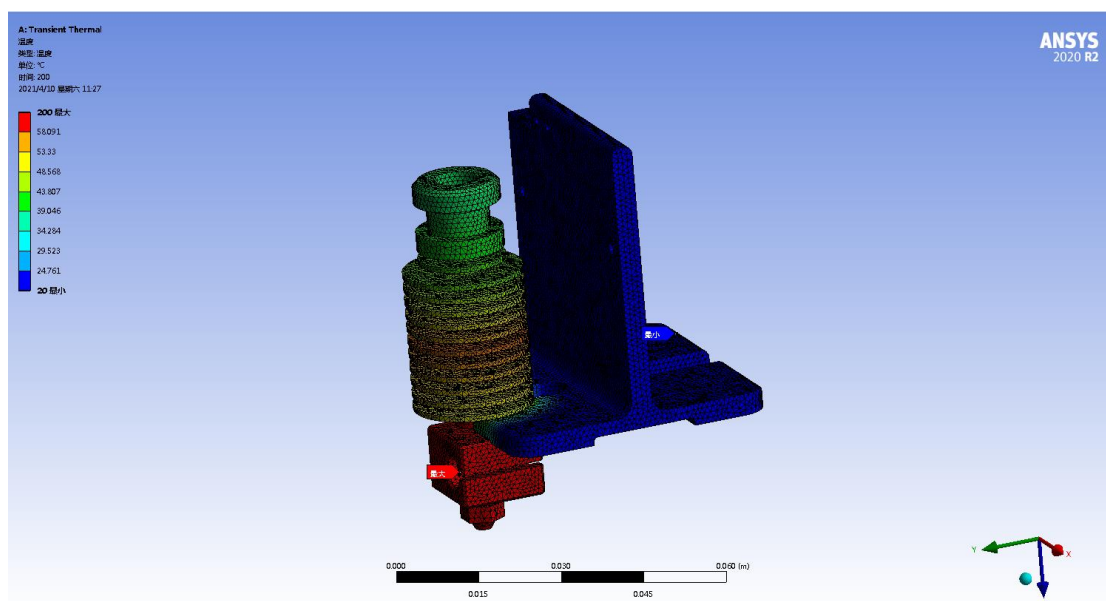


Рисунок 10 – Картина распределения температуры в модели с одиночным соплом

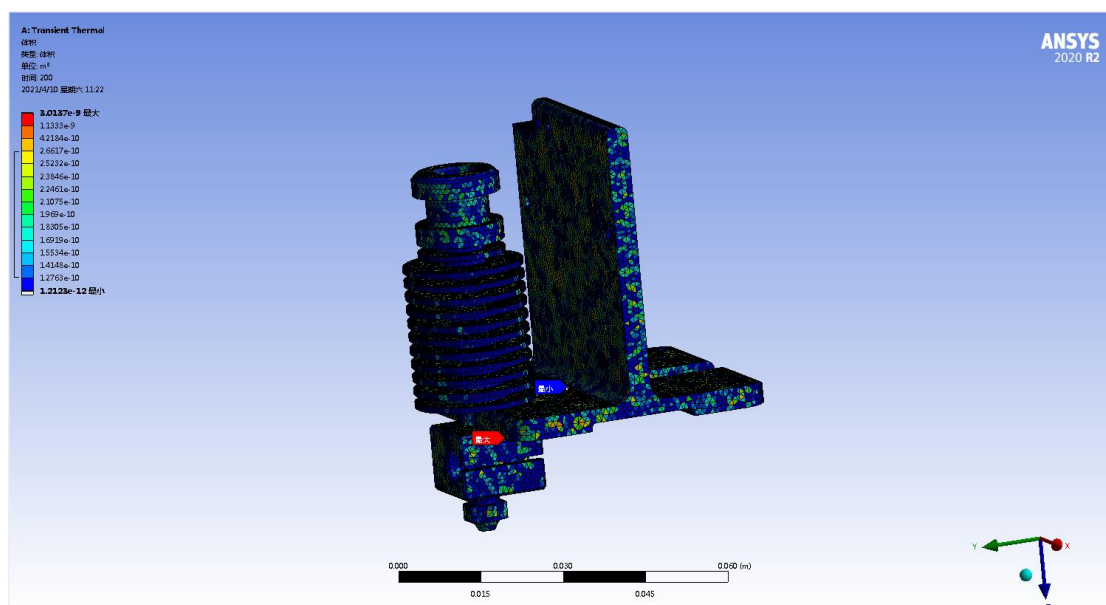


Рисунок 11 – Распределение полей термической деформации расчетной модели

3.2 Анализ материалов для использования в работе с предлагаемой конструкцией двухэкструдерной печатающей головки 3D-принтера

Поскольку исследование конструкции печатающей головки тесно связано с материалами для печати, прежде чем определять структуру двойной печатающей

головки, необходимо определить материалы для печати, используемые в этой статье. Характеристики термопластичных материалов, обычно используемых в технологии *FDM* показаны в таблице 1. Рассматривались полимерные материалы *ABS* (сополимер акрилонитрила с бутадиеном и стиролом) и *PLA* (полилактидная кислота, молочная кислота), как наиболее широко распространенные печатные материалы. *ABS* широко используется в промышленности из-за его хорошей ударной вязкости, но в процессе печати материал очень чувствителен к случайным воздушным потокам, а, кроме того, при плавлении *ABS* выделяет раздражающие и вредные газы. При больших объемах печати это вредно для человеческого организма, поэтому на современном рынке материалов для *3D*-печати, как правило, используется экологически чистый и разлагаемый *PLA*-материал, сырьем которого является кукуруза. В этой части работы, в качестве материала для печати выбирается материал *PLA*-пластик. В реальном тесте материала температура плавления материала составляет 200°C, диаметр филамента составляет 1,75 мм [9]

Таблица 1 – Характеристики обычно используемых термопластов в технологии *FDM*

Название материала	плотность (кг / м ³)	Температура плавления (°C)	Термическая деформация (°C)	Индекс расплава (г/10мин)	Предел прочности (МПа)	Прочность на изгиб (МПа)	Сила удара (кДж / м ²)
<i>ABS</i>	1,04	220-250	78	12	40,96	66,44	22,11
<i>PLA</i>	1,24	190-210	60	5	62,63	97,02	4,28

3.3 Анализ теплового влияния конструкции с двойным соплом

При использовании *PLA*, температура активного сопла 3D-принтера составляет 200°C. Если расстояние между соплами слишком мало, тепловой эффект от взаимного воздействия активного и неактивного сопел во время работы увеличит температуру неактивного сопла, вызывая постоянную термическую деформацию материала («паразитный» нагрев). Термически деформированный материал легко приведет к неравномерному выходу нити и утечке материала. Даже для таких проблем, как блокировка форсунок из-за влияния теплопередачи, подбор соответствующего расстояния между соплами, либо использование материала с иными физическими свойствами поможет избежать взаимного влияния попеременно нагреваемых сопел и влияния процесса теплообмена на печать.

Так же как и в ранее описанном случае модель упрощена.

В нестационарном термическом анализе, из-за прямого использования рабочей температуры, устанавливаем температурную нагрузку 200°C для одного из сопел, и наблюдаем за распределением полей температуры другого сопла при температуре окружающей среды 20°C. В моделировании используются параметры конечных элементов, аналогичные расчетам с одиночным соплом. Принимая во внимание размер крепежных элементов сопла, начальное расстояние между двумя соплами составляет 30 мм. В дальнейшем, расстояние между двумя соплами будем постепенно увеличивать с шагом в 5 мм до конечного значения в 55 мм. Картина распределения температурных полей показан при различных значениях расстояний между соплами на рисунках 12-17. Можно видеть, что распределение температуры сопла тепловой нагрузки по-прежнему ступенчатое, а

теплопроводность и тепловое излучение всесторонне влияют на распределение температуры другого сопла, и влияние постепенно уменьшается по мере увеличения расстояния. Влияние расстояния между соплами на распределению температуры в элементах исследуемой конструкции показано на рисунке 18 и обобщено в таблице 2.

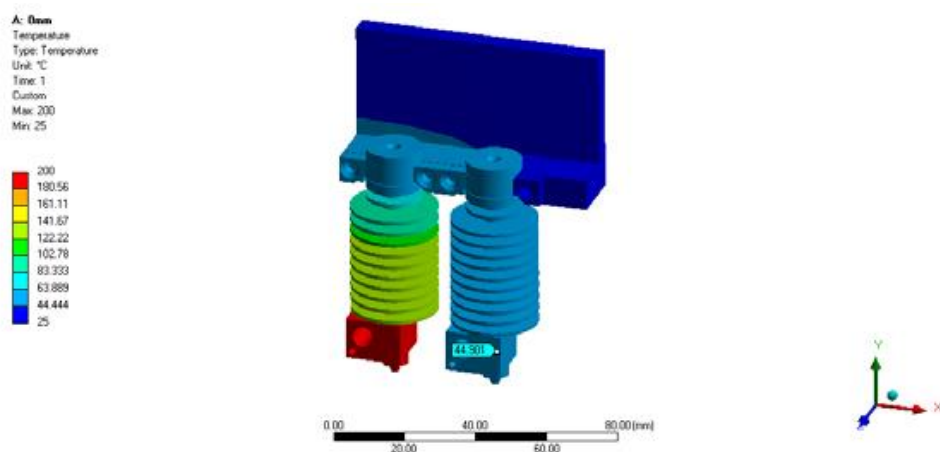


Рисунок 12 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 30 мм

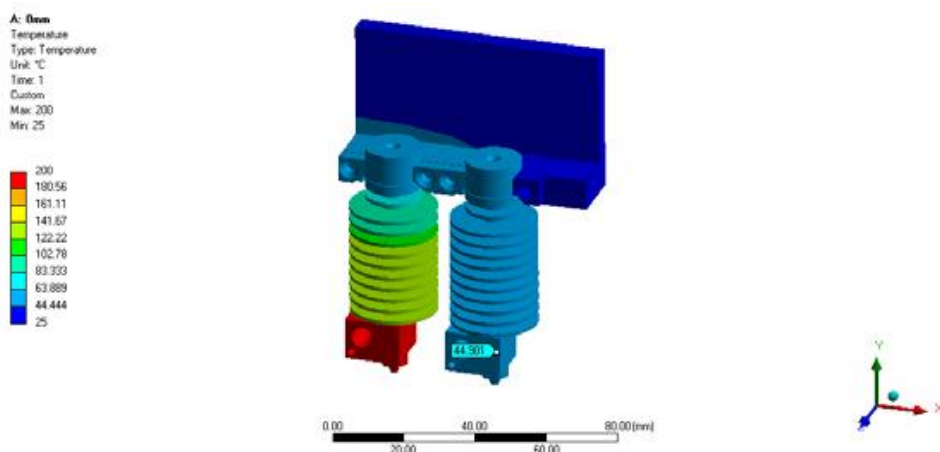


Рисунок 13 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 35 мм

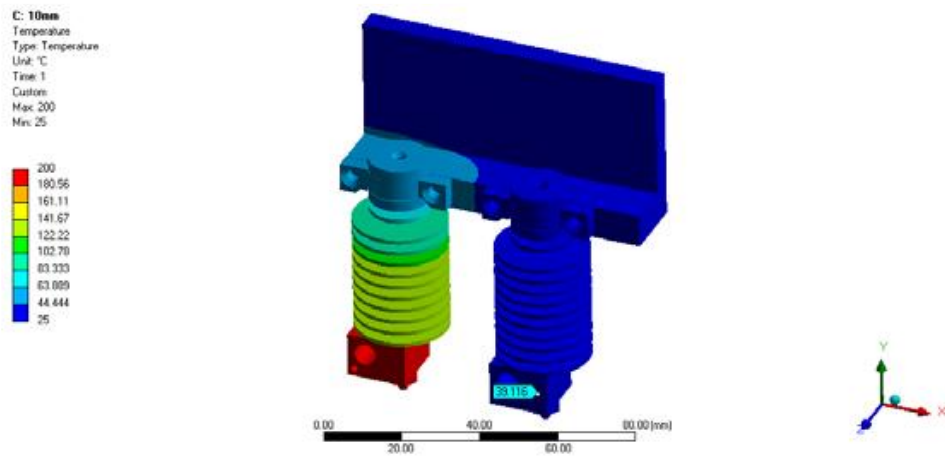


Рисунок 14 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 40 мм

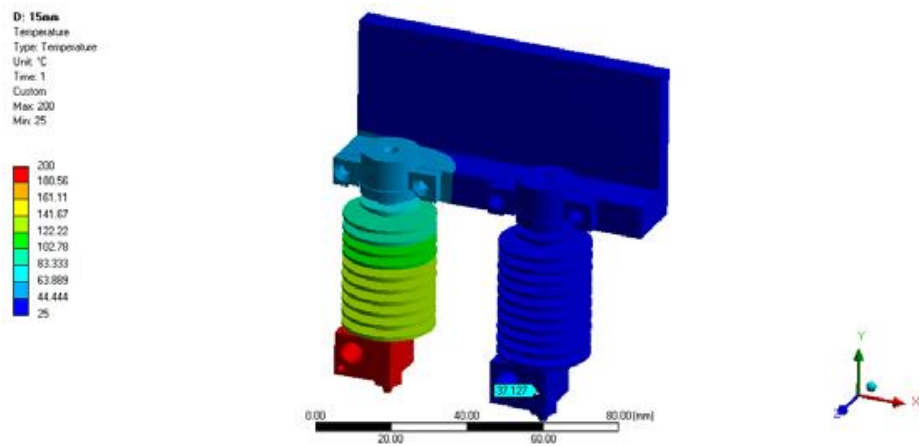


Рисунок 15 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 15 мм

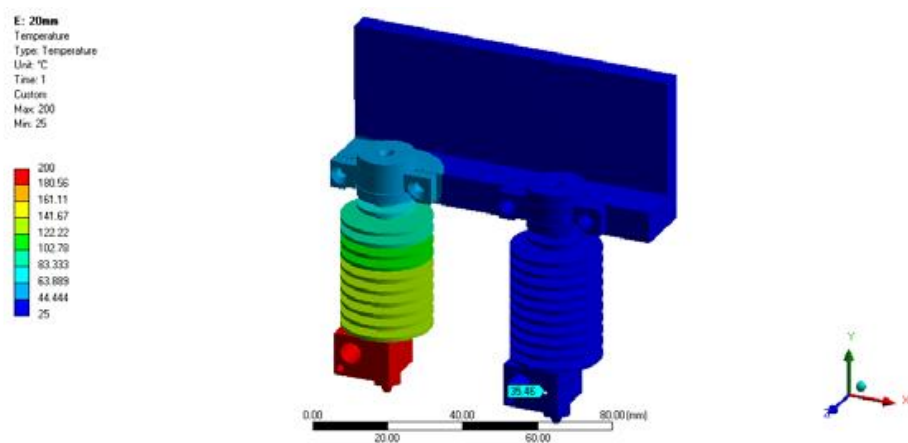


Рисунок 16 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 20 мм

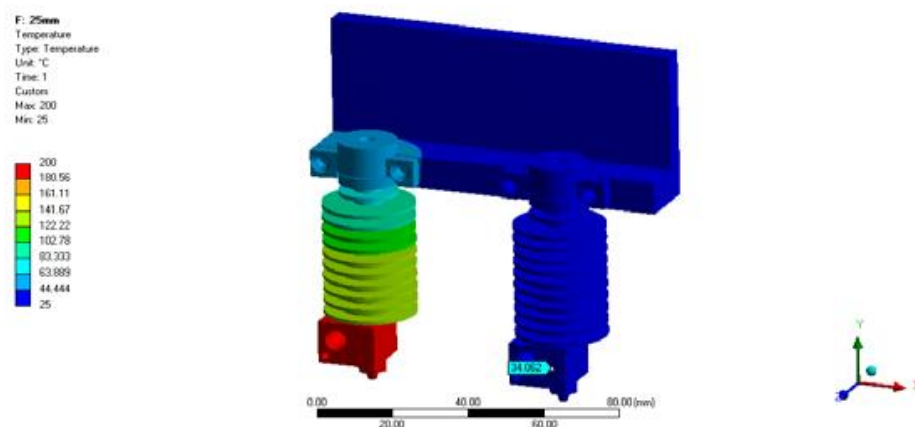


Рисунок 17 – Картина распределения температуры в элементах конструкции при расстоянии между нагреваемыми элементами 55 мм

Таблица 2 – Зависимость расстояния от температуры между двойными форсунками

Расстояние между осями симметрии сопел, мм	30	35	40	45	50	55	60
Температура активного сопла, °C	200	200	200	200	200	200	200
Температура неактивного сопла, °C	44,90	41,52	39,12	37,13	35,46	34,06	32,87

Поскольку общая модель теплопередачи более сложна, а поверхность теплопередачи имеет неправильную трехмерную форму, невозможно рассчитать теоретическую модель распределения температуры в одном интервале.

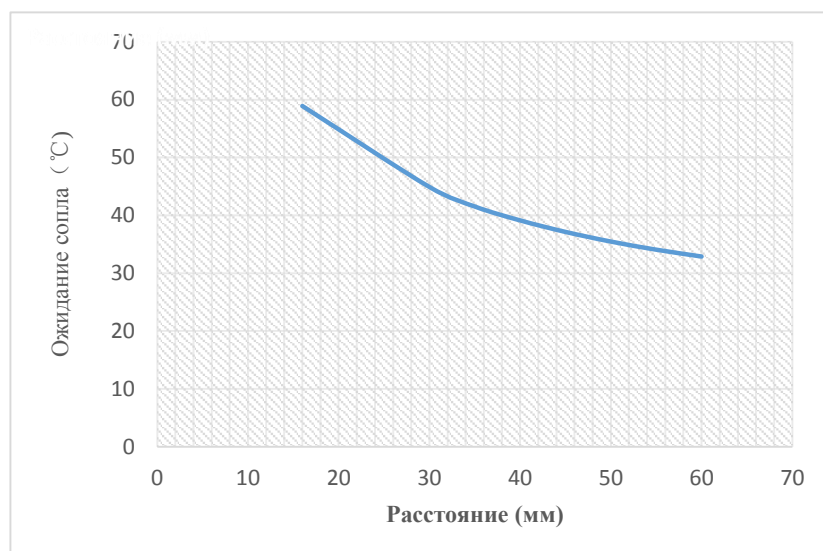


Рисунок 18 – График зависимости максимальной температуры ожидающего (неактивного) сопла, получающего «паразитный» нагрев от рабочего (активного) сопла от расстояния между осями симметрии сопел.

Формула подобранной степенной функции:

$$y = 204,4x^{-0,447}$$

Поскольку в этой работе для печати используется материал *PLA*, температура кристаллизации которого составляет порядка 60 °C, необходимо добиться такого взаиморасположения сопел экструдера, при котором «паразитный» нагрев не будет оказывать значимого влияния на температурный режим неактивного сопла. Если ввести значение 60°C в формулу 1, получим наименьшее безопасное расстояние около 16 мм. Учитывая возникающие в процессе эксплуатации и обслуживания проблемы с тесной компоновкой других конструктивных элементов, рекомендуемое минимальное расстояние между осями симметрии сопел, равное 28 мм должно удовлетворять всем требованиям.

4.Элементы конструкции печатающей головки

4.1 Экструдеры (хотэнды, *HotEnd*)

Для проектирования механизма в данной работе используются экструдеры с удалённой подачей прутка (*Bowden*) (рисунок 19).

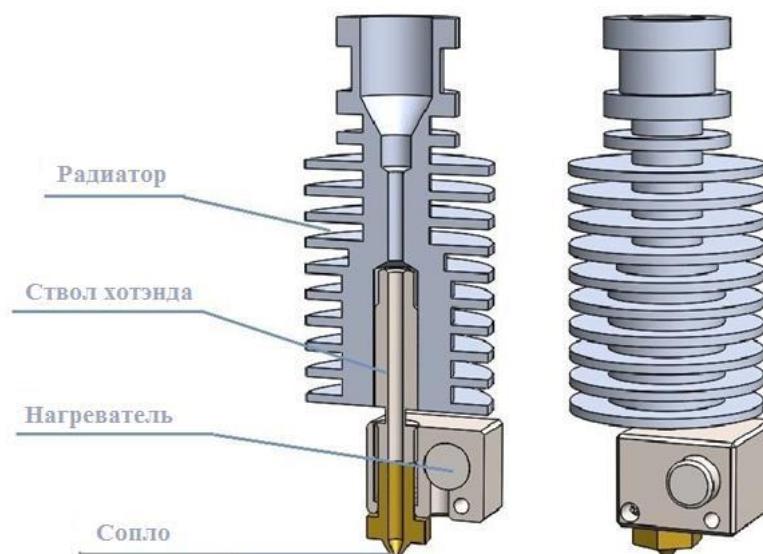


Рисунок 19 – Конструкция «боуден» хотэнда

При удалённой подаче экструдер закреплён на раме, а хотэнд на платформе. Пруток проходит по тefлоновой трубке между экструдером и хотэндом. На торце хотэнда имеется удерживающий зажим для трубки боудена.

Радиатор изготавливается из алюминия и служит для отвода тепла от ствола хотэнда (термобарьера) и предотвращения преждевременного нагрева материала для печати, поскольку, если филамент будет иметь температуру выше температуры кристаллизации в любом месте кроме сопла, нормальная подача материала прекратится и процесс печати будет прерван. В этом случае необходимо отслеживать каким либо способом движение филамента в подающем тракте, чтобы при любых отклонениях от нормы максимально быстро аварийно

остановить печать. В этом случае имеется немалый шанс возобновить процесс печати с прерванной позиции после устранения причин, приведших к возникновению нештатной работы оборудования.

Ствол хотенда – полая металлическая трубка, соединяющая радиатор и нагревательный элемент. При его изготовлении используется нержавеющая сталь из-за ее низкой теплопроводности.

Тонкая часть трубки служит термобарьером, образуя тепловой мостик с площадью поперечного сечения, минимально допустимой с точки зрения сохранения механической прочности. Такое решение позволяет минимизировать распространение тепла в верхнюю часть экструдера.

Сопло обычно изготавливается из латуни, так как данный материал имеет хорошую теплопроводность.

Наиболее удачным считается диаметр отверстия сопла равный 0,4 мм, так как при меньшем диаметре замедляется скорость, а при большем – страдает качество печати.

К достоинствам Боуден хотэндов стоит отнести следующее:

- материал не плавится раньше времени и не забивает механизм;
- печатающая головка значительно легче, что позволяет увеличить скорость печати.

Однако имеется и недостаток – филамент на таком большом расстоянии может перекручиваться и даже запутываться. Решением этой проблемы может стать увеличение мощности двигателя колдэнда.

Таким образом, для привода выбран хотэнд *E3D-V5*, который имеет следующие особенности:

- блок нагревателя выполнен из алюминия;
- не требуется пайка и сборка;
- минимальное количество составных частей;
- изделие совместимо с *Bowden Extruder*.

В комплекте:

Полностью собранный *HotEnd E3D V5 Bowden* (включая нагревательный элемент 12V/40W и термистор 100кОм (с кабелем 1м)

Вес и размеры

- вес: 0.12кг;
- размеры (Д x Ш x В): 7.00см x 5.00см x 5.50см.

4.2 Платформа для хотэндов

На рисунке 20 представлена 3D модель подвижной платформы, на которую устанавливаются экструдеры.

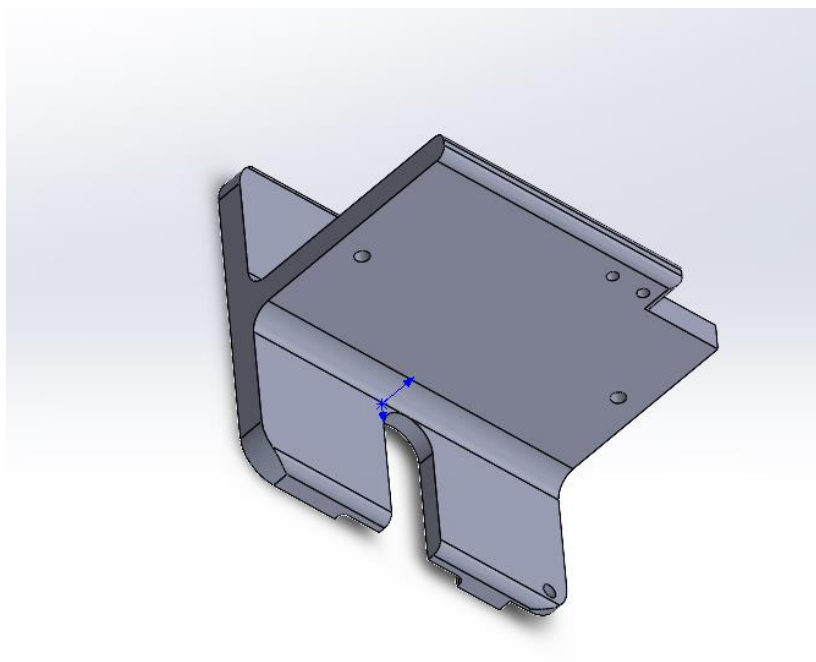


Рисунок 20 – Платформа для хотэндов

Несмотря на наличие термобарьера, определенная часть тепла от нагревателя переходит на радиатор, где утилизируется. Однако, в процессе радиатор за счет явлений теплопереноса передает часть тепла на контактирующую с ним поверхность подвижной платформы, т.е. материал платформы в окрестностях контакта с радиатором также нагревается. Кроме нагрева от активного хотэнда, на платформу воздействует еще и «паразитный» нагрев от неактивного, но все еще горячего второго хотэнда. Суммарный нагрев служит причиной термических деформаций платформы. Как уже говорилось ранее, деформация может достигать значительных величин и являться причиной возникновения больших погрешностей изготавливаемых деталей (см. п.3.1).

Ранее предлагались пути борьбы с деформацией. Один из них – применение для изготовления платформы материала с теплофизическими свойствами, отличными от металла, например полимеров. Однако, большинство полимеров имеют весьма низкую температуру кристаллизации, что ограничивает

их применение в нашем случае. Поскольку в этой работе в качестве материала для печати рассматриваются пластики *PLA* (температура плавления 200 °C) или *ABS* (температура плавления 230 °C), нагревать сопло требуется до указанных температур, а значит и контактирующая с хотэндом часть платформы будет нагреваться до весьма больших температур. Если судить по результатам теплового анализа (п. 3.1, рисунок 10, материал печати – пластик *PLA*) температура контактирующей поверхности платформы превышает температуру кристаллизации для *PLA*. При печати пластиком *ABS* тепловой режим будет еще более жестким. Исходя из этих соображений, для изготовления подвижной платформы был выбран инженерный пластик PEEK (полиэфирэфиркетон). Этот полимерный материал характеризуется высокой прочностью и имеет температуру плавления выше 300 °C, что позволяет использовать его в наших целях без опасений расплавления его в процессе работы. Будучи изготовленной из полимерного материала (рисунок 21), платформа будет обладать теплоизолирующими свойствами, практически отсекая «паразитный» нагрев неактивного хотэнда и деформируясь в процессе работы на величины, которыми можно пренебречь.



Рисунок 21 – Платформа, изготовленная из инженерного пластика PEEK

4.3 Рама печатающей головки

Поскольку данная деталь имеет довольно сложную форму (рис. 22) и не является стандартным изделием, ее изготовление будет производиться посредством 3D – печати из компьютерной модели с последующей механической обработкой и сверлением монтажных отверстий.

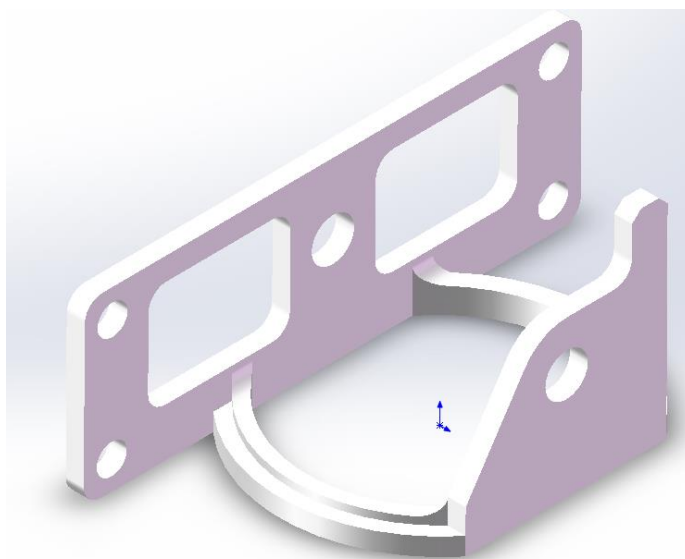


Рисунок 22 – Рама для печатающей головки

Так как рама является опорным элементом, её материал должен обладать хорошими прочностными характеристиками, и в то же самое время хорошо поддаваться постобработке (резка, шлифование, окраска и т.д.). Этим условиям вполне удовлетворяет пластик *PLA*.

4.4 Сервопривод *TowerPro SG90*

В начале необходимо определить требуемую мощность привода наклона подвижной платформы. Для этого проанализируем следующую силовую схему (рисунок 23).

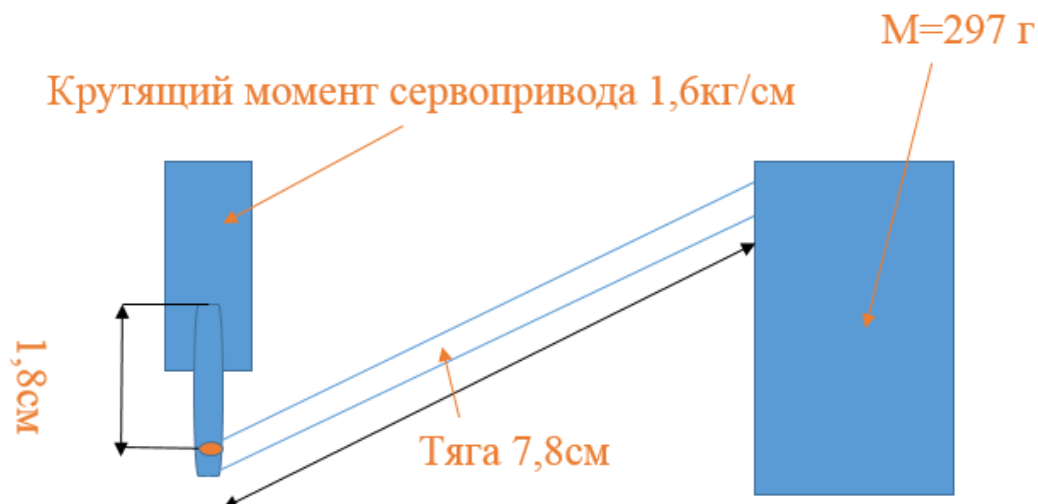


Рисунок 23 – Силовая схема для определения мощности привода

Если применить принципа рычага, то получим

$$1,6 \text{ кг/см} \times 1,8 \text{ см} = M1 \times 7,8 \text{ см}$$

Таким образом, требуемый момент на выходном валу исполнительного устройства (в нашем случае сервомашины) $M = 297 \text{ г} \cdot \text{см}$ или $0,3 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

Ориентируясь на рассчитанный требуемый момент и исходя из малых размеров печатающей головки, к использованию в разрабатываемой конструкции предлагается сервопривод *TowerPro SG90*. Данный привод является подходящим решением для разработанного механизма, т.к. удовлетворяет требованиям по мощности и имеет малые массогабаритные характеристики. Кроме того, для подключения данного сервопривода не требуется отдельного силового драйвера.

Технические характеристики *SG90* следующие [10]:

- рабочее напряжение: 3,5-6В;
- диапазон вращения: 180°;
- скорость вращения без нагрузки при 4,8В: 60° за 0,12с;

- скорость вращения без нагрузки при 6В: 60° за 0,10с;
- максимальный крутящий момент: 1,6 кг·см (при напряжении питания 6,0 В);
- габаритные размеры Д×Ш×В: 23×12×29мм;
- вес: 9г.

В комплекте помимо сервопривода также имеются нейлоновые тяги и винты для крепления.

Управление сервоприводом будет осуществляться с общей платы 3D-принтера. Чаще всего это настроечная плата *Arduino Uno*, совместно с платой расширения *Ramps 1.4*.

Управляющий сигнал представляет из себя импульсы, которые посылаются с определенной частотой. Для рассматриваемого сервопривода частота послания импульса почти всегда будет около 50 Гц (это примерно 1 раз в 20мс), а ширина импульса будет лежать в пределах от 544мкс до 2400мкс.

На рисунке 24 видно, что импульс шириной в 544 мкс выставит выводной вал в положение 0°, 1520 мкс соответствует углу в 90°, а 2400 мкс соответствует 180°.

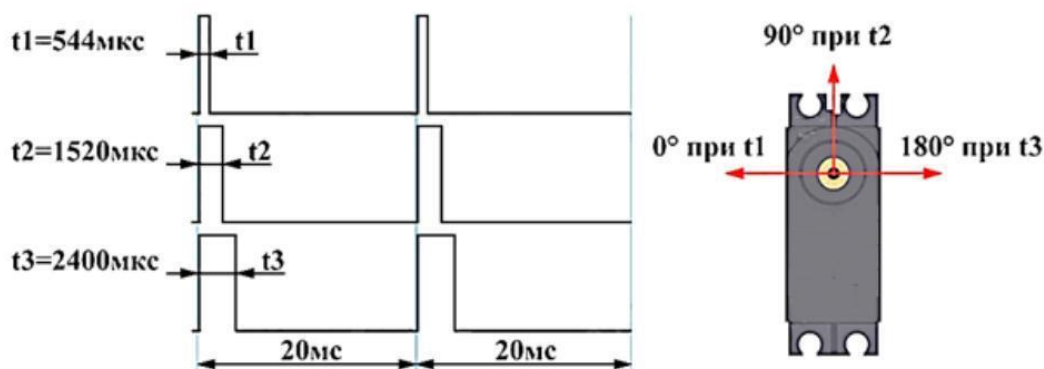


Рисунок 24 – Зависимость ширины импульсов управляющего сигнала от угла поворота выходного вала сервопривода

При изменении ширины импульсов в данных пределах возможно точно задать угол поворота выводного вала. Для подключения сервопривода к управляющей аппаратной платформе имеется 3 провода разных цветов:

- Коричневый – *GND* (земля), подаётся на любой из *GND* пинов *Arduino* (Приложение В);
- Красный – *VTG*, подключается на + 5 вольт на *Arduino*;
- Оранжевый – *SIG* (сигнал), выводится на ШИМ (*PWM*) вывод *Arduino*.

Схема подключения сервопривода к управляющей плате представлена на рисунке 25.

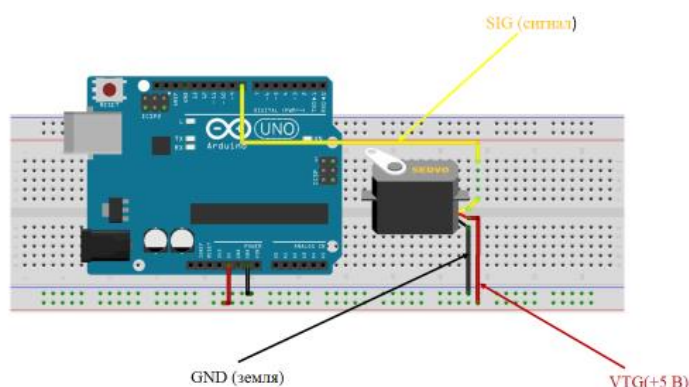


Рисунок 25 – Схема подключения сервопривода *TowerPro SG90* к управляющей плате.

Для управления сервоприводами с помощью *Arduino* есть стандартная библиотека в *IDE Arduino Servo.h*, которая включает в себя функции для установки настроек сервопривода, необходимого угла, считывания состояния.

Программный код, позволяющий менять величину угла поворота выходного вала:

```
#include <Servo.h> // добавляем библиотеку для работы с сервоприводом

Servo myservo;

void setup() {

myservo.attach(9); // устанавливаем пин как вывод управления сервой }

void loop() {

myservo.write(0);    // устанавливаем угол 0°

delay(2000);

myservo.write(22);    // устанавливаем угол 22°

delay(2000);

myservo.write(180); // устанавливаем угол 180°

delay(2000); }
```

4.5. Датчик движения филамента

В процессе работы в действие попеременно включается то один, то другой хотэнд печатающей головки. За счет наклона подвижной платформы, активный хотэнд находится в рабочем положении и через его тракт на нагретое сопло подается филамент, который, расплавляясь, вытекает на формируемую поверхность. Однако за счет определенной термической и механической инерции, схожие процессы протекают и в неактивном хотэнде. Другими словами, через ненагреваемое, но все еще достаточно горячее сопло неактивного хотэнда может вытекать жидкий полимер и его капли будут попадать на печатаемую поверхность, формируя дефекты. Для того чтобы избежать этого, в управляющую программу обычно вводят команды, заставляющие подающий

филамент двигателя экструдера вращаться в обратную сторону, тем самым как бы втягивая пластик обратно в тракт. Такой технологический прием называют «откатом» или «реверсом». Однако, процедура отката никак не контролируется. В процессе эксплуатации часто возникают различные факторы, например, пропуск шагов подающим шаговым двигателем экструдера и т.п., так что зачастую втягивания материала обратно в подающий тракт не происходит, либо происходит, но в недостаточной степени. Это отрицательно сказывается на качестве печати.

Для осуществления контроля за движением филамента предлагается использовать датчик движения филамента, построенный на основе инкрементного энкодера. Датчик работает следующим образом (рисунок 26). При движении по тракту, внутри датчика филаментная нить 1 в поперечном направлении зажимается между подпружиненным роликом в обойме 2 и колесиком 3, ось которого соединена с подвижным элементом энкодера 4. Усилие прижатия регулируется через пружину 5. При движении филамента, за счет сил трения, ролик и колесико начинают вращаться, вращение передается на энкодер, который формирует сигнал обратной связи для управляющей платы. В зависимости от сигнала ОС (т.е. от наличия движения филамента в подающем тракте) реализуется тот или иной программный сценарий, например программа может работать штатно, если филамент движется в заданном программой направлении. Если направление движения филамента некорректно, либо филамент остановился или вообще отсутствует (обрыв филамента или филамент на катушке закончился) произойдет прерывание работы для ее возобновления

после устранения нештатной ситуации.

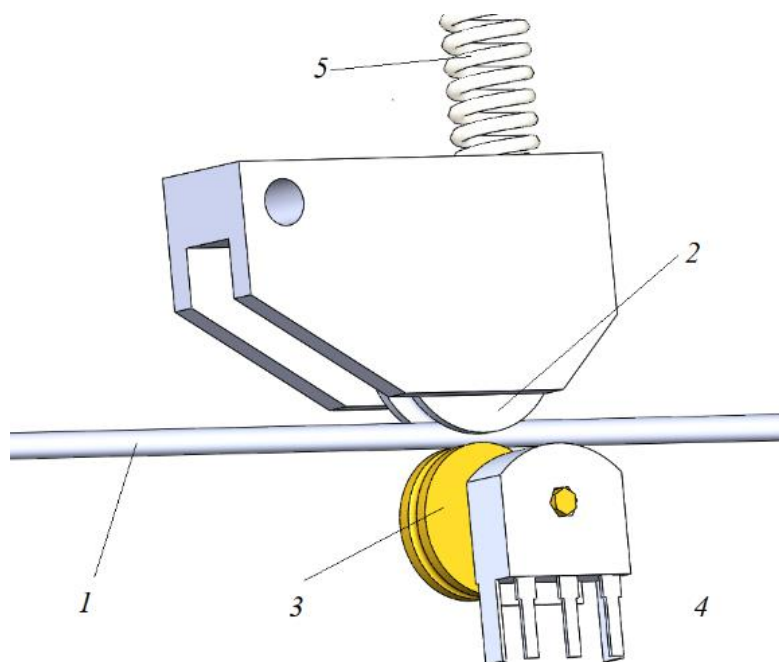


Рисунок 26 – Схема датчика наличия филамента в подающем тракте

Энкодеры можно назвать датчиками угловых перемещений. Они служат для преобразования угла поворота объекта вращения, например вала механизма, в сигнал электрического тока. При этом определяется не только угол поворота вала, но и направление его вращения, а также скорость вращения и текущее положение относительно начального положения.

Кодер имеет три информационных выхода, один общий, два других обычно называются **A** и **B**. В зависимости от направления вращения логическая единица сначала появится на выводе **A** или **B**, поэтому мы получаем сигнал сдвинутый по фазе, и этот сдвиг позволяет нам определить, в какую сторону. Сигнал получается в виде прямоугольной формы, а управление микроконтроллером происходит после обработки данных направления вращения и количества импульсов.

На рисунке 27 условное обозначение диска с контактами, посередине

график выходных сигналов, справа таблица состояний. Это устройство часто рисуют в виде двух клавиш, поскольку при работе получаются сигналы «вперед» или «назад», «вверх» или «вниз» и количество импульсов.

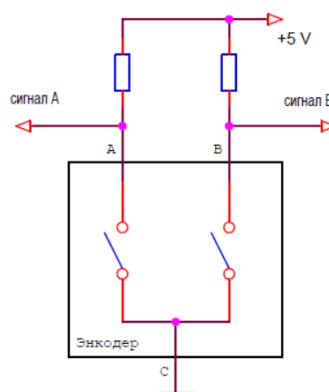


Рисунок 27 – Принцип работы энкодера

В контексте поставленной задачи выбор пал на энкодер *EC101102X2Z-VAX* (рисунок 28).



Рисунок 28 – Энкодер *EC101102X2Z-VAX*

Схема подключения энкодера к управляющей плате показана на рис. 29.

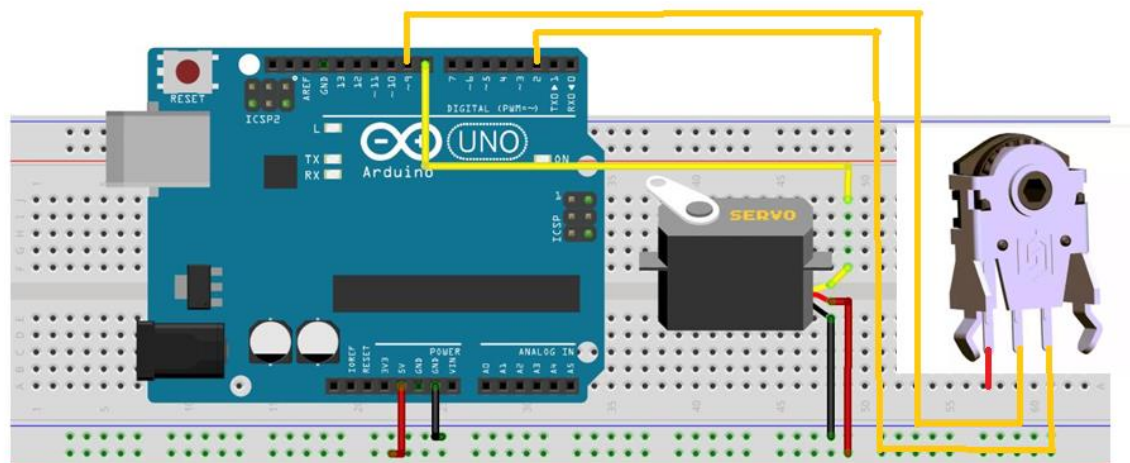


Рисунок 29 – Схема подключения энкодера *EC101102X2Z-VAX* к управляющей плате

Модуль энкодера – это плата на которой расположен инкрементный энкодер . Для подключения используем свободные цифровые пины.

В `void setup()` объявляем, что будет использоваться связь через последовательный порт, а затем пины 2 и 8 устанавливаются в режим входа. Константа `INPUT_PULLUP` выставляет режим входа, у управляющей платы есть два варианта:

`INPUT` – вход без подтягивающих резисторов;

`INPUT_PULLUP` – подключение ко входу подтягивающих резисторов.

Внутри микроконтроллера уже есть резисторы, через которые вход соединяется с плюсом питания (pullup).

Логика основной программы следующая: если на входе «2» присутствует логическая единица –в монитор порта выдается *H*, если нет – *L*. Таким образом, при вращении в одну сторону на мониторе последовательного порта получится примерно следующее: *LL HL HH LH LL*. При вращении в обратную сторону: *LL*

LH HH HL LL.

Программный код управления работой датчика наличия и движения филамента, имеющим в составе инкрементный энкодер выглядит следующим образом:

```
void setup() {  
  
    Serial. begin (9600); 9600  
  
    pinMode (2, INPUT_PULLUP) ; //определить выход как вход  
    pinMode (8, INPUT_PULLUP) ; //определить выход как вход  
  
}  
  
void loop(){  
  
    if( digitalRead(2)== HIGH ) Serial. print ("H ");  
    else Serial. print("L ");  
  
    if( digitalRead(8) = HIGH ) Serial. println("H");  
    else Serial. println("L");  
  
    delay 200) ;
```

4.6 Рассеивание тепла

Рабочая температура сопла и прилегающих к нему элементов хотэнда головки, печатающей материалом *PLA*, достигает 170-200 °C, при том, что большинство деталей самой головки выполнены тоже из *PLA*. То есть, в процессе печати вследствие перераспределения тепла имеется вероятность возникновения деформаций, которые повлияют на качество печати. Поэтому выбор вентилятора очень важен. На печатающей головке установлен

охлаждающий вентилятор, он разделен на две части: непосредственно вентилятор (рисунок 30 а) и обойму вентилятора (рисунок 30 б). Узел вентилятора показан на рисунке 30 в. Характеристики выбранного вентилятора [12] представлены в Приложении Д .

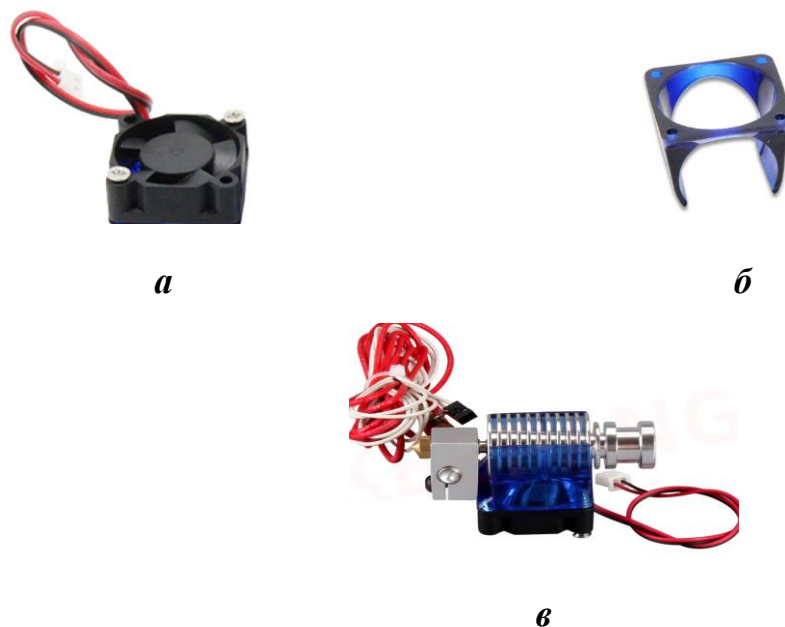


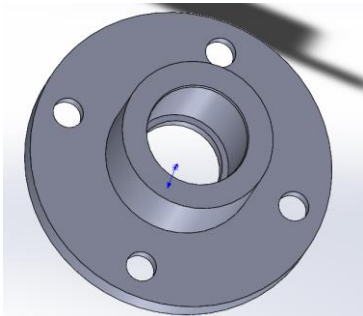
Рисунок 30 – Вентилятор (а) с обоймой (б) и узел вентилятора в сборе (в)

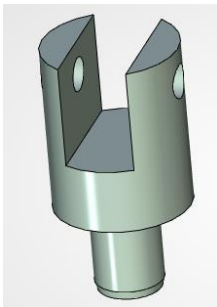
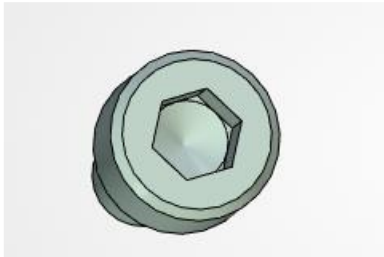
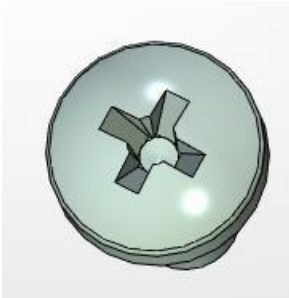
4.7. Сборка макета двухэкструдерной печатающей головки

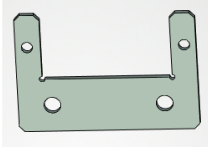
Сборка модели затруднена тем обстоятельством, что значительная часть деталей не являются стандартными, их нельзя приобрести. Такие детали необходимо изготавливать самостоятельно. Для этих целей использовалась технология 3D-печати, т.е. рассматриваемый узел фактически является RepRap-изделием.

Перечень элементов, входящих в состав конструкции печатающей головки представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Компоненты механизма

Деталь	Кол- во, шт	3D - модель	Материал
Тяга сервопривода	1		<i>PLA</i>
Корпус подшипникового узла	2		<i>PLA</i>

Полуось	2		<i>PLA</i>
Винт М3 ГОСТ 11738-84	3		Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т
Винт М5 ГОСТ <i>ISO</i> 7045-2013	6		Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т

Пластина опорная	1		<i>PLA</i>
Уголок	1	Уголок	<i>PLA</i>
Винт М2 ГОСТ 116-44	2		Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т
Гайка М2 ГОСТ ISO 4036-2014	2		Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т
Винт М3 ГОСТ Р ISO 7046-1-2013	8		Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т

Для изготовления большинства деталей, входящих в состав узла используется пластик *PLA*, так как он обладает требуемыми прочностными характеристиками и хорошо поддается постобработке. Кроме того, этот материал экологически чистый и разлагаемый, сырьем для его изготовления является кукуруза.

К числу деталей, изготавливаемых методом 3D-печати относятся Рама, Платформа, Корпус подшипникового узла, Полуось, Стойка пружинная, Уголок, Пластина опорная, Тяга сервопривода (рисунок 31).

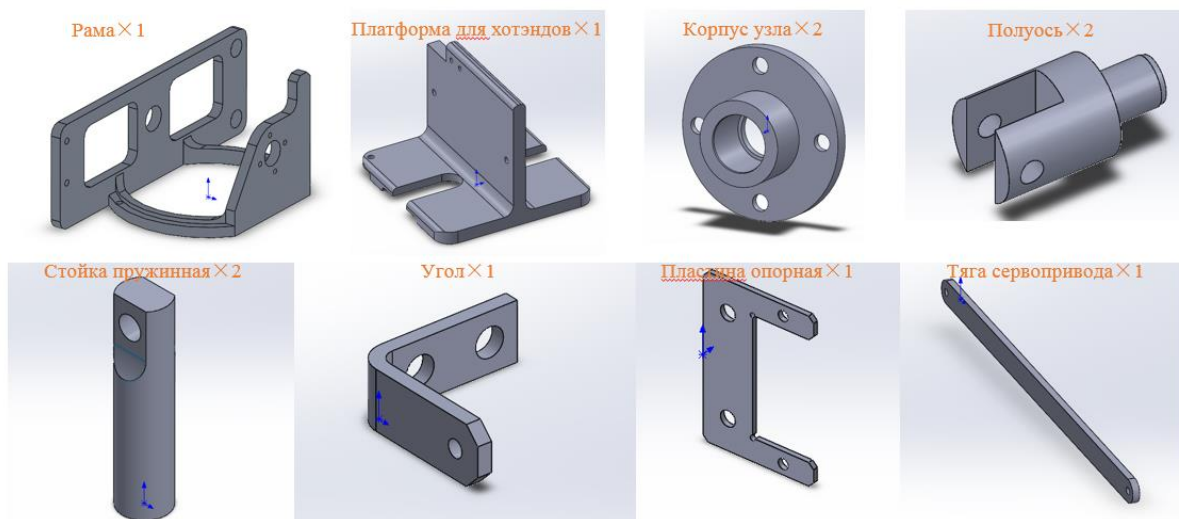


Рисунок 31 – Модели, изготовленные из пластика *PLA*

Программное обеспечение для 3D-принтера *Creality Slicer* начинается с обработки цифровых 3D-моделей. Модель в формате *STL* ориентирована наиболее подходящим для печати способом, разбита на слои. Далее, генерируется G-code для печати на детали принтере. Программное обеспечение может регулировать соответствующую скорость движения печатающей головки, температуру платформы печати, температуру печатающей головки и т.д. (рис. 32).

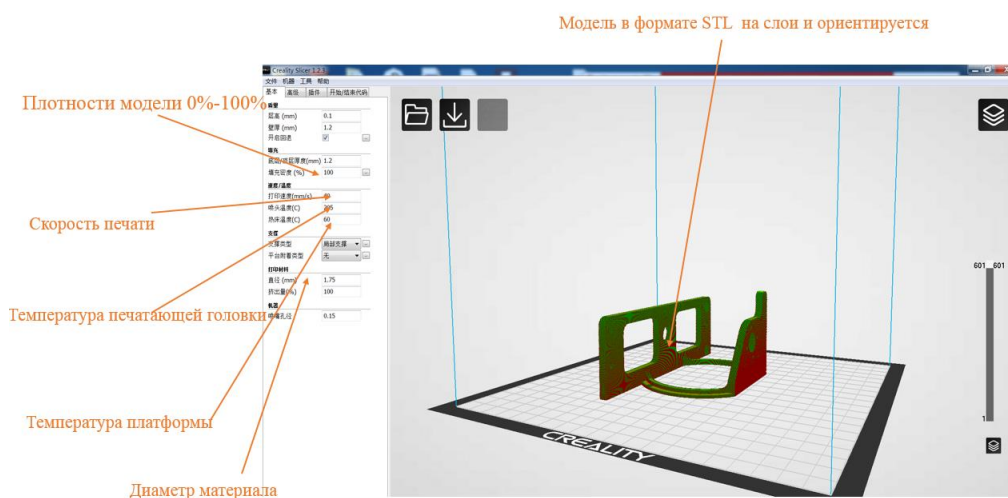


Рисунок 32 – Пример пользовательского интерфейса при выборе режимов печати в специальном программном обеспечении *Creality Slicer*.

Видно, что время печати можно спрогнозировать в программе. Среди деталей самым продолжительным временем печати была рама, на печать которой ушло почти 16 часов (рисунок 33).

При печати использовались следующие параметры: скорость печати 40мм/с, температура нагрева сопла 195 °С, температура нагрева рабочего стола 60 °С.

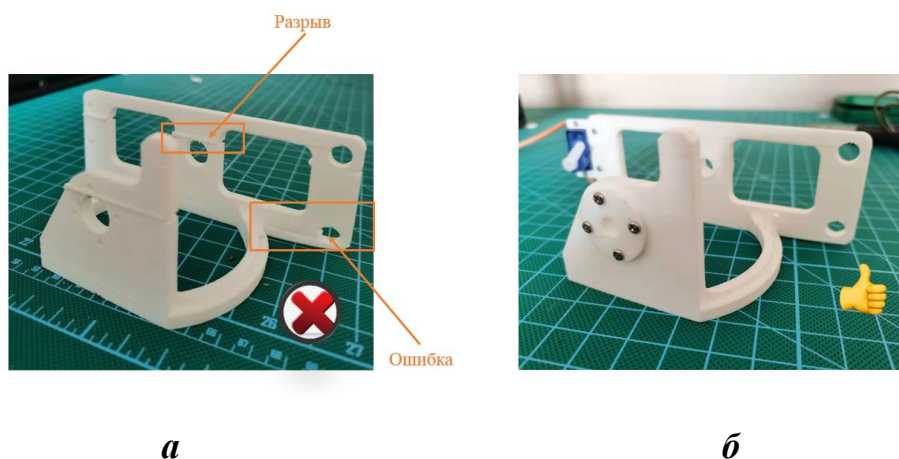


Рисунок 33 – Напечатанная модель рамы. Модель с дефектами печати (а) и улучшенная модель без дефектов печати (б).

После выбора деталей для печати были выбраны стандартные детали и узлы: винты и гайки, экструдеры *E3D-V5*, сервопривод *SG-90*.

Таким образом, в работе были подобраны все необходимые компоненты для проектирования опытного образца механизма. Все детали, материалом которых значится *PLA*, были напечатаны на 3D-принтере по компьютерным моделям, разработанным в САПР *DS SolidWorks* и обработанным в программе-слайсере *Crealty Slicer*, изготовленные детали механически обработаны. Конструкция была собрана в виде макета (рисунок 34). Также, подготовлена конструкторская документация на изделие (Приложение Б)

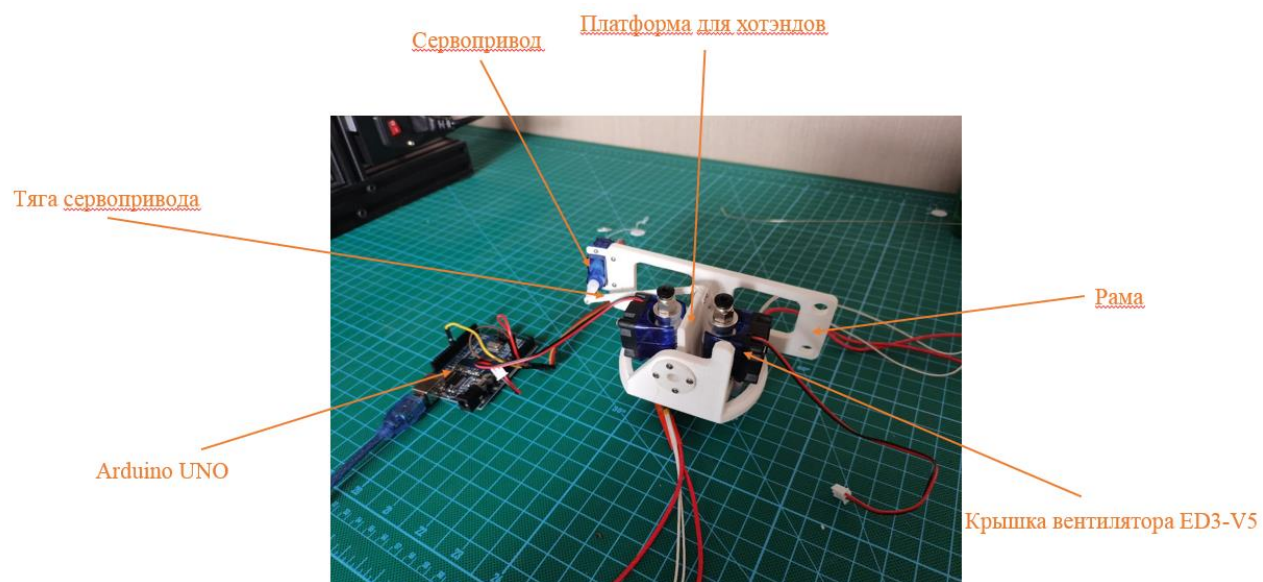


Рисунок 34 – Собранный макет печатающей головки

Заключение

В процессе выполнения ВКР был разработан привод печатающей головки дельта принтера для 3D печати с повышенной подвижностью. Тепловой режим, возникающий при работе двух хотэндов был промоделирован в специальном программном обеспечении *ANSYS*, анализ результатов позволил определить оптимальный диапазон расстояний между двумя осями сопел печатающей головки. Была разработана схема подключения привода наклона подвижной платформы для обеспечения работы одного из двух экструдеров, составлен программный код для управления работой привода. Для определения движения филамента в неактивном хотэнде печатающей головки был спроектирован датчик на основе инкрементного энкодера, разработана схема его подключения к управляющей плате, составлен программный код.

Также, в работе было использовано программное обеспечение *DS SolidWorks* для создания компьютерных моделей деталей и узлов, ПО *Creality Slicer* использовалось для слайсинга и последующего преобразования электронной модели в формат *G-code*, детали были изготовлены методом 3D-печати из полимерных материалов *PLA* и *PEEK* на 3D-принтере. После постобработки (шлифовка и рассверливание монтажных отверстий) макет двухэкструдерной печатающей головки был собран и испытан.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Технико-экономическое обоснование НИР

В настоящее время рынок 3D-печати в России стремительно развивается. В продаже появляется всё больше усовершенствованных моделей, однако проблемы при послойной печати объектов всё еще существуют. По этой причине, пользователи 3D принтеров пытаются найти альтернативные способы устранения дефектов печати.

В данном разделе выпускной квалификационной работы производится анализ экономической выгоды внедрения разработанного механизма наклона печатающей головки для отрасли 3D печати. Официальных прототипов привода с возможностью придания дополнительной степени подвижности печатающей головки в России пока что не существует, а закупка оборудования за пределами страны повлечет за собой огромные затраты, что невыгодно для пользователей, которые применяют технологию 3d печати не для коммерческих целей.

Разработка данного механизма отвечает современным требованиям ресурсоэффективности.

Результаты НИИ актуальны для предприятий и потребителей, заинтересованных в улучшении качества 3D печати с использованием двух материалов.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ.

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	

Продолжение таблицы 4

Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Инженер
	7	Составление сравнительной таблицы	
Практические исследования	8	Проведение экспериментов	Научный руководитель, студент
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Заключение	Научный руководитель, студент

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \times t_{\text{mini}} + 2 \times t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее

неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Чі}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Чі$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студент в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ

из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$Tki = Tri * k_{\text{кал}},$$

где Tki – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

Tri – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2021 год, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 249 дней, количество выходных и праздничных 116 дней, таким образом: $k_{\text{кал}} = 1,53$. Все рассчитанные значения вносим в таблицу 5.

После заполнения таблицы 5 строим календарный план-график (табл. 6). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени работы над ВКР. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожi}$, чел-дни			
Составление и утверждение темы ВКР	2	5	3	Симанкин Ф.А.	2	3
Анализ актуальности темы	1	2	2	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	1	1
Постановка задач	1	2	2	Сю Хуацин .	2	3
Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	2	4	3	Исаева Д.В. Симанкин Ф.А.	2	3
Подбор литературы по тематике работы	7	10	8	Сю Хуацин	8	12
Сбор материалов и анализ системы	14	17	15	Сю Хуацин	15	22
Выбор составных частей конструкции	7	9	8	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	8	12
Разработка привода	5	7	6	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	3	4
Оценка и анализ полученных результатов	3	3	3	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	2	3
Работа над выводами по проекту	2	4	3	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	2	4
Итого						67

Таблица 6 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

Этап	Вид работы	Исполнители	t _к	Февраль	Март	Апрель	Май
1	Составление и утверждение задания ВКР	Симанкин Ф.А.	3				
2	Анализ актуальности темы	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	1		 		
3	Постановка задач	Сю Хуацин	3				
4	Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	3		 		
5	Подбор литературы по тематике работы	Сю Хуацин	12				
6	Сбор материалов и анализ существующих методов	Сю Хуацин	22			 	
7	Выбор оптимального метода	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	12			 	
8	Проведение экспериментов по выбранному методу	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	4			 	
9	Оценка эффективности полученных результатов	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	3			 	
10	Работа над выводами по проекту	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	4				



- научный руководитель;



- студент-дипломник.

5.3.1 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_m) \sum_{i=1}^Q Ц_i N_{расхi}$$

где Q – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_m – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	лист	130	2	260
Картридж для принтера	шт.	1	1000	1100
Интернет	М/бит (пакет)	1	500	550
Ручка	шт.	1	20	22
Флэшка USB	(Гб)	8	68	600
Итого				2532

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 8 – Расчет затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.
1	Ноутбук с программным обеспечением	1	80
Итого			

По формуле, представленной ниже, рассчитывается сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств используемых при реализации проекта.

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{пер}} \cdot H_A}{100\%}$$

где $\Phi_{\text{пер}}$ – первоначальная стоимость оборудования;

H_A – норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot 100\%$$

где $T_{\text{сл}}$ – срок службы оборудования, мес.

Специальное оборудование, используемое в исследованиях, представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Специальное оборудование, используемое в исследованиях

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	$\Phi_{\text{пер}}$, тыс. руб.	$T_{\text{сл}}$, мес.	H_A , % в мес.	C_A в месяц, руб.	Период реализации, мес.	C_A за весь период, тыс. руб.
Осциллограф	1	80	60	1.67	1336	10	13.36
Итого							13.36

5.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Название работы	Исполнители	Трудо-емкость ,чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Составление и утверждение темы ВКР	Симанкин Ф.А.	3	1374,7	4124,1
2	Анализ актуальности темы	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	2	1786,9	3573,8
3	Постановка задач	Сю Хуацин	2	412,2	824,4
4	Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	Исаева Д.В. Симанкин Ф.А.	3	1786,9	5360,7
5	Подбор литературы по тематике работы	Сю Хуацин	8	412,2	3297,6
6	Сбор материалов и анализ системы	Сю Хуацин	15	412,2	6183
7	Выбор составных частей конструкции	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	8	1786,9	14295,2
8	Разработка привода	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	6	1786,9	10721,4
9	Оценка и анализ полученных результатов	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	3	1786,9	5360,7
10	Анализ результатов, заключение	Сю Хуацин Симанкин Ф.А.	3	1786,9	5360,7

Продолжение таблицы 10

11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации, графического материала)	Сю Хуацин	9	412,2	3709,8
Итого			62	13744,9	62811,4

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени на отпуск	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p,$$

где $Z_{окл}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб. дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	1,3	49010	1763.69	12	21164.28
Инженер	13900	1,3	18070	650.27	170	110546.13

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 13 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	25863,5	0,12	3103,6
Инженер	36947,9		4433,7
Итого			7537,3

5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб
Руководитель проекта	25863,5	3103,6
Студент-дипломник	36947,9	4433,7

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302
Итого: 70348,7 руб.	

5.5 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на организацию, управление и обслуживание процесса производства товара, оказания услуги; носят комплексный характер, т.е. включают различные экономические элементы затрат.

Накладные расходы составляют 5% - 16 % от суммы основной, дополнительной заработной платы и от страховых взносов, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot \kappa_{\text{нр}} ,$$

где $\kappa_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot \kappa_{\text{нр}} = (2532 + 13360 + 62811.4 + 7537.3 + 70348.7) \cdot 16\% = 25054.3 \text{ руб.}$$

5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	2532
Затраты на амортизацию оборудования.	13360
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	62811,4
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7537,3
Отчисления во внебюджетные фонды	70348,7
Накладные расходы	25054.3
Бюджет затрат НТИ	258946,1

5.7 Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 16 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	2	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	2	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3	5	4
4. Энергосбережение	0,20	5	3	3
5. Надежность	0,25	5	3	3
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1	3,8	3,95	3,55

$$I_{p-исп1} = 2*0.1 + 2*0.15 + 3*0.15 + 5*0.2 + 5*0.25 + 4*0.15 = 3.8$$

$$I_{p-исп2} = 5*0.1 + 5*0.15 + 5*0.15 + 3*0.2 + 3*0.25 + 4*0.15 = 3.95$$

$$I_{p-исп3} = 4*0.1 + 4*0.15 + 4*0.15 + 3*0.2 + 3*0.25 + 4*0.15 = 3.55$$

Таблица 17 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,5	1	0,67
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1	0,6	0,6
3	Интегральный показатель эффективности	7,6	3,95	5,29
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,92	1	1,34

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов разработки позволило определить сравнительную эффективность проекта, по таблице 17 наиболее целесообразный вариант исполнения 1.

Вывод

В результате проделанной работы определена трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования, посчитана заработная плата научного руководителя и студента.

Также был сформирован бюджет затрат проекта.

6. Социальная ответственность

Социальная ответственность – ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

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

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 18 и 19.

Таблица 18 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0,1
Теплый	23-25		0,1

Таблица 19 – Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0,5
Теплый	22	28	20-80	<0,5

Температура в теплый период года (23 - 25) °С, в холодный период года (19 - 23) °С, относительная влажность воздуха (40 - 60) %, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Общая площадь рабочего помещения составляет 15 м² , объем составляет 45 м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха ,скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством

наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³ [15].

В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 45 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100 °С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [16]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [17].

6.1.2 Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ

уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [18].

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

Средства коллективной защиты:

1. Устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. Изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
3. Применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

Средства индивидуальной защиты:

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

6.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [19]. Плотность магнитного потока

не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [20]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7 - 791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.) [21].

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

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83):

- а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;

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

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

6. 1.4 Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [22].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$;

$U < (2 - 36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горящей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;
- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства;
- устройства автоматического контроля и сигнализации;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства;
- молниеотводы и разрядники;
- знаки безопасности.

Средства индивидуальной защиты:

- диэлектрические перчатки;

- изолирующие штанги;
 - изолирующие и электроизмерительные клещи;
 - слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжений.

2. Освещенность

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

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

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

6. Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

7. Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента

светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5$ м, ширина $B = 3$ м, высота $H = 3$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (12)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 5 \times 3 = 15 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Pi} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-30, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 1650$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-30. Этот светильник имеет две лампы мощностью 30 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне (1,1 – 1,3). Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (13)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3 - 1 - 0,5 = 1,5 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \times h = 1,1 \times 1,5 = 1,65 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{3}{1,65} = 1,81 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{5}{1,65} = 3,03 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \times Nb = 3 \times 2 = 6$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{1,65}{3} = 0,55 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке 35 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

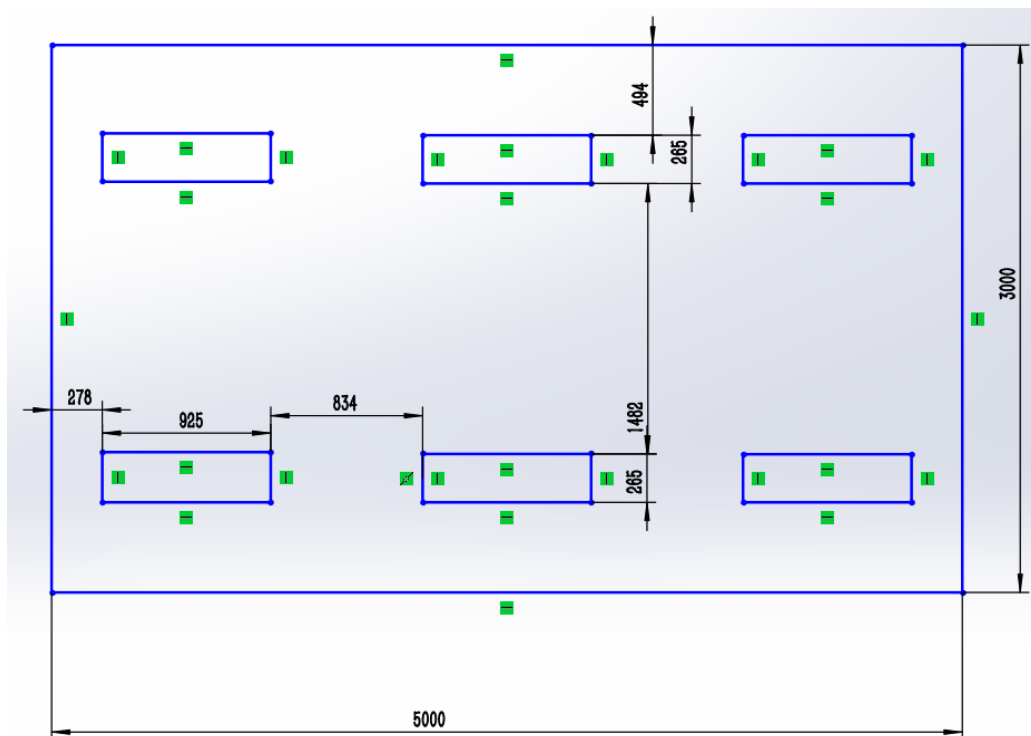


Рисунок 35. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{5 \times 3}{1,5 \times (5 + 3)} = 1,25$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\Pi} = 70\%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток люминесцентной лампы светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \times S \times K_3 \times Z}{N \times \eta} = \frac{400 \times 15 \times 1,5 \times 1,1}{12 \times 0,47} = 1755,3 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \times 100\% = \leq 20 \%$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \times 100 \% = \frac{1650 - 1755,3}{1650} \times 100 \% = 6,4 \%$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 12 \times 30 = 360 \text{ Вт}$$

6.1.5 Пожарная опасность

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В— горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

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

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

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

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

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

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

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

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-

75 и СНиП 2.04.05-86;

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений до взрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 36, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

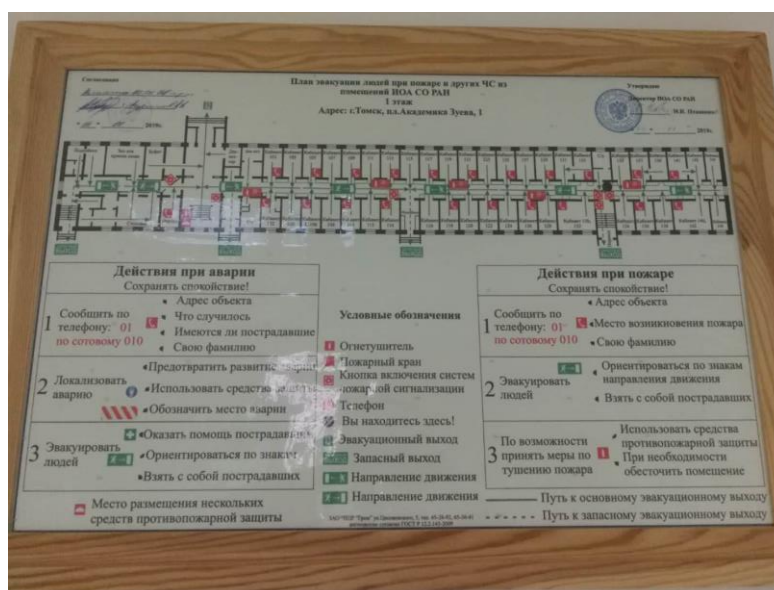


Рисунок 36. План эвакуации

6.2 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды [25].

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части классифицируют (сталь, медь, алюминий), минимизируют по объему, упаковывают, хранят на складе до накопления до 1 транспортной единицы и потом направляют на соответствующий металлургический передел;
- неметаллические части компьютера (пластик) измельчают, также накапливают объем до 1 транспортной единицы и направляют в дорожно-строительную фирму в качестве пластифицирующей добавки дорожно-строительной смеси;

Измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше.

Алюминий и медь также отделяют вручную. После измельчения эти металлы разделяют гравитационным способом, упаковывают и направляют на соответствующие металлургические переделы.

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во

вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

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

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

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения.

Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

1) Природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте), требуется обеспечить

трудоспособность при каждой из вышеперечисленных ЧС;

2) Техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.

В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах [24].

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

Заключение

В процессе выполнения ВКР был разработан привод печатающей головки дельта принтера для 3D печати с повышенной подвижностью. Тепловой режим, возникающий при работе двух хотэндов был промоделирован в специальном программном обеспечении *ANSYS*, анализ результатов позволил определить оптимальный диапазон расстояний между двумя осями сопел печатающей головки. Была разработана схема подключения привода наклона подвижной платформы для обеспечения работы одного из двух экструдеров, составлен программный код для управления работой привода. Для определения движения филамента в неактивном хотэнде печатающей головки был спроектирован датчик на основе инкрементного энкодера, разработана схема его подключения к управляющей плате, составлен программный код.

Также, в работе было использовано программное обеспечение *DS SolidWorks* для создания компьютерных моделей деталей и узлов, ПО *Crealiti Slicer* использовалось для слайсинга и последующего преобразования электронной модели в формат *G-code*, детали были изготовлены методом 3D-печати из полимерных материалов *PLA* и *PEEK* на 3D-принтере. После постобработки (шлифовка и рассверливание монтажных отверстий) макет двухэкструдерной печатающей головки был собран и испытан.

В результате проделанной работы по разделу финансового менеджмента определена трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования, посчитана заработная плата научного руководителя и студента, был сформирован бюджет затрат проекта.

Кроме того, в ходе выполненной работы по разделу социальной ответственности, были определены опасные производственные факторы, выработаны рекомендации для снижения рисков их воздействия и безопасной эксплуатации спроектированного устройства, в том числе и с точки зрения минимизации вредного воздействия на окружающую среду.

Список использованных источников

1. 3D-принтеры с разной кинематикой: сравнение, плюсы и минусы [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://top3dshop.ru/blog/types-of-fdm-3d-printer.html>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.05.2022 г.
2. Слюсар В.И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования // Электроника: наука, технология, бизнес. - 2003. - № 5. С. 54 - 60
3. Моделирование методом наплавления: пошаговое руководство [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.
4. Устройство 3D-принтеров с технологией FDM-печати [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/Ustrojstvo-3D-printerov-s-tehnologiej-F-DM-pechat>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.
5. 3D принтеры: сравнение, плюсы и минусы [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <http://compblog.ilc.edu.ru/blog/13790.html> , свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.
6. 3D-печать двумя экструдерами [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <https://3dboom.su/blog/3d-pechat-dvumya-ekstruderami.html>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.

7. Dual Extruder [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <http://www.spiderbot.eu/en/products/upgrades/spiderbot-dual-extruderdetail>,

свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.

8. Характеристики ABS и PLA [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: https://www.sohu.com/a/111163001_356715, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус.,

англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.

9. Сервопривод TowerPro SG-90 [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: [http://smartelements.ru/collection/motory-dravery-shassi/product/servoprivod](http://smartelements.ru/collection/motory-dravery-shassi/product/servoprivod-towerpro-sg90)

[towerpro-sg90](http://smartelements.ru/collection/motory-dravery-shassi/product/servoprivod-towerpro-sg90), свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.

10. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Расчет и конструирование: МГТУ, 2004. - Vol.31, №2. - С. 12-23.

11. Злемекты приборных устройств: Курсовое проектирование. Учебн пособие для вузов. в 2-х ч. Ч. 1. Расчеты / Н. П. Нестерова, А. П. Коваденко, О. Ф. Тищенко и др.; Под ред. О. Ф. Тищенко.: Высш. школа, 1978. - Vol.2, №3. - С. 244-250.

12. Характеристики Pt100 [Электронный ресурс] / - Электрон. URL: <http://m.elecfans.com/article/569994.html> , свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус.,

англ. Дата обращения: 01.03.2022 г.

13. Табель технологического оборудования и специального инструмента для СТОА/АП. Грибков, Н.Б.Иванов и др.- М: Колос, 1989. - Vol.31, №6. – С.129:1-129:9.

14. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. - Vol.521, №1. -73.

15. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ /Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. – Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 75 с.

16. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2003. –8 с.

17. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.

18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

20. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Общие требования и нормативные виды защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27 с.

21. ГОСТ 12.4.154–85. ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. – М: Стандартиформ, 1986. – 12 с

22. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Стандартиформ, 2006. – 68 с

23. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

24. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Васи-левский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд – во Томский политехнический университет, 2009. — 101 с.

Приложение А

(справочное)

Раздел ВКР на иностранном языке

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ01	Сю Хуацин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф. А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Кобзева Н.А.	к.п.н		

Literature review

1.1 Overview of FDM printing

The production cycle begins with the processing of a 3D digital model. The STL model is layered and oriented in the most suitable way for printing. Then, the G-code is obtained by “Slicing”, which is the process of preparing a model for printing. The G-code contains all the printing parameters and extruder movements, and generates the supporting structure necessary for printing overhanging elements. For some devices, different materials can be used during the same production run. For example, it is possible to print a model using one material with the support printed by another readily dissolving material, which makes it easy to remove the supporting structure when the printing process is complete. It is also possible to print a model using the same material with different colors.

The product, or "model", is produced by extrusion of the successive layers, formed by liquid drops of molten thermoplastic, which solidify immediately after extrusion [2].

The filament is unwound from a spool and fed into an extruder, which contains a mechanical drive for filing the filament, a heating element for melting the material and a nozzle for extruding the materials. The filament is melt by the heated nozzle, and the molten material is used to build the model. However, the top of the nozzle is generally cooled by a fan to create a sharp temperature variation, which is necessary for a smooth extrusion of the material.

The extruder moves in the horizontal and vertical planes under the control of algorithms similar to those used in numerically controlled machines. The nozzle moves along a trajectory specified by the computer-aided design system. The model is built layer by layer, from bottom to top. Typically, an extruder (also called a "printhead") is driven by stepper motors or servo drives. The most popular coordinate system used in FDM is rectangular, with the X, Y and Z axes (Figure 1). Another option is the cylindrical coordinate system used in so-called "delta robots" (Figure 1).

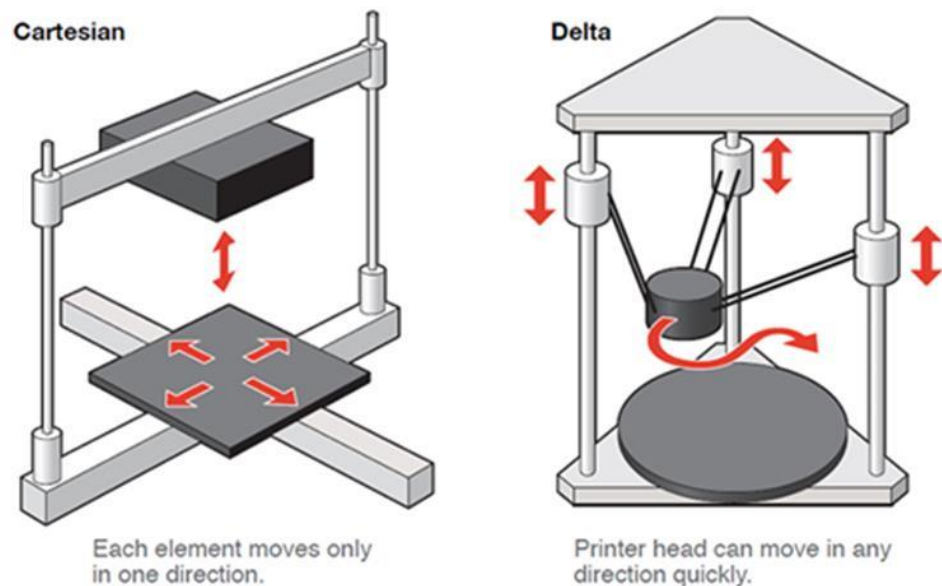


Figure 1 – 3D printer based on Cartesian robot and delta printer

FDM technology is highly flexible, but it has certain limitations. Although it is possible to create the overhanging structures at small angles of inclination, artificial supports are necessary through the whole printing process in the case of large angles of inclination.

There is a wide variety of thermoplastics and composites available for consumables, including ABS, PLA [3], polycarbonates, polyamides, polystyrene, lignin, and so on. Generally, different materials provide a balance between the strength

and temperature characteristics.

1.2 Overview of multi extrusion head

The print head of an FDM printer is called an extruder (from extrude - to extrude), which reflects its principle of operation. The extruder creates an object layer by layer, squeezing the molten material through a nozzle, which works in the same way with a tube of toothpaste, a glue gun and a syringe with silicone sealants.

Thermoplastics ABS and PLA in the form of a filament (filament) are the most widely used materials for printing in FDM-devices [4].

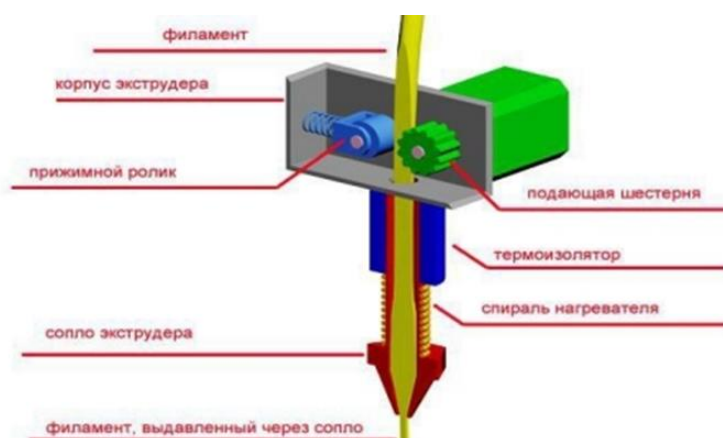


Figure 2 – 3D Printer extruder device

The main structural element of a FDM-3D printer is the print head, which consists of an extruder and a heater.

An extruder is a 3D printer feeding mechanism that provides a metered supply of polymer filament to the heater. The extruder is frequently improperly taken as the entire head, which contains a heater and a feeder. However, this is not true since the extruder is

the largest part of the printhead.

The heater is one of the parts of the print head, in which the filament is melted and extruded through a tiny nozzle (diameter: 0.15-0.50 mm). A nozzle heater is often referred to as a hot-end, and an extruder is often referred to as a cold-end.

There are polymer filaments and rods with diameters of 0.175 cm and 0.3 cm on the market. The extruder can work with filaments of any diameter previously mentioned, which should be taken into account when purchasing consumables.

A stepper motor with a system of gears and shafts is used to feed the polymer filaments into the print head. The controller, which controls the motor, ensures the required feed rate of filament, as well as their extraction when changing the material.

The temperature of the printhead heater is controlled by a thermistor, which is connected with four wires: two thin wires were connected to the thermistor and two thick wires were connected to the heater.

The nozzle of the print head is a consumable item, which should be cleaned or replaced with a new one when its hole is covered with carbon deposits and clogs over time. Therefore, it is desirable that the nozzle is replaceable without hassle. Thus, a threaded connection is used. The pitch and diameter of the thread can be different, and the thread itself on the nozzle can be both internal and external. As a result, nozzles of different printers are not always interchangeable [5].

1.3 Printing an object with two materials

The number of extruders can vary depending on the purpose of the 3D printer. The simplest option is to use one single printhead. Compared to the single printhead, the dual extruder greatly expands the capabilities of the device, allowing you to print one model in two different colors, as well as different materials. It's also important to notice that FDM printers cannot print "over the air" when building complex models with overhanging structural elements, since the applied layers require support.

1.3.1 Support materials

When there are 3D printing products with complex shapes, any process encounters the phenomenon of gravity would make it difficult to create overhanging structure. Support materials are a great solution to this problem, which provide support structures for the overhanging structure and the separation layer when printing complex models.

Support materials for FDM printing can be roughly divided into two groups:

1. Removable

The removable support materials are mostly made from the same material from which the model is constructed, but with a much lower density. In this case, when the printing is completed, it is necessary to remove the support mechanically and to smooth the broken point.

The second option is to use a more fragile material or a material that has much lower adhesion to the main one. For example, for printers with two extruders, PLA plastic can be used as the support material and ABS can be used as the main one.

The advantages are as follows:

- only one print head is needed;
- there is no need for additional materials.

The disadvantages are:

- it is economically unprofitable;
- post-processing is complicated and time-consuming;
- there is a risk of damaging the model during removal;
- when using some materials (for example PLA), the break points have sharp edges, which can lead to injuries during the operation;
- it is not suitable for all models (many complex ones are not available).

2. Fusible

A low melting point (60-100°C) is the most distinctive feature of low-melting materials. Low-melting materials generally contain various types of wax, as well as gel-like substances. Such materials are removed by heating with oven or hair dryer.

The advantages are:

- ease of use;
- availability;
- strength;
- ease of removal;
- ecological safety;

- ability to be used in complex / composite models (for movable joints, wax residues can even act as an additional lubricant);

- possibility of reuse, immediately after use.

The disadvantages are:

- unsuitable for models made from low-melting materials;

- if the model is to be painted later, additional processing may be required to completely remove the wax from the model surface.

1.3.2 3D printer with two extruders

The two-color 3D printer is equipped with two print heads (extruders) and separate reels with multi-colored plastic.

Each extruder forms a drop of plastic and carries it to the printing platform.

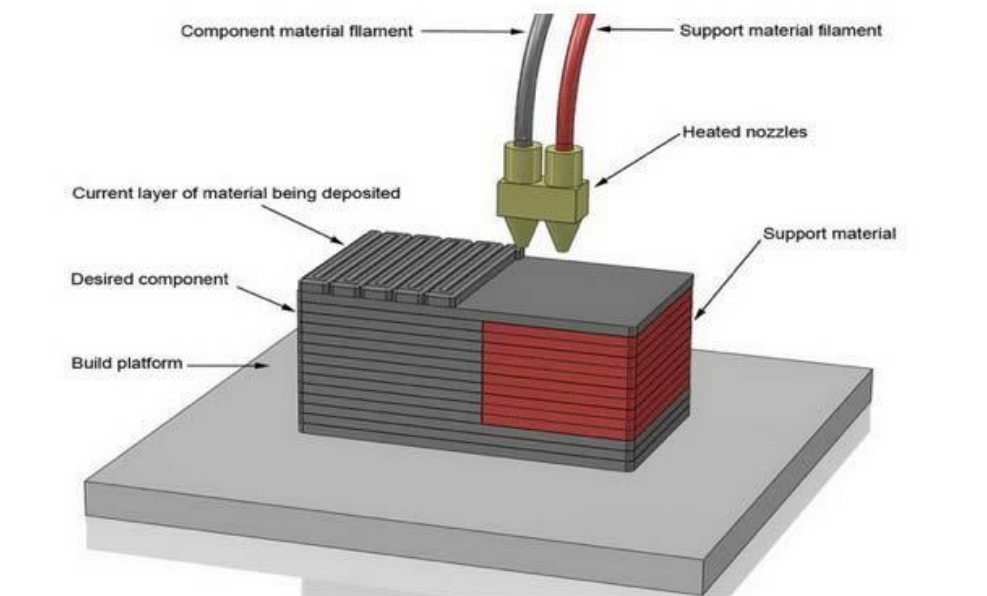


Figure 3 – Printing an object with two extruders

The advantages of 3D printers with two extruders are:

1. Ability to create two-color products, apply contrasting labels to finished products.
2. Ability to use soluble support material.
3. Ability to simultaneously print two objects of the same shape

The most common problems when printing with two extruders:

1. Calibrating a 3D printer when using two extruders is difficult. In addition, it is necessary to accurately set the gap between each nozzle and the platform. Moreover, the height of both nozzles with each other should be aligned.

2. When printing with two extruders, there is a possibility that molten plastic from one nozzle will spontaneously flow onto an object that is currently being printed by another extruder [6].

The solution to this problem is to construct special protective walls around the object. However, this would result in the increase of the material consumption and the number of printing operations.

3. Modern 3D printers cannot print different objects simultaneously with both extruders, since the heads are rigidly fixed and do not move independently. Therefore, the printer uses each extruder when needed.

4. When preparing for printing, it is necessary to consider the distance between the nozzles of the heads.

The solution to most of the problems of 3D printer with two extruders is to introduce an additional degree of mobility for the print head.

Tilting the print head will allow you to:

1. Simplify the calibration procedure;
2. Prevent the influence of leaked plastic from the inactive nozzle;
3. Disregard the distance between nozzles.

Thus, the introduction of an additional degree of mobility for the print head will avoid many printing problems encountered by users, and will simplify the process of 3D printing.

1.4 Analysis of existing structures

Currently, the investigations on the mechanism of tilting the print heads are limited. Advanced users of 3D printers are trying to independently solve the existing printing problems with the help of improvised means, design improvements, or by modifying the program code. However, there is already a mechanism on the market that is a promising alternative for tilting extruders.

1.4.1 SpiderBot Dual Extruder Upgrade

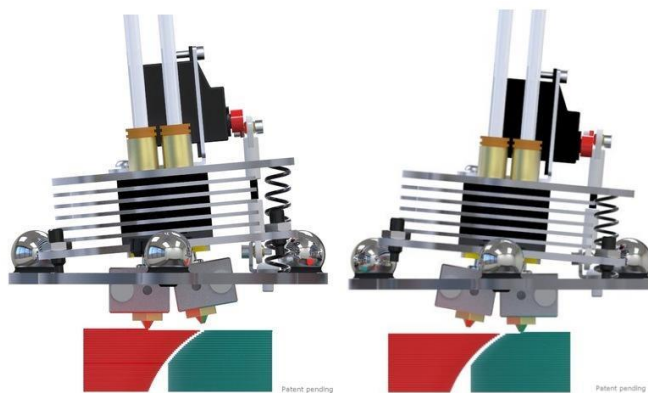


Figure 4 – Design and principle of operation of the SpiderBot Dual Extruder Upgrade

Initially, the printheads are located at a certain angle, so that when printing with one nozzle, the second does not touch the surface of the object. If it is necessary to change the material, the extruders are tilted so that an inactive nozzle is activated and the printing with another material begins, with the other nozzle above the surface.

The tilt is carried out by a servo motor, which is connected to a pneumatic piston attached to the extruder frame. In addition, there is a spring that serves as a damper in the design. When it is necessary to change the nozzle, the servomotor turns the output shaft by a certain degree, and the piston is raised or lowered. The frame tilts under the action of the piston, and the print head also tilts.

This mechanism has lots of advantages:

- It's pretty compact;
- The weight of the whole structure is less than 200 g;
- The mechanism has two powerful ceramic heaters (12V, 40W) and two thermocouples capable of heating up to 260 °C;
- Printing speed 10.0 m³ / hour.

However, there are several disadvantages of this mechanism:

Tilting has solved the plastic leakage problem, but the nozzle still needs cleaning before printing a new layer, which significantly increases material consumption, and results in the increase of the cost of printing an object.

5 Development of the drive of a double extruder print head of a 3d printer

5.2 Development of a computer 3D model for the print head with double extruder using CAD DS SolidWorks

The computer model of a printing head with a two-extruder for 3d printer was developed using the computer-aided design (CAD) DS SolidWorks (Fig. 5).

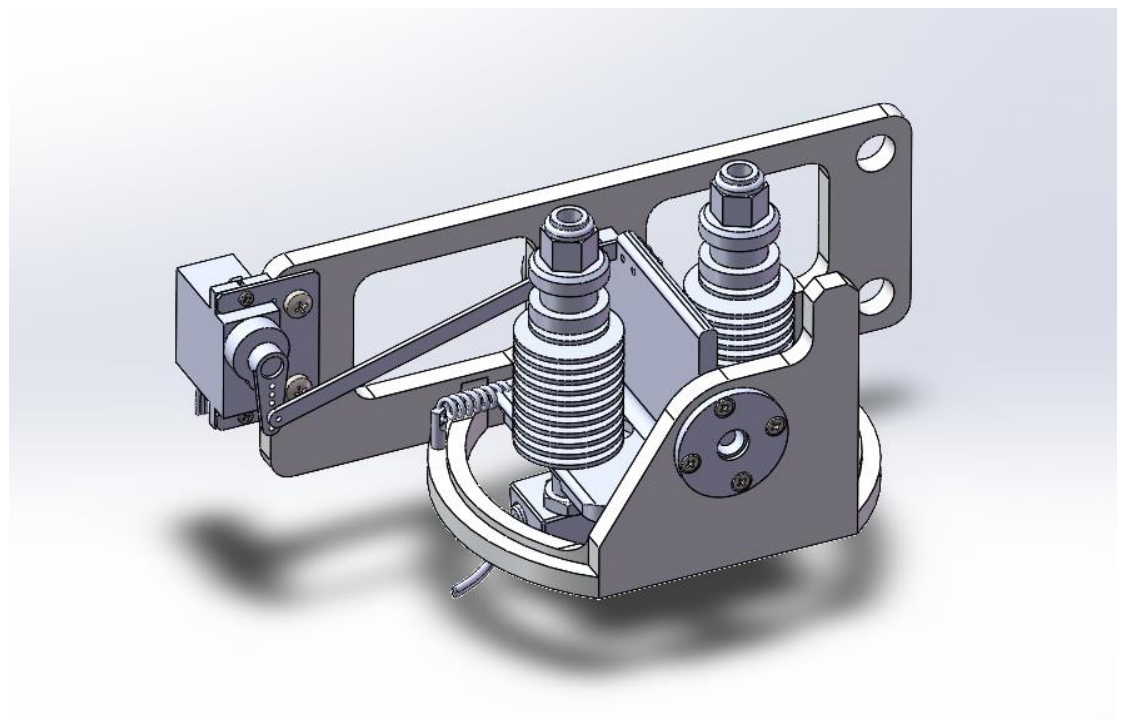


Figure 5 – 3D model of the print head drive of a two-extruder 3d printer

As can be seen from Figure 5, the proposed design is an oscillating mechanism with an alternating change of printing nozzles. The extruders are fixed on a movable platform, which has a degree of mobility in the form of swinging about an axis at a certain angle. Two axle shafts are mounted on the platform, fixed with pins. The axle shafts fit into bearing assemblies mounted on a fixed frame. Attached to the upper edge of the platform is a rod connected to the output shaft of the SG-90 servo motor, which is

in turn screwed to a base plate rigidly fixed to the frame. To eliminate oscillations during operation, a bi-directional elastic tension is provided in the connection of the frame and the swinging platform with the extruders, represented by two tension springs. If the head is installed on a "Delta" ("Tripod") type 3d printer, the frame is connected to the printer drive rods using magnetic supports, the role of which is played by axially magnetized spherical elements made of rare earth materials.

When it is necessary to change the plastic material (filament) during the printing process, the servo drive is shaft by the angle specified by the program. In turn, the thrust movably connected to the output shaft of the servo drive drives the movable platform, which ensures the tilt of the print head to the required operating positions of the nozzles of the extruders.

Through experimental studies, it was found that the optimal slope at which the plastic flowing out of the adjacent nozzle does not affect the printed surface is 22° relative to the horizontal plane.

The selection of components is mainly based on the weight and size characteristics of the product, and the selection of the servo motor is based on the requirements for providing the necessary power to drive the swinging platform under the condition of minimum weight and dimensions.

When selecting elements, it should be noticed that another reason why the mass of the structure should be minimal is the desire to reduce the inertia of the print head, because large inertia will inevitably lead to a drop in printing speed and to an increase in the time for printing products, and, consequently, to an increase in the cost of printing products.

The special light-weight shape of the mechanism frame and the use of polymeric materials and non-ferrous alloys (for example, D16T aluminum alloy) for the manufacture of structural parts will significantly reduce the weight and dimensions of the designed product.