



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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и подготовки

Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка автоматизированного станка по переработке пластика в филамент для 3D печати

УДК 681.5:678.057.94:004.925.84

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ11	Беликов Михаил Константинович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	канд. тех. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд. экон. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Юрий Митрофанович	д-р техн. наук, профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	канд. тех. наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая 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 формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследований
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации в сфере своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способен организовывать работу по совершенствованию, модернизации и унификации выпускаемых изделий и их элементов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы, в том числе проекты стандартов и сертификатов, с учетом действующих стандартов качества, обеспечивать их внедрение на производстве
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность, используя современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и осуществлять

Код компетенции	Наименование компетенции
	подготовку бизнес-планов выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен осуществлять анализ проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения подготавливать отзывы и заключения по их оценке
ОПК(У)-9	Способен представлять результаты исследования в области машиностроения в виде научно-технических отчетов и публикаций
ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению технологических показателей автоматизированного производственного оборудования
ОПК(У)-11	Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и оптимизировать алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования технологических процессов, создавать программы изготовления деталей и узлов различной сложности на станках с числовым программным управлением, проектировать алгоритмы функционирования гибких производственных систем.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обеспечивать качество и производительность изготовления изделий при помощи систем автоматизированного проектирования
ПК(У)-2	Способен обеспечивать надежное и эффективное функционирование гибких производственных систем
ПК(У)-3	Способен создавать проекты конкурентоспособных гибких производственных систем, их элементы, разработка конструкторской, технологической, технической документации гибких производственных систем



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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и подготовки

Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Суходоев М.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8ТМ11	Беликов Михаил Константинович

Тема работы:

Разработка автоматизированного станка по переработке пластика в филамент для 3D печати	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-89/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	03.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объект исследования: автоматизированный станок по переработке пластика в филамент для 3D печати</p> <p>Цель работы: проектирование автоматизированной системы управления для станка по переработке пластика.</p> <p>Режим работы: непрерывный.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<p>Аналитический обзор существующих систем по протяжке пластика;</p> <p>Описание технологического процесса;</p> <p>Проектирование и разработка станка по переработке пластика;</p> <p>Выбор средств реализации системы;</p> <p>Разработка алгоритмов управления системы;</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>3D модель спроектированной системы</p> <p>Чертежи деталей</p> <p>Алгоритмы управления системой</p> <p>Принципиальная электрическая схема</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
Иностранный язык	Куимова Марина Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
1. Теоретический обзор	
2. Описание технологического процесса	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ11	Беликов Михаил Константинович		03.02.2023



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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и подготовки

Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования – Магистратура

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Осенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8ТМ11	Беликов Михаил Константинович

Тема работы:

Разработка автоматизированного станка по переработке пластика в филамент для 3D печати
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2023
--	------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н.		03.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		03.02.2023

Реферат

Магистерская диссертация содержит 122 страницы, содержит 49 рисунков, 26 таблиц, 22 списка литературы, 3 приложения.

Ключевые слова: проект, станок по переработке, пластиковые бутылки, филамент, 3D печати, Arduino, PET пластик, экструдер, шаговый двигатель, датчики, механическая и термическая переработка.

Объектом исследования является станок для переработки пластиковых бутылок в филамент для 3D печати.

Цель – разработка и проектирование станка, который способен перерабатывать пластиковые бутылки из PET, в филамент, который в дальнейшем может использоваться в 3D печати.

В настоящей работе представлены решения по проектированию станка, включая выбор и использование контроллеров, шаговых двигателей, датчиков и иных компонентов, которые необходимы для функционирования станка. Подробно описываются методы механической и термической переработки пластика, применяемые в данном процессе. Работа также затрагивает важные вопросы управления, включая программирование контроллера Arduino и использование соответствующего драйвера для управления двигателем. Данное исследование включает в себя разработку технологического процесса переработки, подбор необходимого оборудования и компонентов, а также анализ спецификаций и характеристик этих компонентов.

Для выполнения работы использовались программы: Arduino IDE, Autodesk Fusion 360, SolidWorks, Microsoft Word 2022, Matlab Simulink R2020b, Mathcad 15, Autodesk Inventor Professional 2022.

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Автоматизированная система – комплекс технических и программных средств, обеспечивающий управление объектом и производственной или административной среде.

Технологический процесс – это последовательные технологические операции, которые необходимы, чтобы выполнить определённый вид работ.

Интерфейс – совокупность правил и средств для обеспечения взаимодействия между техническими устройствами, или между различными программными системами, или между системой и пользователем.

Филамент – материал, используемый в 3D-печати, обычно представляющий собой тонкую пластиковую нить.

3D-печать – процесс создания трехмерного объекта на основе цифровой модели путем последовательного наложения слоев материала.

Полиэтилентерефталат – вид пластика, часто используемый в производстве бутылок для напитков и других упаковочных материалов.

Экструдер – это устройство, используемое в процессе экструзии, где материал, обычно в виде гранул, порошка или пасты, загружается в одну сторону системы, затем подвергается сжатию и нагреву.

Хотенд — это часть экструдера FDM 3D принтера, отвечающая за нагрев и калибровку диаметра нити на выходе из сопла.

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения и соответствующие им расшифровки:

АСУ – Автоматизированная система управления;

ТП – Технологический процесс;

САУ – Система автоматического управления;

РЕТ – полиэтилентерефталат;

FDM – Fused Deposition Modeling или моделирование методом послойного наплавления;

SLS – Selective Laser Sintering, или селективное лазерное спекание;

SLA – Stereolithography, или стереолитография;

DLP – Digital Light Processing, или цифровая обработка света;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

Оглавление

Реферат	7
Термины и определения	8
Обозначения и сокращения	9
Введение.....	12
1. Теоретический обзор.....	13
2. Описание технологического процесса.....	23
3. Комплекс аппаратно-технических средств.....	24
4. Разработка конструктивной части станка.....	34
5. Разработка алгоритмов управления	41
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	62
6.1. Предпроектный анализ	63
6.2. Инициация проекта	72
6.3. Планирование управления научно-техническим проектом.....	73
6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	78
7 Социальная ответственность	81
7.1 Производственная безопасность	83
7.1.1 Вредные факторы.....	83
7.1.2 Опасные факторы.....	92
7.2 Экологическая безопасность.....	96
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
Заключение	99
Список литературы	100

Приложение А	103
Приложение Б.....	111
Приложение В.....	114

Введение

В современном мире пластиковые отходы стали проблемой глобального масштаба. В то же время, развитие технологии 3D-печати открывает новые возможности для использования этих отходов в качестве полезного сырья. Переработка пластиковых бутылок в филамент для 3D-печати может стать одним из решений проблемы пластиковых отходов и, одновременно, способствовать развитию экономики циркулярного типа. Многие виды пластика не разлагаются в течение длительного времени и могут нанести вред живой природе и морским экосистемам, а также снизить стоимость производства филамента.

В этой работе представлена разработка станка по переработке пластиковых бутылок в филамент для 3D-печати. Этот проект направлен на создание устройства, которое может быть использовано для переработки пластиковых отходов на месте, снижая тем самым потребность в транспортировке и хранении отходов, а также снижая стоимость производства филамента для 3D-печати. А также рассмотрены основные принципы переработки пластика, включая механическую и термическую переработку, и опишем процесс разработки и прототипирования станка. Особое внимание уделено вопросам, эффективности и устойчивости процесса переработки.

Целью данной работы является разработка автоматизированного станка по переработке пластиковых бутылок в филамент для 3D печати.

Объектом исследования в данной работе является станок по переработке пластика в филамент.

Предметом исследования являются методы и технологии переработки пластика и процесс дизайна и прототипирования станка.

1. Теоретический обзор

3D-печать – это послойное изготовление физического объекта из компьютерной 3D-модели из пластика, бумаги, гипса, металла, фотополимера и других материалов.

Существует несколько основных технологий 3D-печати, каждая из которых имеет свои особенности и применения:

Моделирование методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling или FDM) – это наиболее распространенный метод 3D-печати, который использует термопластический филамент, нагреваемый и выдавливаемый через печатающую головку. Это простой и относительно недорогой метод, подходящий для создания прототипов, образовательных проектов и домашней 3D-печати.

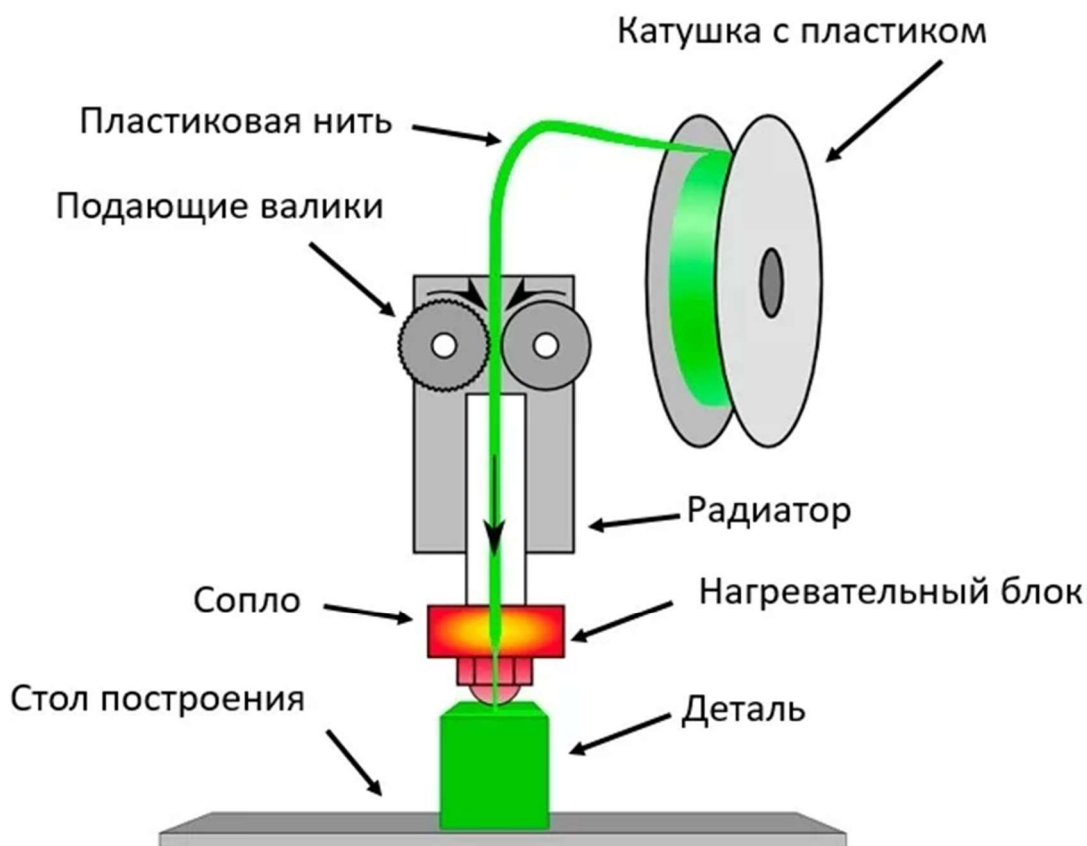


Рисунок 1 – Принцип работы метода послойного наплавления

Лазерная стереолитография (Stereolithography или SLA) – этот метод использует жидкий фотополимер, который затвердевает под действием ультрафиолетового света. SLA обеспечивает высокую точность и качество поверхности, поэтому часто используется в ювелирном деле и зуботехнических лабораториях.

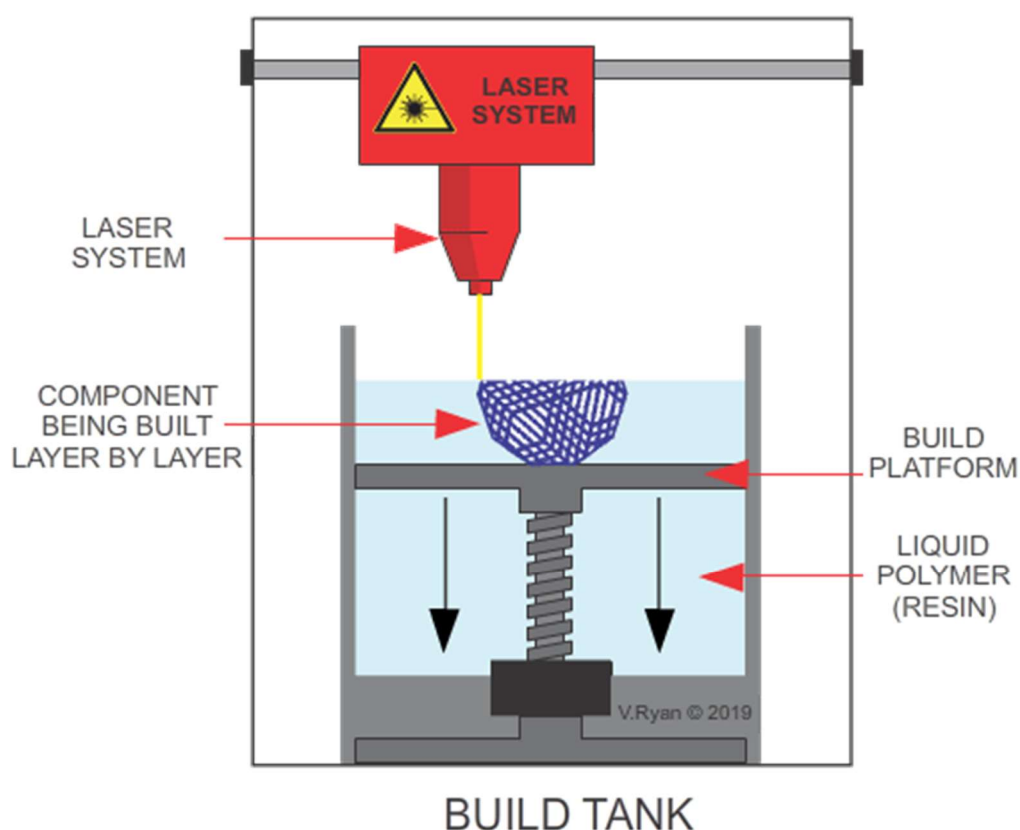
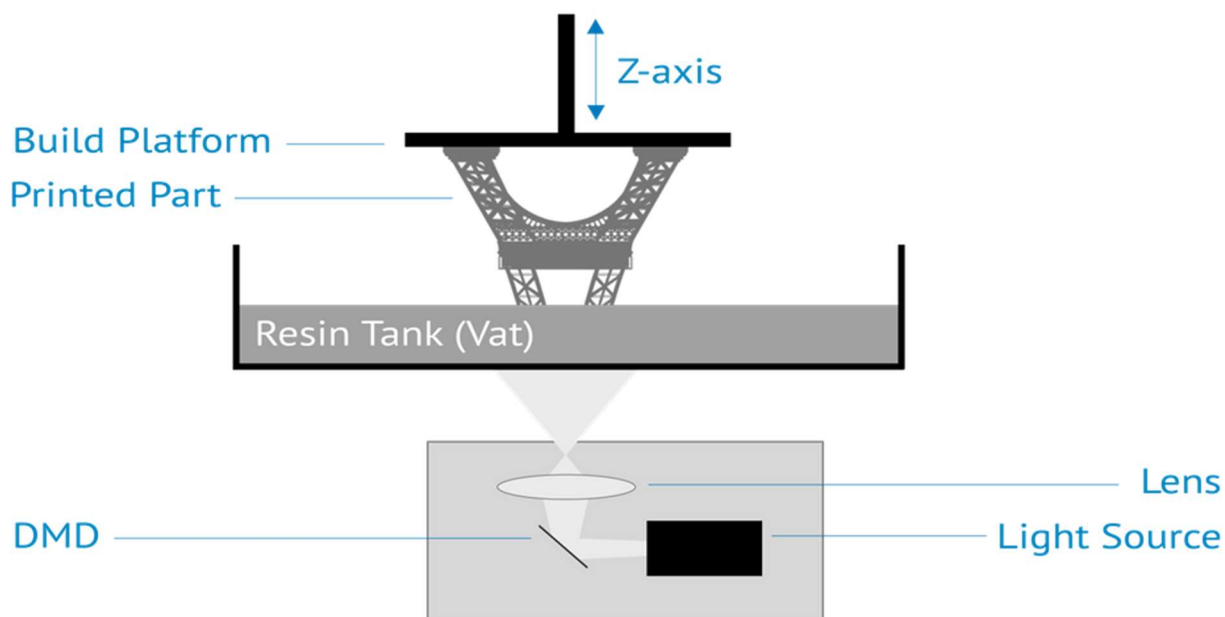


Рисунок 2 – Принцип работы метода лазерной стереолитографии

Цифровая обработка света (Digital Light Processing или DLP) – аналогично SLA, DLP использует ультрафиолетовый свет для затвердевания фотополимера, но вместо лазера использует проектор. Это позволяет затвердевать целый слой за один проход, что делает DLP быстрее SLA.



WEVolver

Рисунок 3 – Принцип работы метода цифровой обработки света

Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering или SLS) – в данном методе тонкий слой порошка (обычно полимерного или металлического) распределяется на платформе, а затем лазер синтезирует (соединяет) порошок в местах, где должен быть объект. Это позволяет создавать объекты с сложной геометрией без необходимости в поддерживающих структурах [1].

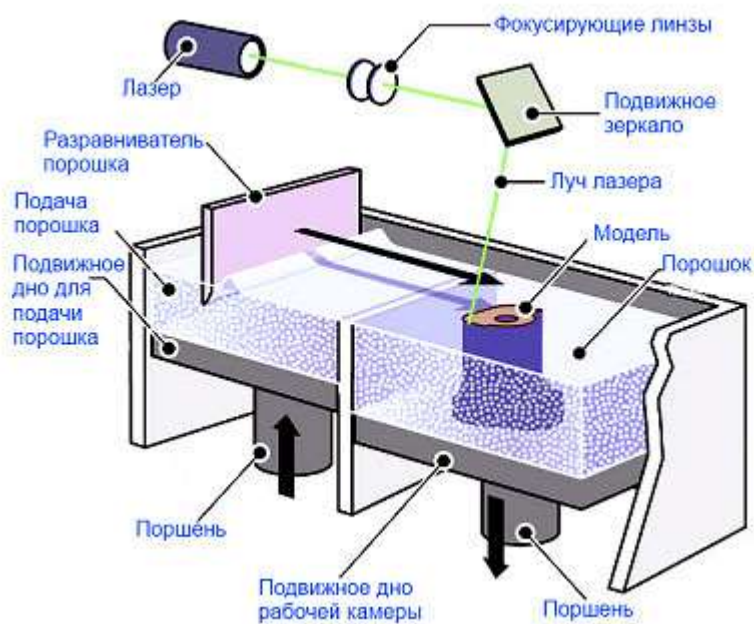


Рисунок 4 – Принцип работы метода селективного лазерного спекания

Все эти технологии имеют свои преимущества и недостатки, и выбор технологии зависит от требуемых характеристик изделия, таких как материал, прочность, детализация, цвет и стоимость процесса. В моем случае рассматривается FDM технология.

FDM — самая распространенная технология 3D-печати в мире. С ее помощью выращивают изделия как дешевые домашние принтеры, так и промышленные системы высокоточной 3D-печати. Принцип построения по технологии FDM заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити [2].

Рассмотрим этапы производства филамента для данной технологии:

1. Первый этап производства филамента — это подготовка сырья. Это может включать в себя сортировку пластика по типу и цвету, очистку от примесей, а также измельчение до нужной формы и размера. Если используется переработанный пластик, он также может быть очищен и обеззаражен.

2. Плавление. Затем пластиковые частицы подаются в экструдер, где они нагреваются до температуры, при которой пластик начинает плавиться.

3. Экструзия. После плавления пластик выдавливается через маленькую насадку экструдера, создавая длинную нить - сырой филамент.

4. Охлаждение. Сразу после экструзии филамент проходит через охлаждающую ванну или систему охлаждения, чтобы затвердеть и сохранить свою форму.

5. Намотка и упаковка. Затем филамент наматывается на катушку, проверяется на качество и упаковывается для продажи или хранения.

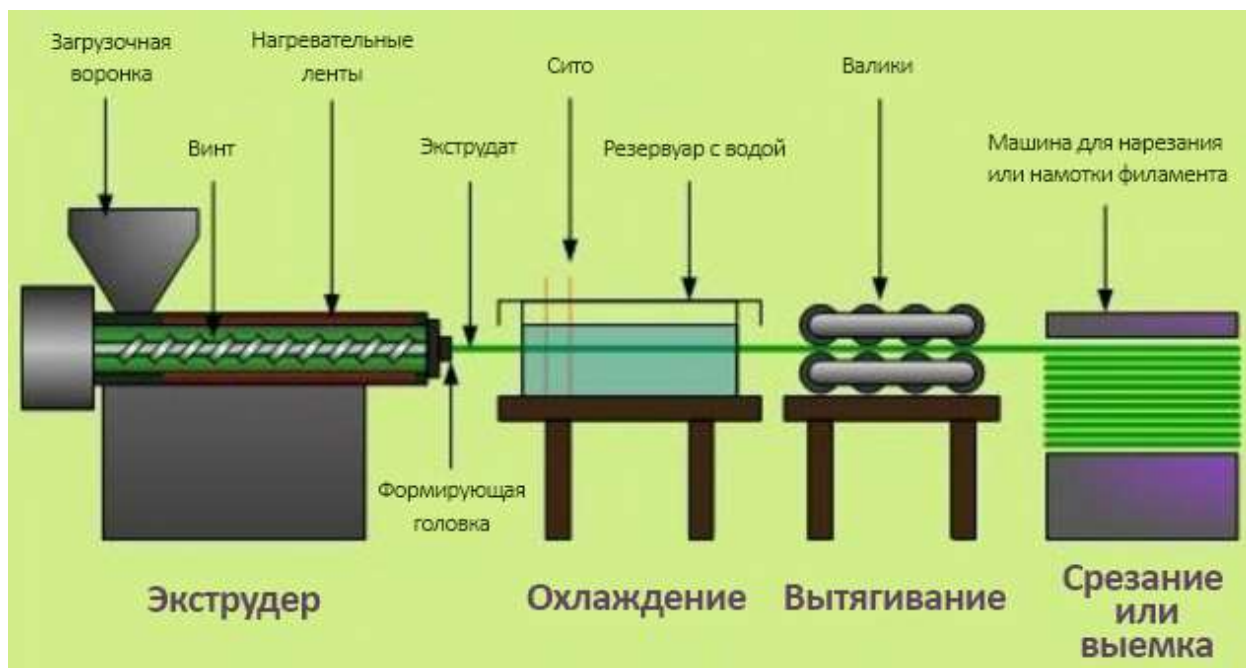


Рисунок 5 – Технология производства филамента

Существуют различные технологии и методы для каждого из этих этапов, и выбор конкретного метода может зависеть от многих факторов, включая тип пластика, доступное оборудование, требования к качеству и целевые характеристики филамента.

Например, некоторые производители используют двухшнековые экструдеры, которые могут обеспечить более равномерное смешивание и плавление пластика, в то время как другие могут использовать одношнековые экструдеры для производства более простых типов филамента. Кроме того, некоторые производители могут использовать специальные технологии, такие

как реактивное экструдирование или смешивание с добавками, чтобы создать филаменты с особыми свойствами [3].

Существует несколько методов переработки пластика для последующего использования производства филамента:

1. Механическая переработка – этот метод включает измельчение пластиковых отходов, очистку, сортировку по типу пластика и просеивание на частицы определенного размера.

2. Химическая переработка – в этом методе пластиковые отходы растворяются в подходящем растворителе, а затем проходят через процесс осаждения и очистки.

3. Пиролиз – это метод термохимической переработки, в котором пластиковые отходы подвергаются разложению при высоких температурах в отсутствие кислорода. При этом происходит образование газообразных и твердых продуктов, которые затем могут быть преобразованы в филамент для 3D-печати. Эти методы могут применяться в различных комбинациях в зависимости от типа пластика [4].

Наиболее подходящим и простым для работы вариантом является механическая переработка пластика, поэтому рассмотрим данный метод более подробно основные этапы.

1. Сбор и сортировка – пластиковые отходы собираются и сортируются по типу пластика (например, PET, HDPE, PP, ABS и т.д.). Это важно, поскольку разные типы пластика имеют разные свойства и требуют разных условий переработки.

2. Очистка – пластик очищается от грязи, пыли, пищевых остатков и других примесей, которые могут повредить оборудование или ухудшить качество конечного продукта.

3. Измельчение – пластиковые изделия измельчаются до мелких частиц или флаков. Это облегчает их обработку на следующих этапах и помогает улучшить качество конечного продукта.

4. Вторичная сортировка и очистка – после измельчения пластик может быть дополнительно отсортирован и очищен с использованием специальных сепараторов.

5. Экструзия и грануляция – измельченный пластик подогревается и экструдирован в форму гранул или пеллет, которые можно использовать как вторичное сырье. Во время этого процесса можно добавить различные добавки или модификаторы для улучшения свойств материала. И в последствии использоваться для производства филамента.

Важно отметить, что качество вторичного пластика и его пригодность для производства филамента могут зависеть от многих факторов, включая тип и состояние исходного пластика, эффективность процесса очистки и измельчения, а также специфические условия экструзии и грануляции [5].

Измельчение пластика важный этап, для которого требуется мощный шредер или дробилка. Шредер должен иметь достаточно мощный электродвигатель, чтобы справиться с различными видами пластика. При этом мощность и крутящий момент должны быть достаточно большими, чтобы избежать застревания и обеспечить равномерное измельчение. Важна также конструкция режущих элементов шредера. Они должны быть изготовлены из прочных материалов, способных справиться с твердостью и износостойкостью пластика. Количество, форма и расположение режущих элементов могут влиять на качество измельчения и скорость обработки. В идеале, размер измельченного пластика должен быть регулируемым. Это позволяет настроить процесс измельчения под специфические требования экструзионного оборудования. Оборудование должно быть легко очищаемым и обслуживаемым, а также устойчивым к износу, чтобы обеспечить долгосрочную работу без поломок. Подобные устройства занимают немало места и создают достаточное количество шума и пыли и дорого стоят. Данный этап переработки требуют более сложной реализации, поэтому исключим данный этап для экономии времени и средств и будем реализовать

переработку пластиковой бутылки нарезаая на одну непрерывную длинную ленту, которую сразу будем переплавлять в филамент. Это так же имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

1. Меньший объем оборудования – не потребуется пространство для установки и хранения измельчителя, что может быть полезно в условиях ограниченного пространства.

2. Простота процесса – отсутствие необходимости в измельчении упрощает процесс переработки. Не требуется сложного оборудования для измельчения, что может упростить настройку и обслуживание процесса.

3. Меньший объем отходов – возможно, нарезка бутылок на ленты приведет к меньшему объему отходов по сравнению с измельчением, где могут образоваться мелкие частицы, которые трудно собрать и повторно использовать.

4. Низкое энергопотребление: По сравнению с механическим измельчением, нарезка бутылок на ленты может потребовать меньше энергии, что делает процесс более экономичным и экологичным.

5. Инновационность – несмотря на некоторые ограничения, такой подход может быть инновационным и предложить новые возможности для переработки и повторного использования пластиковых бутылок.

Недостатки:

1. Контроль размера – нарезка бутылок на ленты может затруднить контроль размера исходного материала. В результате может быть трудно обеспечить постоянный диаметр филамента, что важно для качества 3D-печати.

2. Сортировка и очистка – нарезка бутылок на ленты требует тщательной сортировки и очистки бутылок. Кроме того, PET-бутылки часто имеют различные этикетки, крышки и другие элементы, которые могут влиять на качество переработанного пластика.

3. Ограничение на материалы – этот подход применим только к бутылкам из PET-пластика, и не может быть использован для переработки других видов пластика.

Так как в данной работе будет рассматриваться переработка пластиковых бутылок, а большинство из них изготовлено из PET пластика. Рассмотрим его свойства и характеристики.

Полиэтилентерефталат (PET) — термопластик, наиболее распространённый представитель класса полиэфиров, известен под разными фирменными названиями. Продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой. Твёрдое, бесцветное, прозрачное вещество в аморфном состоянии и белое, непрозрачное в кристаллическом состоянии. Переходит в прозрачное состояние при нагреве до температуры стеклования и остаётся в нём при резком охлаждении и быстром проходе через т. н. «зону кристаллизации». Одним из важных параметров ПЭТ является характеристическая вязкость, определяемая длиной молекулы полимера. С увеличением присущей вязкости скорость кристаллизации снижается. Прочен, износостоек, хороший диэлектрик. Существенными недостатками тары из ПЭТФ являются её относительно низкие барьерные свойства. Она пропускает в бутылку ультрафиолетовые лучи и кислород, а наружу — углекислоту, что ухудшает качество и сокращает срок хранения продукта. Это связано с тем, что высокомолекулярная структура полиэтилентерефталата не является препятствием для газов, имеющих небольшие размеры молекул относительно цепочек полимера. Материал обладает высокой механической прочностью, низким коэффициентом трения и гигроскопичности, а также устойчив к многократным деформациям при растяжении или изгибе. Так же в плюсы этого полимера можно отнести рециклируемость, так как он может быть очищен и переработан в новую продукцию, включая бутылки, текстиль и, в некоторых случаях, филамент для 3D-печати. Но несмотря на то, что PET рециклируем, его нельзя использовать в некоторых сценариях, например, для

упаковки горячих продуктов или для долгосрочного хранения определенных типов пищевых продуктов. Этот материал применяется при необходимости изготовить прочные, износостойкие изделия. 3D пластик ПЭТ кристалльно прозрачный и обладает высокой износостойкостью. Ударопрочен и термоустойчив, выдерживает температуры в диапазоне от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вдобавок к этому 3D пластик ПЭТ устойчив к истиранию, а также известен как неплохой диэлектрик. Он устойчив к воздействию масел, спиртов, кислот, щелочей и парафинов. Хорошо поддается постобработке. Изделия из ПЭТ пластика можно шлифовать, грунтовать, красить и покрывать лаком без особых усилий. В целом, PET — это многофункциональный и полезный материал, но его использование и утилизация требуют ответственного подхода для минимизации воздействия на окружающую среду [6].

Для получения волокна необходимо бутылку подготовить. Рассмотрим эти этапы подготовки пластиковых бутылок перед переработкой:

1. Это соответственно сами бутылки типа PET.
2. Следующим шагом является отклеивание этикеток и очищение бутылки от клея, так как это напрямую будет влиять на качество 3д-печати.
3. После чего необходимо нарезать бутылки на одну длинную полосу.
4. И последним этапом будет загрузка полученной полосы пластика в станок на выходе которого получаем филамент для 3д печати.

2. Описание технологического процесса

В теоретическом обзоре был рассмотрен и выбран механический метод переработки пластика, но так как необходимо перерабатывать PET-бутылки подстроим основные этапы переработки под данную задачу:

1. Сбор и сортировка – в начале процесса пластиковые бутылки из PET собираются и сортируются. Все не-PET материалы удаляются.

2. Очистка – собранные бутылки затем тщательно очищаются от грязи, пыли и остатков содержимого. Это может включать в себя промывку бутылок водой и моющими средствами, а также сушка пластика

3. Резка на ленту – очищенные бутылки затем режутся на длинные ленты определенной ширины. Ширина ленты может зависеть от толщины стенки бутылки и желаемого диаметра филамента.

4. Нагрев и вытягивание – лента из PET пропускается через модернизированный нагревательный блок. В этом блоке лента нагревается до точки плавления PET и проходит через конический переход в цилиндрическое отверстие определенного диаметра. В процессе вытягивания лента трансформируется в тонкую нить нужного диаметра.

5. Охлаждение – филамент затем быстро охлаждается, чтобы сохранить его форму и предотвратить деформацию. Это может достигаться с помощью воздушного охлаждения.

6. Намотка на катушку – на последнем этапе филамент вытягивается из нагревательного блока и наматывается на катушку с помощью редуктора и мотора. Скорость мотора контролируется, чтобы обеспечить равномерное натяжение и предотвратить перекручивание или деформацию филамента.

Процесс требует точного контроля температуры и скорости, чтобы обеспечить равномерность и точность диаметра филамента. Кроме того, возможно потребуется дополнительное оборудование или шаги для контроля качества, такие как измерение диаметра филамента и проверка на наличие дефектов.

3. Комплекс аппаратно-технических средств

Для управления всем технологическим процессом необходимо подобрать соответствующие оборудование такое как контроллерное оборудование, датчики, управляющих устройств, исполнительных механизмов и прочих вспомогательных материалов, и сырья. Начнем с контроллерного оборудования и сравним Arduino Nano и Arduino Uno [8].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики контроллеров

Характеристики/ Контроллер	Arduino Uno	Arduino Nano
Микроконтроллер	ATmega328P	ATmega328P
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6	8
DC ток на I/O пин	20 мА	40 мА
Размеры	68.6 мм x 53.3 мм	18 мм x 45 мм
Цена	2940 руб.	1300 руб.

Основные различия между двумя платами заключаются в их физическом размере и форм-факторе. Arduino Uno больше и имеет стандартную форму, которая обеспечивает легкий доступ ко всем пинам и подключение к щитам Arduino. Arduino Nano, с другой стороны, меньше и компактнее, что делает его идеальным для проектов, где пространство

ограничено. Кроме того, Arduino Nano имеет 2 дополнительных аналоговых входа в сравнении с Arduino Uno и имеет меньшую стоимость. Однако оба этих микроконтроллера функционируют очень похожим образом и могут запускать один и тот же код без значительных изменений. Остановим свой выбор на Arduino Nano.

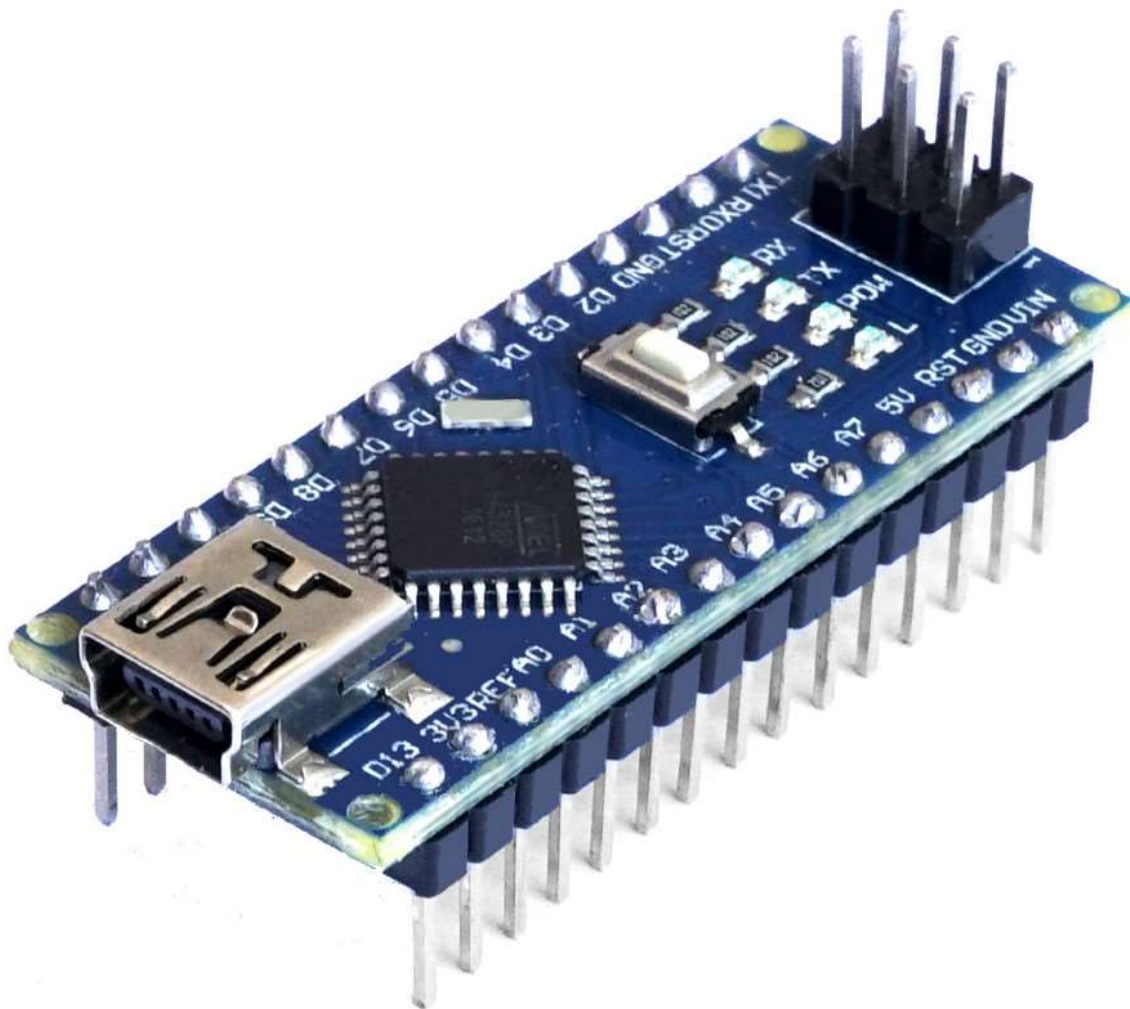


Рисунок 6 – Arduino Nano

В качестве исполнительных механизмов необходимо подобрать двигатели. Шаговые моторы NEMA 17 (17HS4401 и 17HS4023) и NEMA 23 (23CS22C-400) широко используются в различных областях, включая 3D-печать, ЧПУ машины и робототехнику. Ниже в таблице произведено сравнение [9].

Таблица 2 – Сравнительные характеристики контроллеров

Характеристики/ Двигатель	NEMA17 (17HS4401)	NEMA17 (17HS4023)	NEMA23 (23CS22C-400)
Размер	42.3 мм x 42.3 мм	42.3 мм x 42.3 мм	57 мм x 57 мм
Длина	40 мм	34 мм	56 мм
Фаза	2	2	2
Напряжение	2.8 В	2.4 В	2.7 В
Ток	1.7 А	0.7 А	4.0 А
Сопротивление	1.65 Ом	3.4 Ом	0.68 Ом
Индуктивность	2.8 мГн	4.0 мГн	1.4 мГн
Удерживающий момент	40 Нсм (около 0.4 кгм)	26 Нсм (около 0.26 кгм)	126 Нсм (около 1.3 кгм)
Угол шага	1.8 градусов (200 шагов на оборот)	1.8 градусов (200 шагов на оборот)	1.8 градусов (200 шагов на оборот)
Подключение	4-х проводное	4-х проводное	4-х проводное
Вес	350 г	280 г	1000 г
Цена	1600 руб.	900 руб.	4800 руб.

Все эти моторы имеют одинаковый угол шага, мотор NEMA 23 способен обеспечить значительно больший удерживающий момент за счет большего размера и большего тока фазы. Но в данном случае такие показатели избыточны и этот двигатель имеет значительно большую стоимость, поэтому остановим выбор на NEMA 17 (17HS4401 и 17HS4023).



Рисунок 7 – Шаговый двигатель NEMA 17HS4401



Рисунок 8 – Шаговый двигатель NEMA 17HS4023

Для управления данными двигателями необходимы соответствующие драйверы, проведем их сравнительный анализ.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики контроллеров

Характеристики/ Драйвер	A4988	TMC2208	DRV8825
Максимальный ток	2А на катушку при достаточном охлаждении	1.4А RMS, 2А пиковый	2.5А на катушку при достаточном охлаждении
Напряжение питания	от 8В до 35В	от 4.75В до 36В	от 8.2В до 45В
Разрешение	Полный шаг, 1/2 шаг, 1/4 шаг, 1/8 шаг, 1/16 шаг	Полный шаг, 1/2 шаг, 1/4 шаг, 1/8 шаг, 1/16 шаг, 1/32 шаг, 1/64 шаг, 1/128 шаг, до 1/256 шага	Полный шаг, 1/2 шаг, 1/4 шаг, 1/8 шаг, 1/16 шаг, 1/32 шаг
Защита	перегрев, перегрузка по току, недостаточное напряжение	перегрев, перегрузка по току, короткое замыкание	перегрев, перегрузка по току, недостаточное напряжение
Тихий режим работы	-	+	-
Цена	60 руб.	200 руб.	140 руб.

TMC2208 обеспечивает значительно более тихую работу по сравнению с A4988 и DRV8825. Он также поддерживает полные, половинные, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 и даже 1/256 шага для очень точного управления. Если фактор шума играет большую роль, то использовать лучше эти драйвера, а с точки зрения экономии то можно использовать A4988 [10].

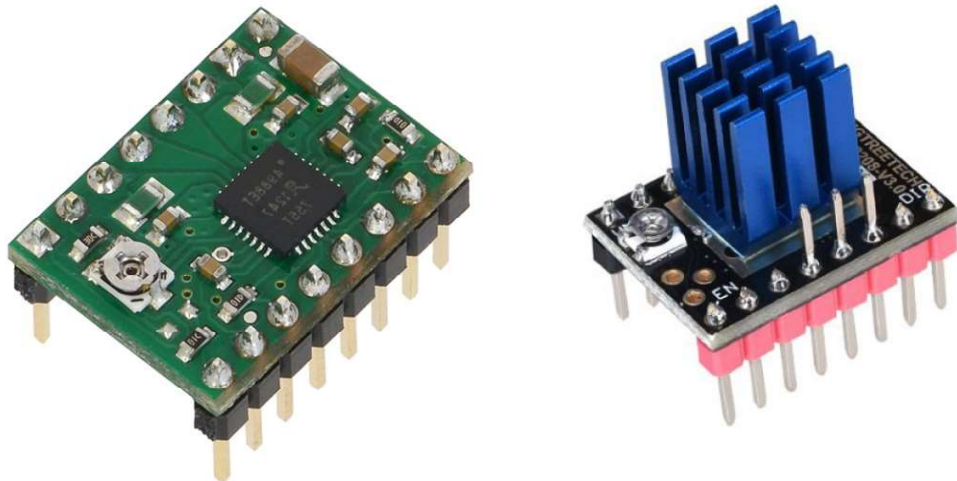


Рисунок 9 – Драйверы шагового двигателя A4988 и TMC2208

В качестве датчиков измерения используются электронный глубиномер и электронный микрометр с возможностью передачи данных на внешнее устройство. Эти устройства были выбраны из-за их доступности и точности в сотни миллиметров [11].



Рисунок 10 – Электронный микрометр



Рисунок 11 – Электронный глубиномер

И для вывода данных будет использоваться LCD 1602 дисплей. С его помощью будут отслеживаться параметры скорости намотки, метраж, температура нагрева и другие. Характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики LCD 1602 i2C дисплея

Тип дисплея	Символьный с возможностью загрузки символов
Подсветка	Синий фон с белыми символами
Контраст	Настраивается потенциометром
Разрешение	16 x 2
Напряжение питания, В	5
Рабочая температура, °С	от -20 до 70
Размер, мм	80 x 36 x 12
Вес, г	35

Проведем сравнение устройств управления, которое будет воздействовать на нагреватель. Сравнить будем электромагнитное реле, MOSFET транзистор IRF520, MOSFET транзистор IRLR2905.

Электромагнитное реле позволяет управлять большими нагрузками, такими как моторы и большие лампы, а также устройства, работающие на переменном токе. Электромагнитное реле обычно менее дорогие, чем твердотельное реле, но они имеют механические части, которые со временем могут изнашиваться, также могут создавать заметный шум при переключении.

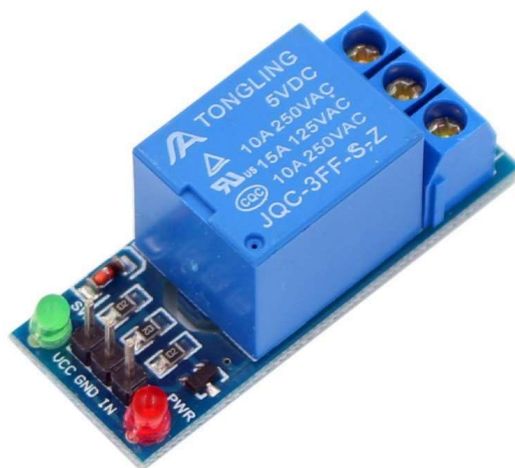


Рисунок 12 – Модуль с электромагнитным реле

Модуль на базе мощного полевого транзистора IRF520 позволяет управлять нагрузкой постоянного тока с большим током, обычно до 5А при 24В. Это делает его подходящим для управления малыми и средними нагрузками, такими как маломощные моторы, лампы и другие устройства. Модуль на IRF520 также имеет встроенные защитные механизмы, такие как диод обратной полярности.

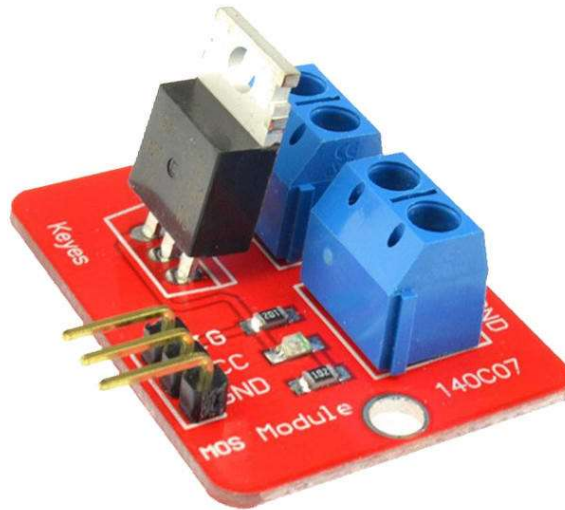


Рисунок 13 – Модуль на базе транзистора IRF520

Транзистор IRLR2905 — это N-канальный MOSFET транзистор, способный переключать большие токи, до 42А при 55В, и маленьким напряжением на затворе для его открытия. Это делает его подходящим для управления большими нагрузками постоянного тока.

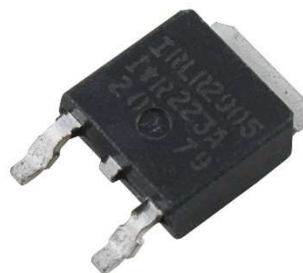


Рисунок 14 – MOSFET транзистор IRLR2905

Все три решения могут быть подходящими в зависимости от управляемой системы. Механические реле хорошо подходят для управления

большими нагрузками и переменным током, в то время как модули на основе транзисторов более подходят для управления меньшими постоянными нагрузками. В проекте рассмотрим управление всеми тремя модулями и сравним их на реальной системе.

Также для проекта необходим в качестве донора для последующей модернизации хотенд от 3D принтера. Главными характеристиками которого являются наличие нагревательного элемента питающегося от 12 В и термистора с характеристиками 100кОм при температуре 25 градусов.

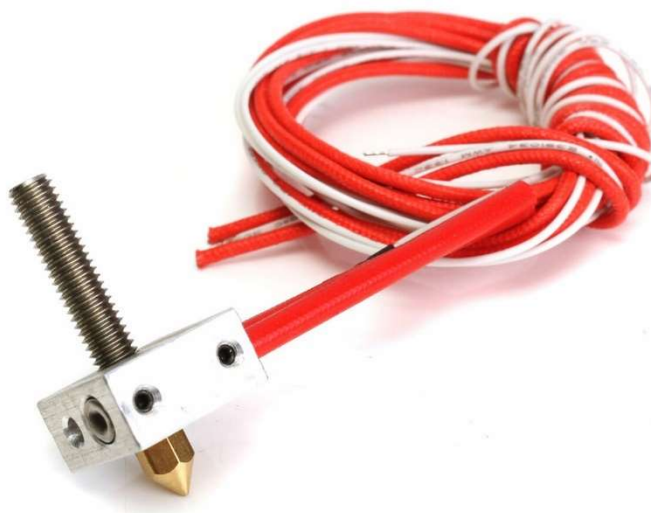


Рисунок 15 – Хотенд для 3D принтера

Для реализации проекта необходимы расходные материалы такие как катушка филамента PETG, металлические валы, крепежные изделия, провода, блок питания, фанера, подшипники.

4. Разработка конструктивной части станка

После того как бутылка была отмыта и высушена наступает этап нарезки бутылки, для этих целей необходимо спроектировать устройство, которое сможет нарезать бутылку с возможностью измерять толщину стенки бутылки и изменять ширину нарезаемой ленты. Для реализации данного узла и был выбран глубиномер и шаговый двигатель NEMA 17HS4023. Ниже представлены модель и реализованное устройство (рисунок 17,18). В качестве лезвия выступают два подшипника у которых кромки соприкосновения сточены под углом от стачиваемой грани в 10 градусов (рисунок 16). С данным углом производить нарезку бутылок становится намного проще. Спроектированные детали были распечатаны на 3D принтере с использованием PETG пластика.

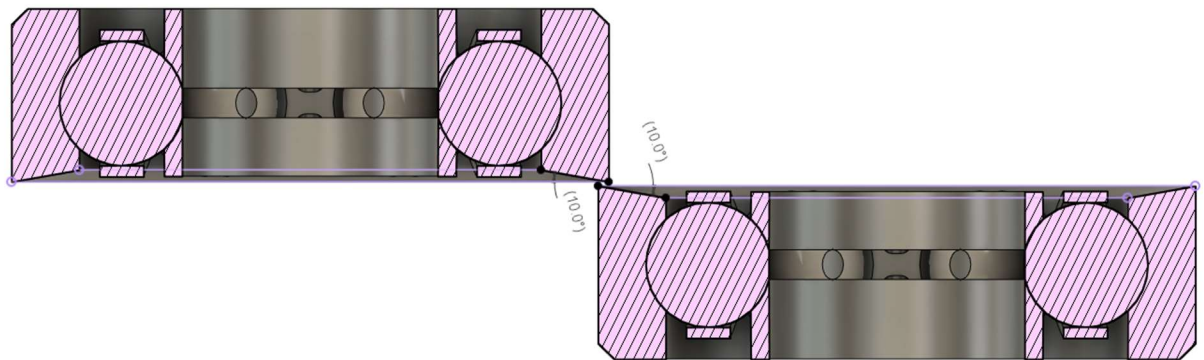


Рисунок 16 – Сточенные подшипники

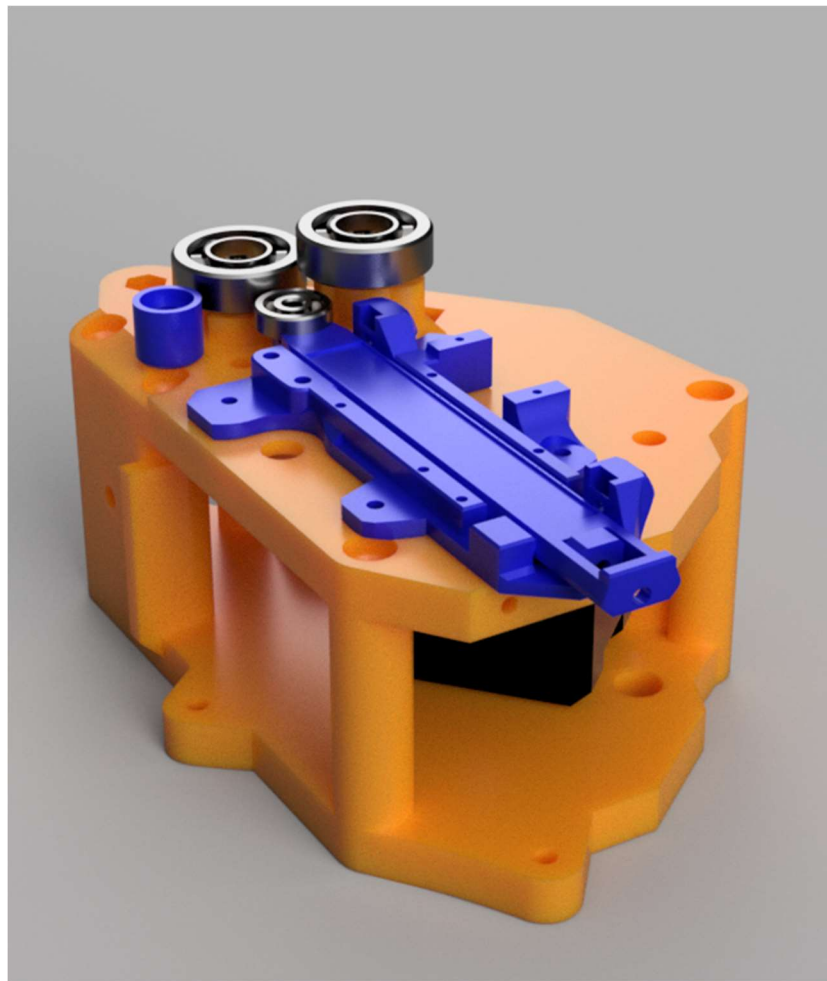


Рисунок 17 – Модель устройства для нарезки бутылки

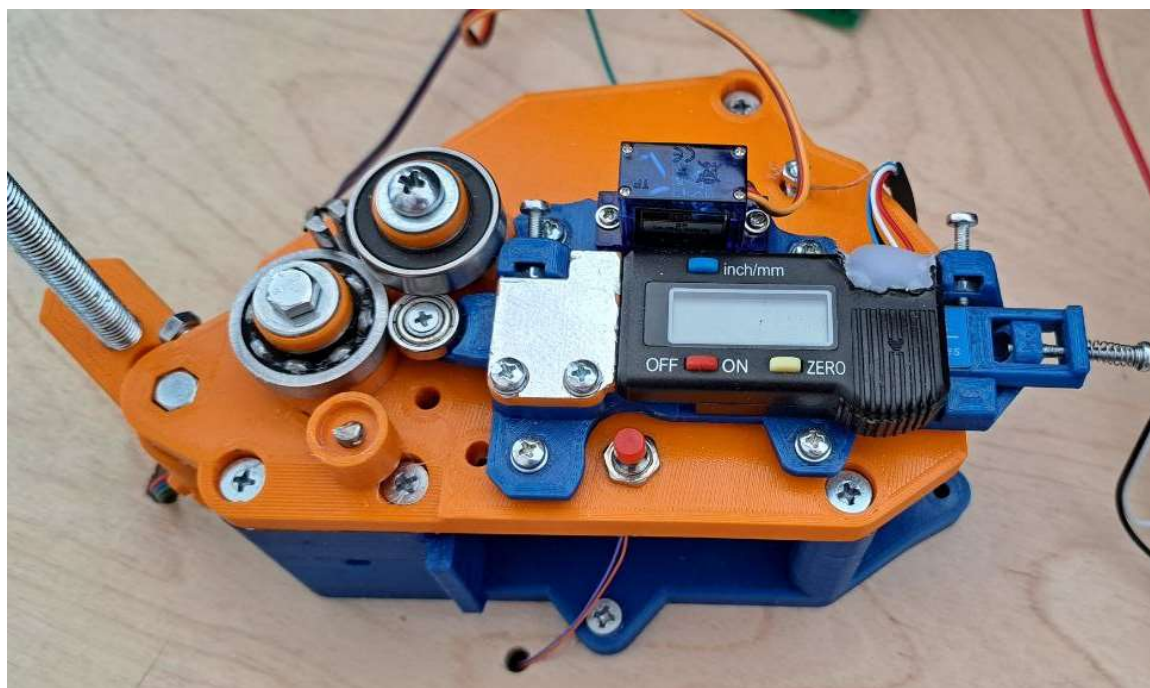


Рисунок 18 – Реализованное устройство для нарезки бутылки

Для нагревательной части был использован и модернизирован хотенд от 3D принтера, рассмотрим его устройство. На рисунке ниже представлен хотенд в разрезе.

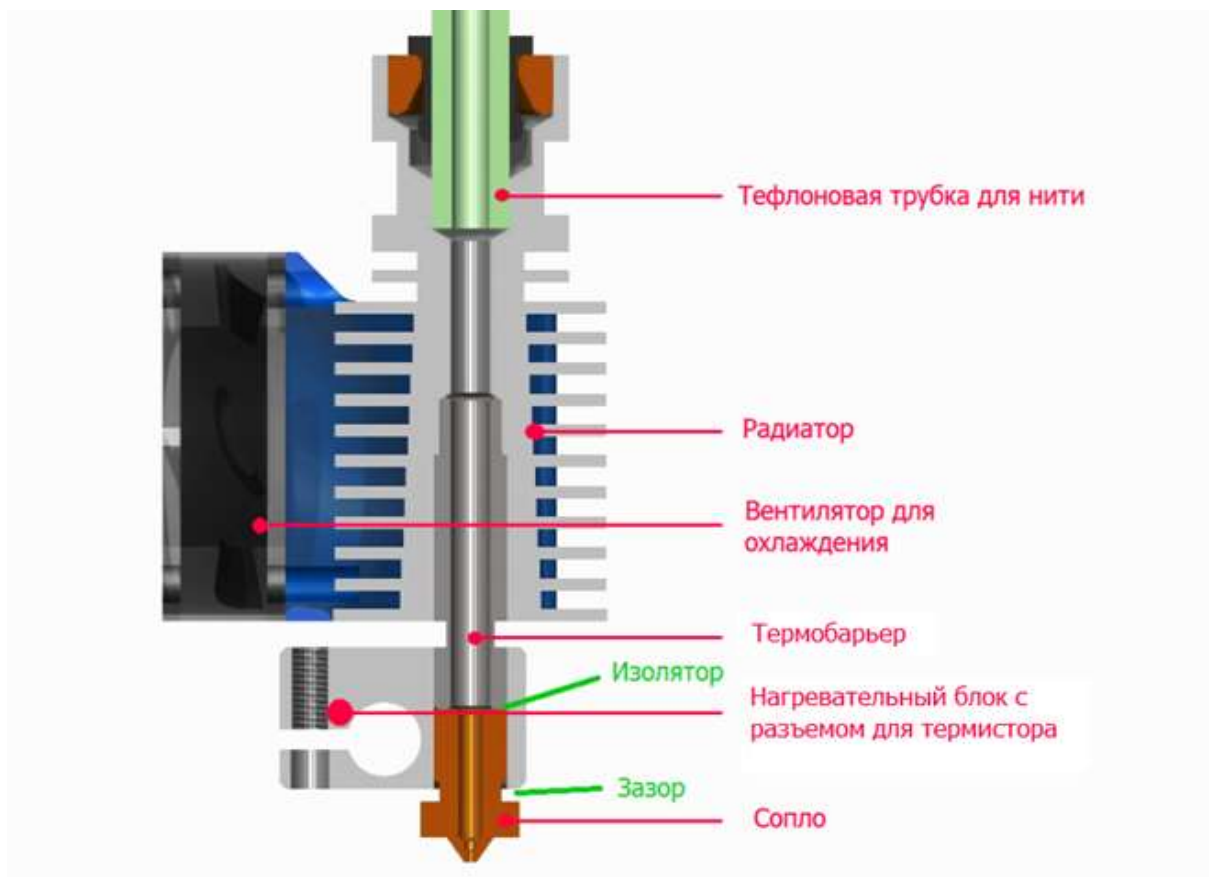


Рисунок 19 – Хотенд в разрезе

Данная конструкция используется в 3Д-принтерах, для станка также необходима система нагрева, которая будет переплавлять полоски пластика в цилиндрическую форму определённого диаметра. Для это необходимо поменять конструкцию нагревателя. Необходимо чтобы на входе в нагреватель форма нагревателя была конусовидной, а на выходе цилиндрической, причем чтобы была возможность изменить диаметра выходного прутка за счет смены сопла. Дополнительно необходимо установить вентилятор охлаждения для контроля температуры.

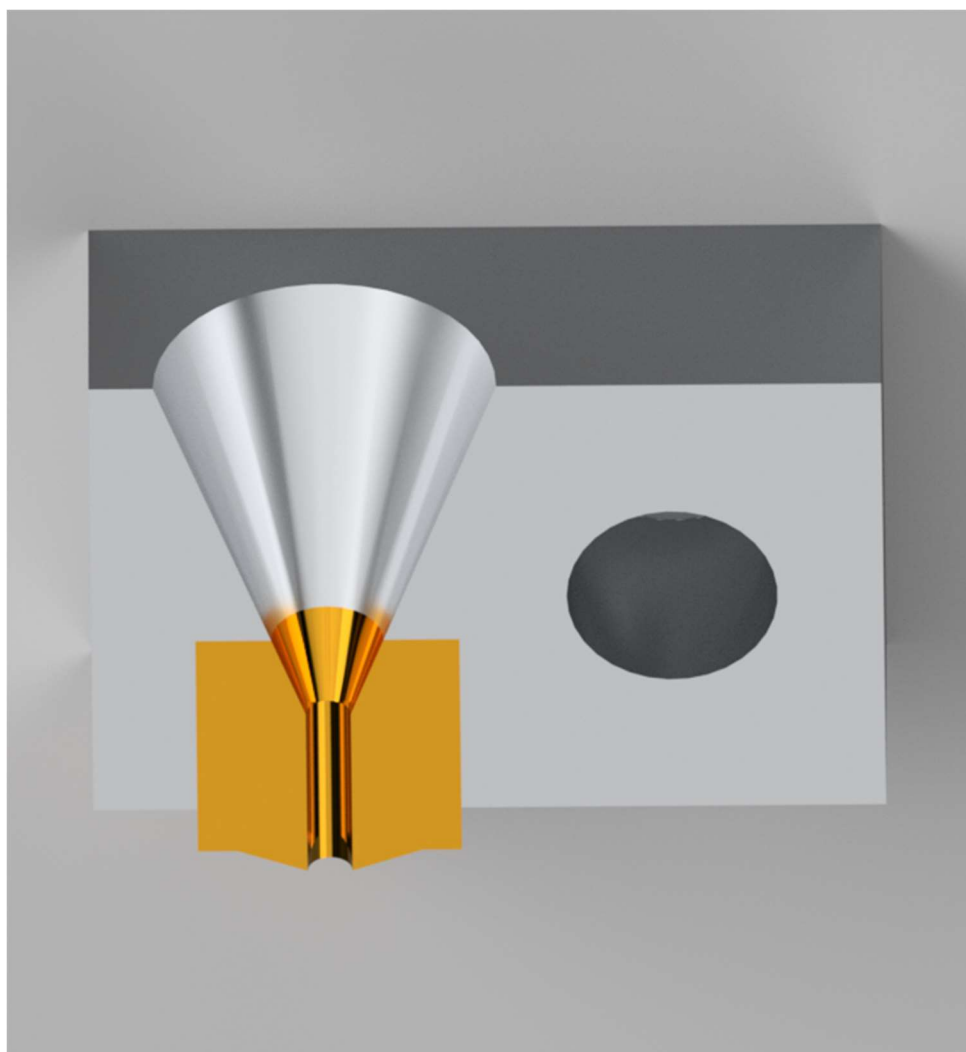


Рисунок 20 – Модифицированный нагревательный блок

Чтобы протяжка прутка была удобной и автоматической, необходимо создать конструкцию, которая будет протягивать и наматывать пластик на катушку. Для этого был спроектирован редуктор, он необходим для плавной намотки без рывков и вибраций. Разработанная конструкция воплощается с помощью 3Д-принтера. Рассчитаем передаточное число редуктора, где $N_{x,y}$ – номер шестерни и номер ступеньки шестерни [12]:

$$i = \frac{N_{2,1}}{N_1} * \frac{N_{3,1}}{N_{2,2}} * \frac{N_4}{N_{3,2}} = \frac{34}{8} * \frac{34}{11} * \frac{55}{11} \approx 65. \quad (1)$$

Если передаточное число равно 65 и крутящий момент на входе составляет 40 Н*см, то крутящий момент на выходе редуктора будет равен

2600 Нсм. Спроектированная и реализованная конструкция представлена на рисунках ниже.

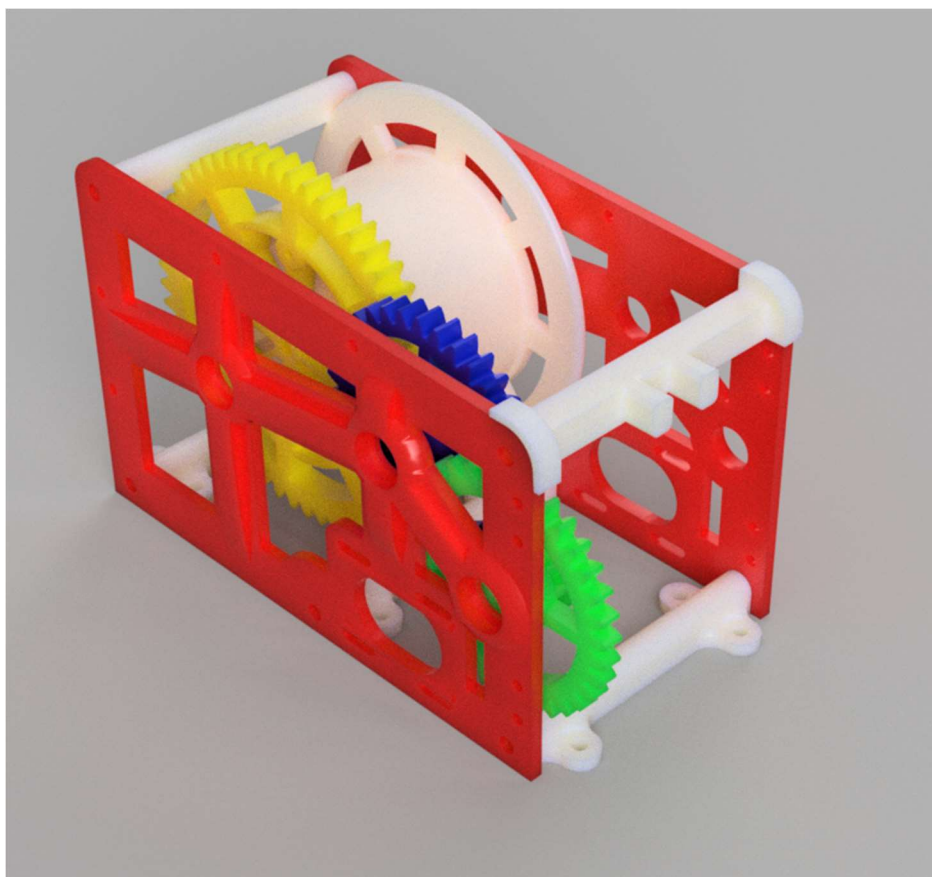


Рисунок 21 – Собранная модель редуктора

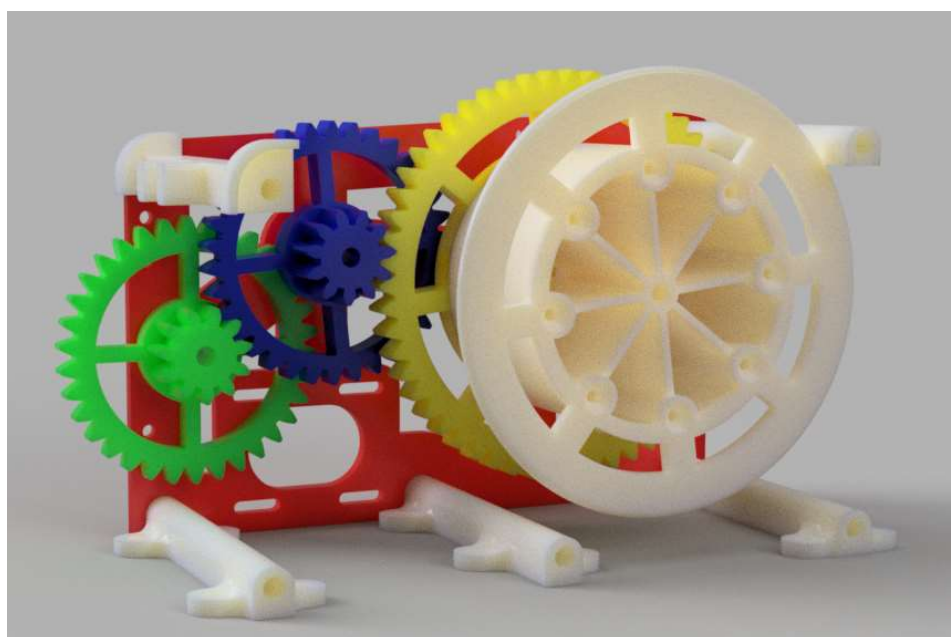


Рисунок 22 – Конструкция шестерёнок

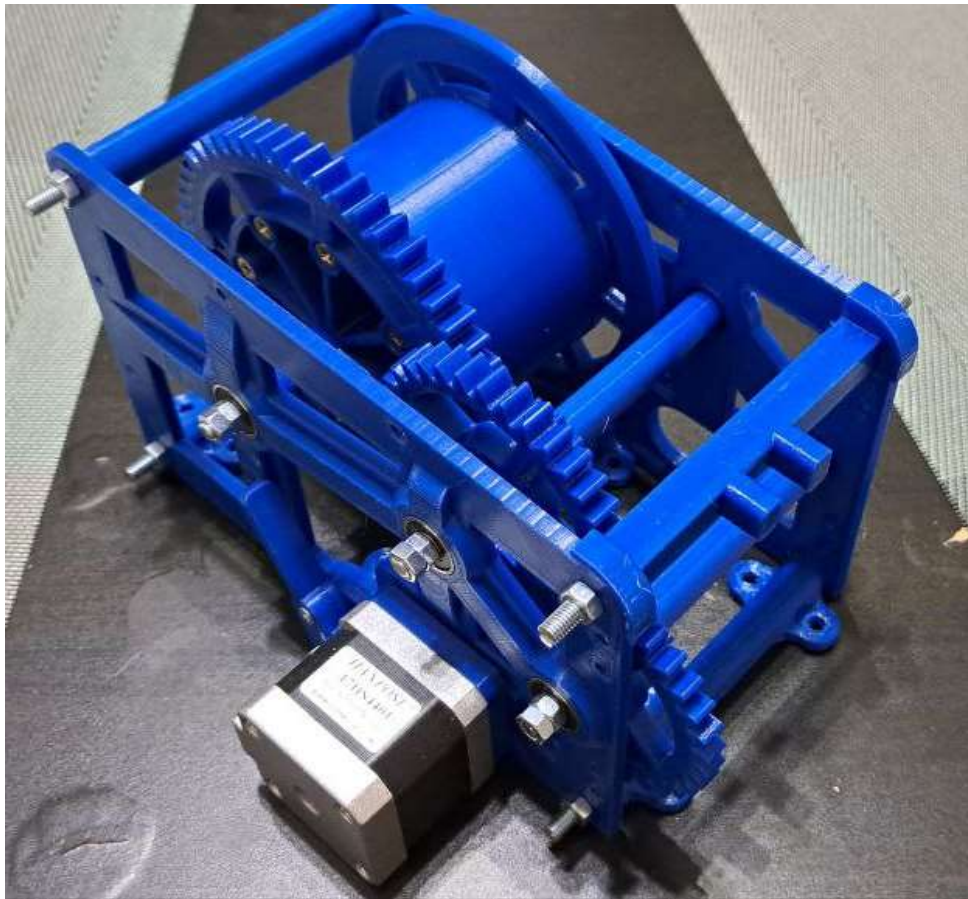


Рисунок 23 – Реализованная конструкция редуктора

Для контроля диаметра переплавленной нити решено использовать цифровой микрометр, чтобы снятие показаний было удобной и качественной была спроектирована специальная подставка, которая состоит из подставки и двух платформ. Одна платформа неподвижная и имеет место под установку двух осей, на которых будет перемещаться верхняя платформа. Соприкосновение двух платформ между собой происходит с помощью цилиндрических валов (рисунок 24).

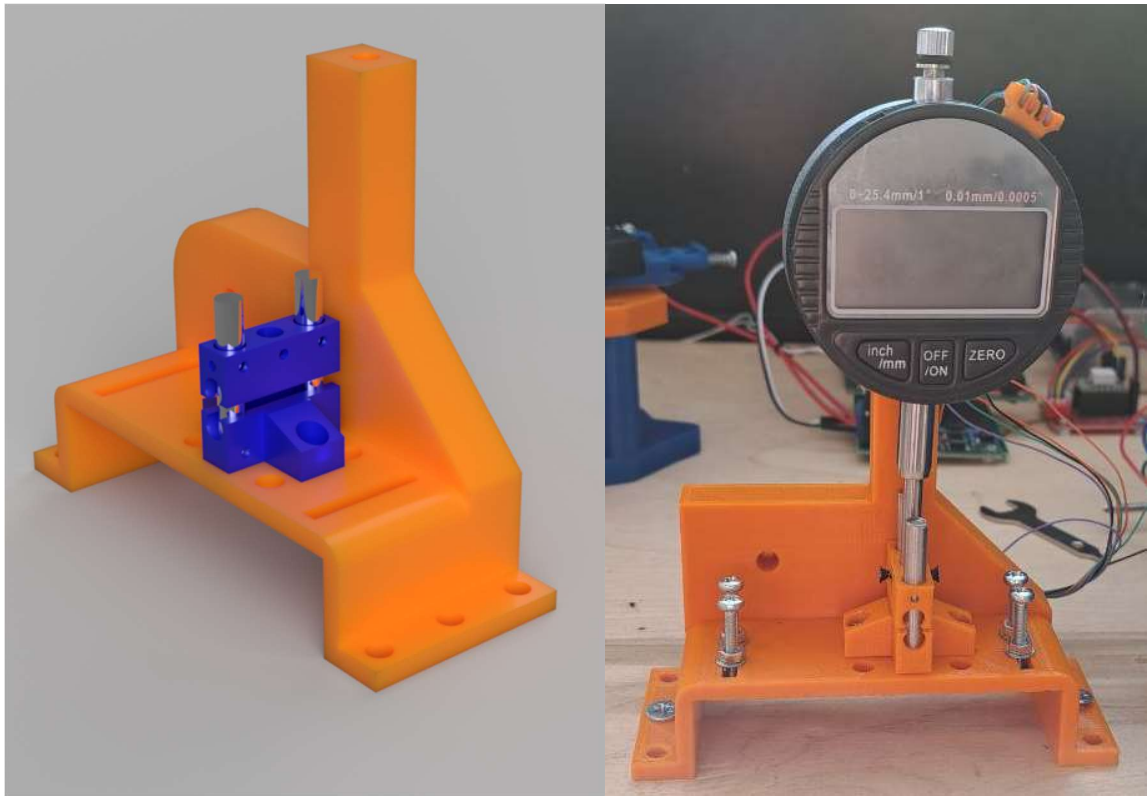


Рисунок 24 – Спроектированная и реализованная подставка для измерения диаметра переплавленной нити

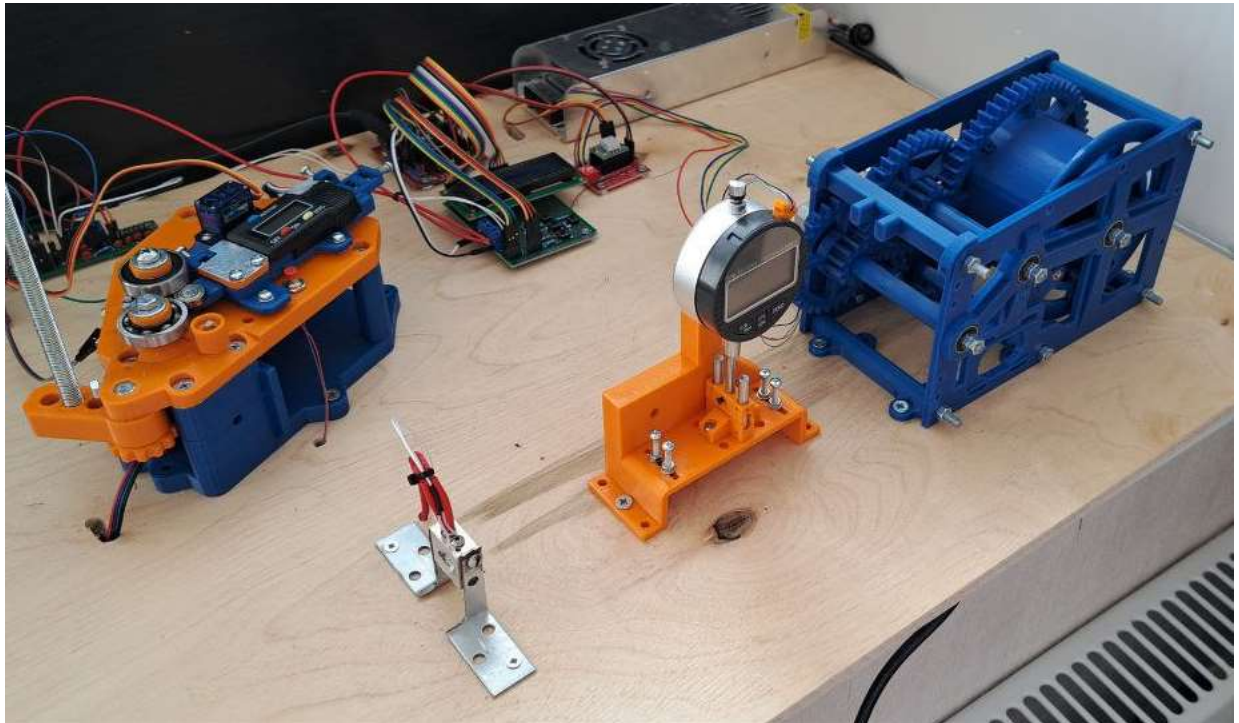


Рисунок 25 – Собранный станок

5. Разработка алгоритмов управления

Для того чтобы устройство нарезки бутылок выполняло роспуск бутылки на ленту нужной ширины необходимо передать данные с глубиномера на контроллер. Электронные штангенциркули, глубиномеры микрометры — это инструменты, используемый для точного измерения различных параметров объектов, таких как их толщина, внутренний и внешний диаметры, глубина отверстий и так далее. Электронный штангенциркуль имеет две измерительные поверхности - одну для внешних измерений и одну для внутренних измерений. Эти поверхности перемещаются в отношении друг друга для замера размеров объекта. Когда измерительные поверхности перемещаются, линейный датчик (обычно в виде закодированной шкалы) регистрирует это перемещение и преобразует его в электрический сигнал. Электрический сигнал затем передается в микропроцессор, который обрабатывает эти данные и переводит их в численное значение. Полученное численное значение отображается на цифровом дисплее в реальном времени. Большинство современных электронных штангенциркулей могут отображать измерения в различных единицах измерения, таких как миллиметры и дюймы. Как правило почти у всех таких устройств есть четыре пина под корпусом. С помощью осциллографа (рисунок 25) определено какой пин за что отвечает. По графиком можно понять, что протокол передачи данных похож на RS-232, только устройство данные отправляет, но не получает. На крайние подается питание, а центральные Clock и Data служат для передачи сигнала (рисунок 26).

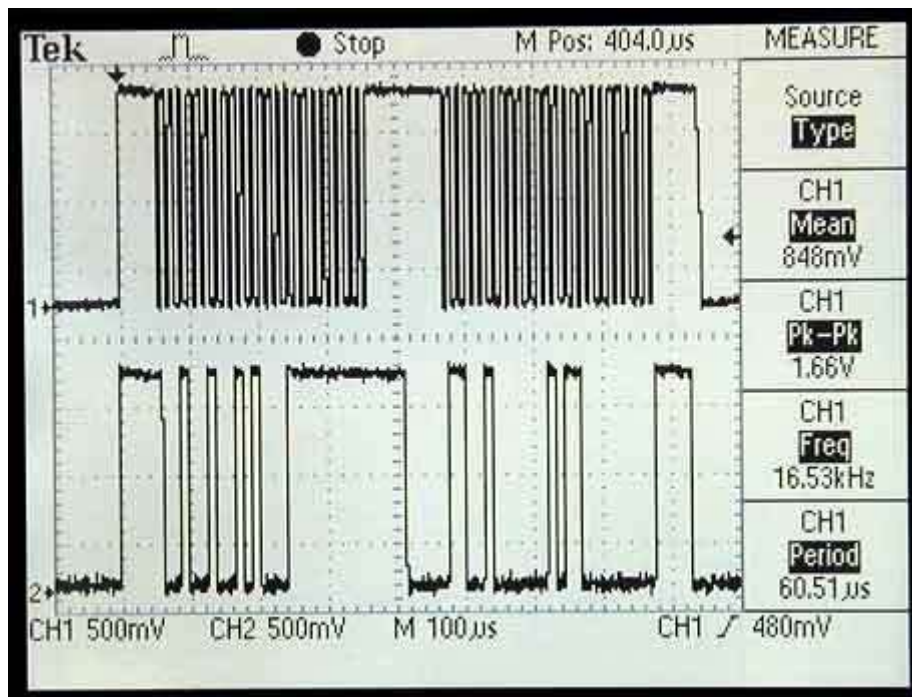


Рисунок 26 – Значения на осциллографе

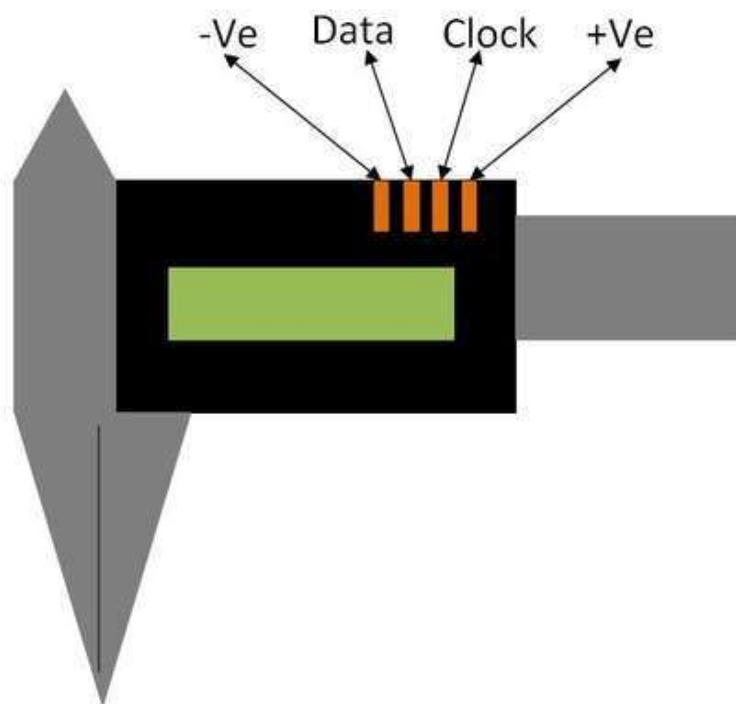


Рисунок 27 – Пины штангенциркуля

Для согласования напряжения на глубиномере и Arduino Nano будем использовать схему, приведенную на рисунке 28.

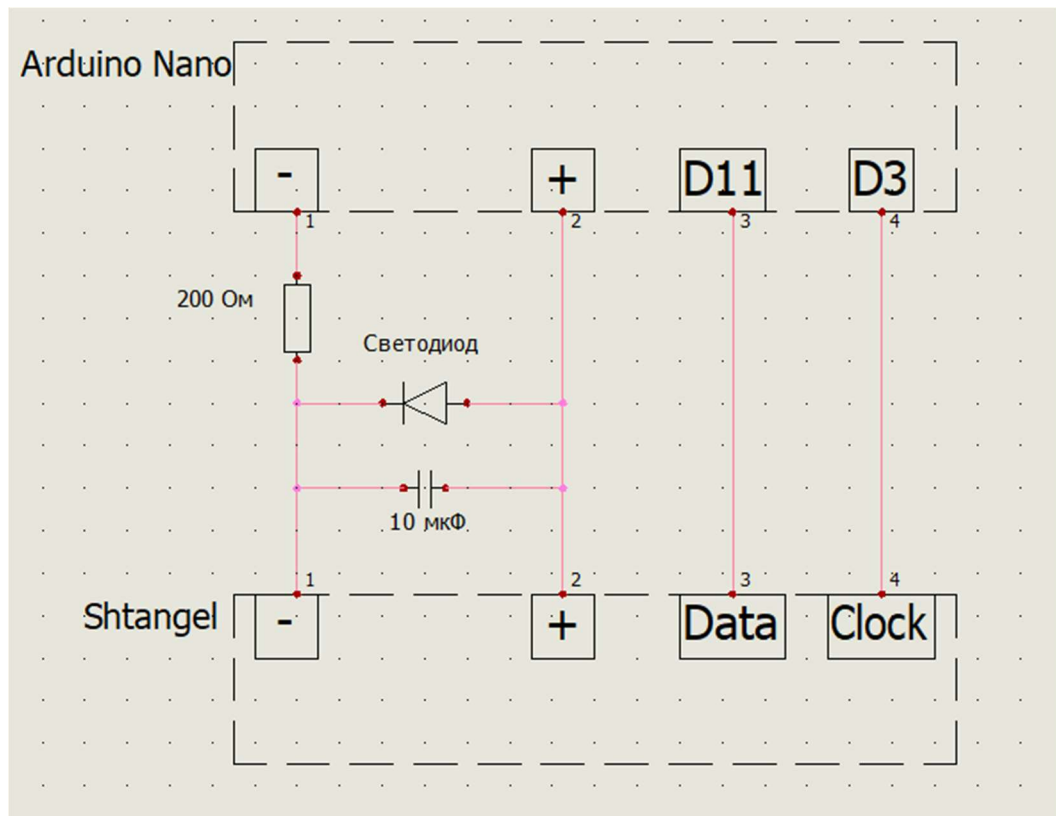


Рисунок 28 – Схема согласования напряжения

Теперь необходимо преобразовать полученные перепады напряжения в цифровой формат. Написанная программа представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Код программы для считывания данных с штангенциркуля

```
int dataIn = 11;
int clockIn = 3;

int isin = 0; //д=1 мм=0
int isfs = 0; //минус
int index; //счётчик битов

unsigned long xData, oData; //новые показания и старые

long previousGetMillis = 0;
long Timeout = 8;
float stringOne;

void setup(){
  pinMode (dataIn, INPUT);
  pinMode (clockIn, INPUT);
  attachInterrupt(1,getBit,RISING);

  Serial.begin(9600);
```

```

delay(500);

index = 0;
xDData = 0;
oData = 999;
}

void loop(){
if ((index !=0) && (millis() - previousGetMillis > Timeout) ) {
index = 0;
xDData = 0;
};

if (index >23) {
if (oData !=xDData) {
if (isin==1){
Serial.print("inch: ");
stringOne =xDData*5/10000.00000;
stringOne *=pow(-1,isfs);
Serial.println(stringOne);
}else {
Serial.print("mm: ");
stringOne =xDData/100.00;
stringOne *=pow(-1,isfs);
Serial.println(stringOne);
};
};
oData=xDData;
index=0;
xDData=0;
};
}

void getBit(){ //чтение битов и флаги
previousGetMillis=millis();
//xDData=0;
if(index < 20){
if(digitalRead(dataIn)==1){
xDData|= 1<<index;
}
} else {
if (index==20) //минус
isfs=digitalRead(dataIn);

if (index==23) //дюймы
isin=digitalRead(dataIn);
};
index++;
}
}

```

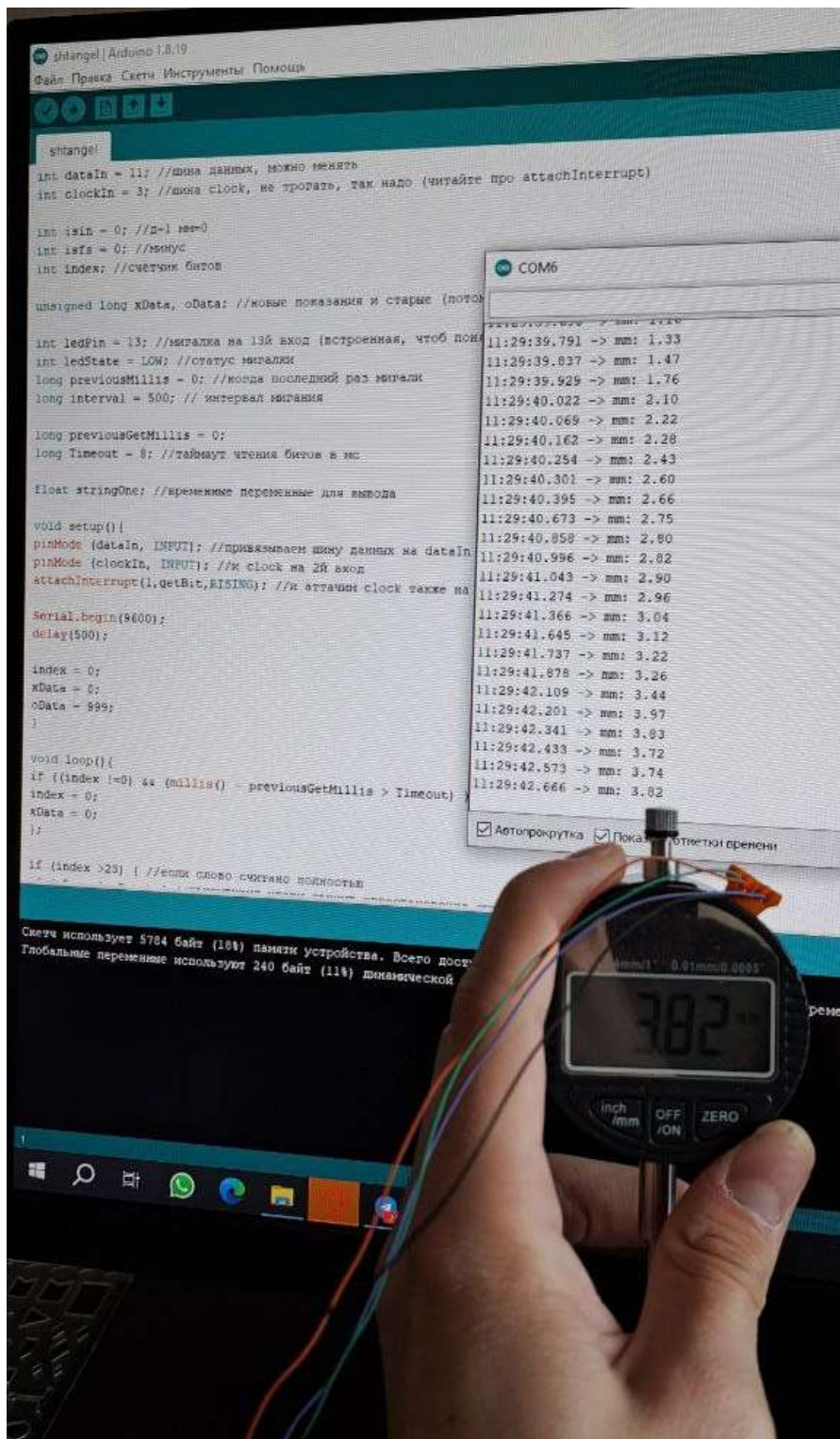


Рисунок 29 – Полученный результат передачи данных

С помощью полученных данных реализовано управление положением штока для регулировки высоты ленты. Высота ленты рассчитывается с помощью формул сечения прямоугольного параллелепипеда и площадь

сечения цилиндра. Площадь сечения прямоугольного параллелепипеда определяется формулой:

$$A_1 = L * W \quad (2)$$

где L – длина, мм;

W – ширина, мм.

Площадь сечения цилиндра определяется формулой:

$$A_2 = \pi * r^2 \quad (3)$$

$A = \pi * r^2$, где r - радиус цилиндра. Если мы знаем, что диаметр цилиндра равен 1.75 мм, то его радиус составит 0.875 мм. Подставим этот радиус в формулу площади сечения цилиндра:

$$A_2 = \pi * (0,875^2) \approx 2,4 \text{ мм}^2 \quad (4)$$

Теперь, если мы хотим, чтобы площадь сечения прямоугольного параллелепипеда была равна площади сечения цилиндра, мы можем установить их равенство и решить уравнение. Например, если ширина параллелепипеда равна 0.3 мм, то его высота будет равна:

$$L = \frac{A_2}{W} = \frac{2,4}{0,3} = 8 \text{ мм} \quad (5)$$

Это обеспечит равенство площадей сечения. Алгоритм управления нарезки бутылки на ленты представлен на рисунке 30. После подачи питания на резак включается режим «Калибровки», при котором направляющий шток поедет искать концевик. После сработки концевого выключателя стержень заправки опустить вниз на 5 мм, то есть достигнет исходного положения. Таким образом, резак будет нарезать ленту шириной 5 мм и не реагировать на толщину стенки бутылки. При нажатии на кнопку устройство для нарезания бутылки перейдет в режим «Нарезки», контроллер получит данные с штангенциркуля, произведет вычисления и подаст управляющий сигнал на шаговый двигатель, который медленно начнет движение в расчетное положение зависимости от толщины бутылки. При следующем нажатии на

кнопку шток перейдет в исходное положение. Устройство запрограммировано резать ленту под протяжное сопло 1.7 мм.

Алгоритм нагрева и протяжки ленты через нагреватель представлена на рисунке 31. Если кнопка нагрева была нажата, то включается нагрев до заданной температуры, которая выставляется с помощью кнопок «вверх» (увеличение температуры) или «вниз» (уменьшение температуры). При повторном нажатии кнопки нагрева, он останавливает нагревание. Управление скоростью вращения шагового двигателя осуществляется ручным и автоматическим способом, которое регулируется кнопкой местного управления. Для задания скорости необходимо нажимать кнопки «вправо» и «влево». При нажатии кнопки местного управления происходит переключение между режимами работы. В местном режиме скорость протяжки устанавливается в ручном режиме, это также необходимо для начала процесса, потому что первый метр ленты необходимо протянуть вручную, чтобы зацепить прутки за катушку редуктора. В автоматическом режиме данные с микрометра, который мерит диаметр прутка и влияет на скорость протяжки.

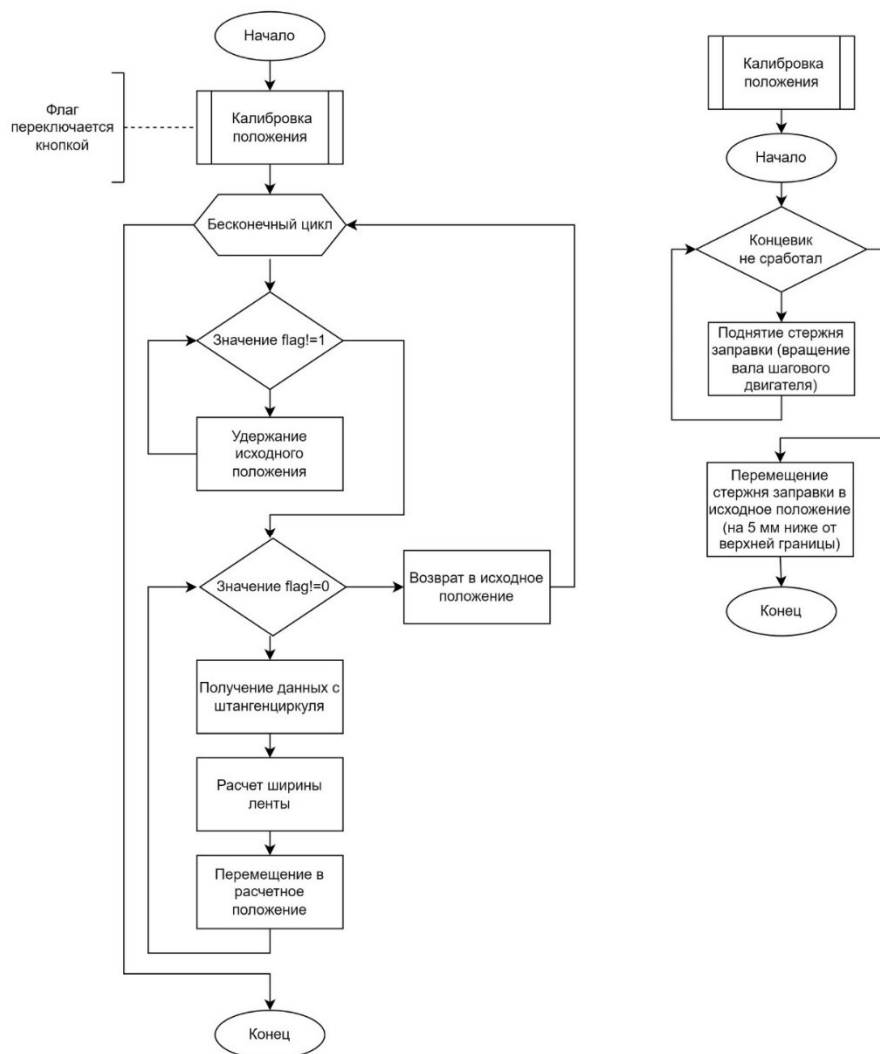


Рисунок 30 – Алгоритм работы нарезки бутылки на ленту

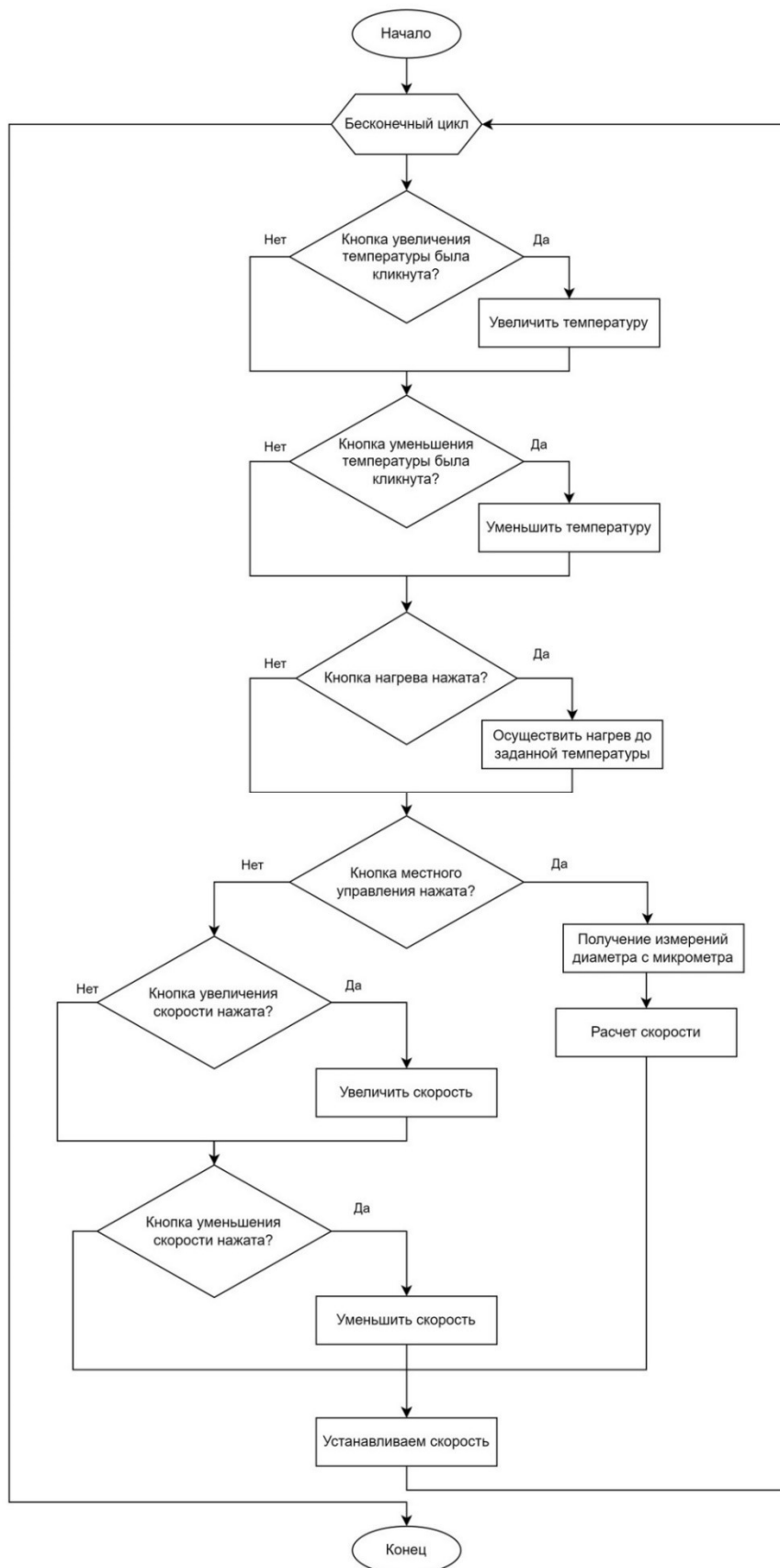


Рисунок 31 – Алгоритм работы нагрева и протяжки ленты

Для обеспечения переplавки полученной бутылочной ленты соберем модель регулирования температуры и протестируем ее. В качестве контроллера выступает Arduino Nano, управляющее устройство – электромагнитное реле и объект управления – нагреватель, термистор с сопротивлением 100 кОм при температуре 25 градусов. Соберем электронную схему и напишем программу (таблица 6) и построим график для тестирования системы.



Рисунок 32 – Модель регулирования температуры

Таблица 6 – Программа для нагрева хотэнда

```
#define B_COEFFICIENT 3950
#define THERMISTOR_RESISTANCE 100000
#define SERIES_RESISTOR 100000
#define ADC_RESOLUTION 1023
#define MOSFET_PIN 10
#define THERMISTOR_PIN A7

void setup() {
  pinMode(MOSFET_PIN, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int rawValue = analogRead(THERMISTOR_PIN);
  double temp = calculateTemperature(rawValue);

  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temp);

  if(temp < 100.0) {
    digitalWrite(MOSFET_PIN, HIGH); // нагреть
    Serial.println(" MOSFET Status: ON");
  } else {
    digitalWrite(MOSFET_PIN, LOW); // остановить нагрев
  }
}
```

```

Serial.println(" MOSFET Status: OFF");
}
}

double calculateTemperature(int rawValue) {
double resistance = SERIES_RESISTOR / ((ADC_RESOLUTION / (double)rawValue) - 1);
double temp = 1.0 / (log(resistance / THERMISTOR_RESISTANCE) / B_COEFFICIENT +
1.0 / 298.15) - 273.15;
return temp;
}

```

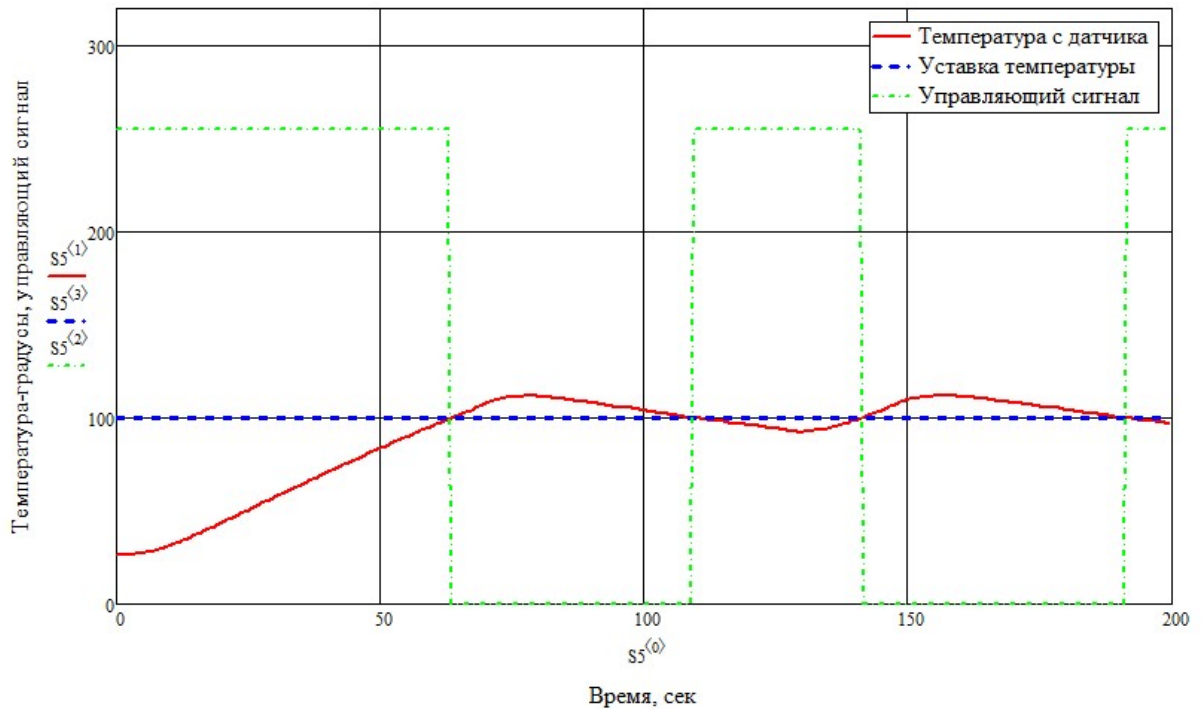


Рисунок 33 – График переходного процесса без регулятора

По графику видно, что система нестабильна и не держит определенную температуру, значения колеблются от 97 до 105 градусов. Для регулировки температуры реализуем ПИД-регулятор для этой системы. По графику видно, что система описывает апериодическое звено первого порядка с задержкой:

$$W = \frac{k_{yc}}{TS + 1} e^{-\tau s} \quad (6)$$

Постоянная времени T для системы первого порядка определяется как время, за которое система достигает примерно 63.2% от общего изменения от начального до конечного состояния после ступенчатого воздействия.

Изменение температуры с 26 градусов до 100 градусов составляет 74 градуса, а не 100 градусов. То есть, 63.2% от 74 градусов составляют примерно 46.77 градуса. Таким образом, постоянная времени системы будет равна времени, когда система нагреется до примерно 72.77 градусов и составляет 40 секунд.

Коэффициент усиления K в передаточной функции системы первого порядка представляет собой отношение изменения выходного сигнала системы к изменению входного сигнала при переходе системы к стационарному состоянию.

Выходной сигнал изменяется с 0 до 5 вольт что приводит к увеличению температуры с 26 до 100 градусов (т.е. изменение температуры составляет 74 градуса), то коэффициент усиления K будет равен:

$$k_{yc} = \frac{74}{5} = 14.8 \quad (7)$$

В соответствии с этим передаточная функция системы будет выглядеть следующим образом:

$$W = \frac{14.8}{40s + 1} e^{-5s} \quad (8)$$

Используя Matlab Simulink, был смоделирован процесс термонагрева (рисунок 34) и с помощью автоматических алгоритмов Matlab подобраны коэффициенты для ПИД-регулятора, которые составили $K_p=40$, $K_i=1.2$, $K_d=100$. График переходного процесса системы представлен на рисунке 35.

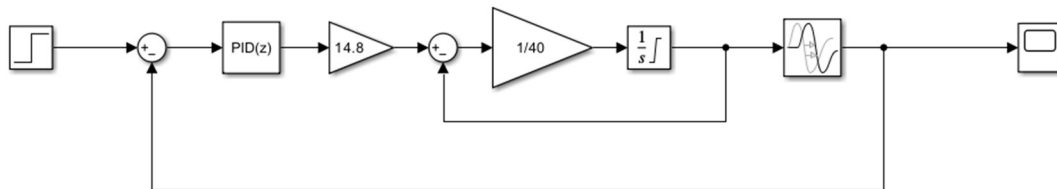


Рисунок 34 – Модель в Simulink

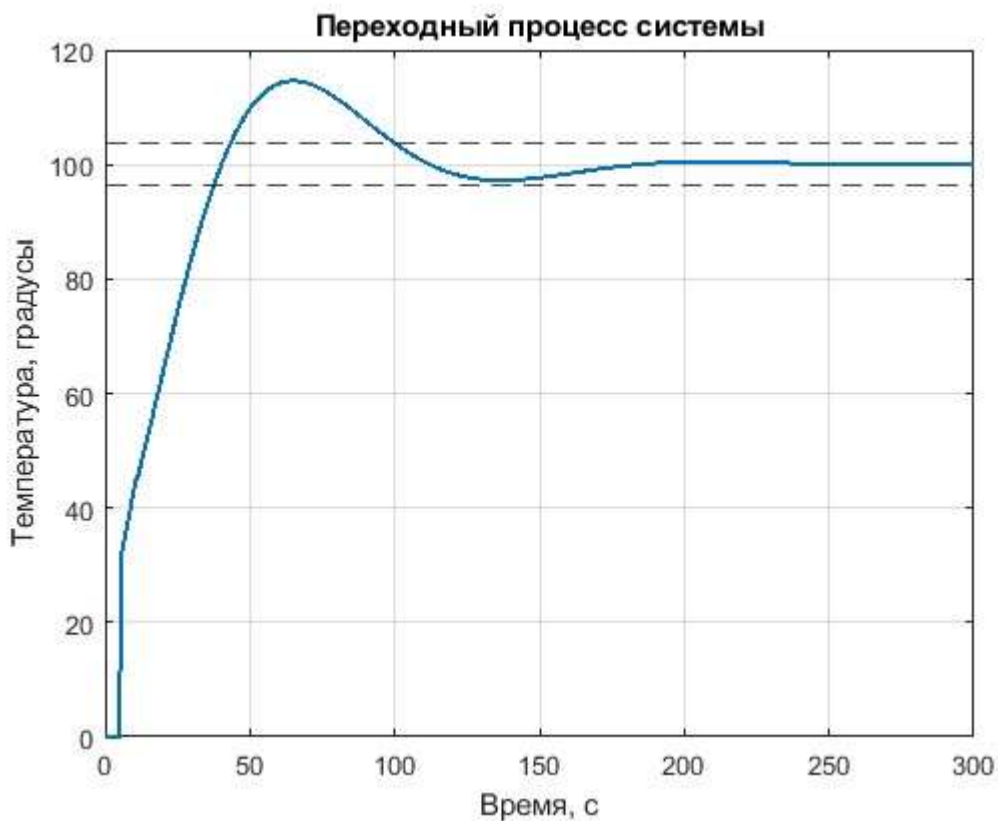


Рисунок 35 – График переходного процесса

Напишем программу управления с ПИД-регулятором (таблица 7). С помощью Программы протестируем полученные коэффициенты системы для различных управляющих устройств: электромагнитное реле, мосфет транзистор IRF520, мосфет транзистор IRLR2905.

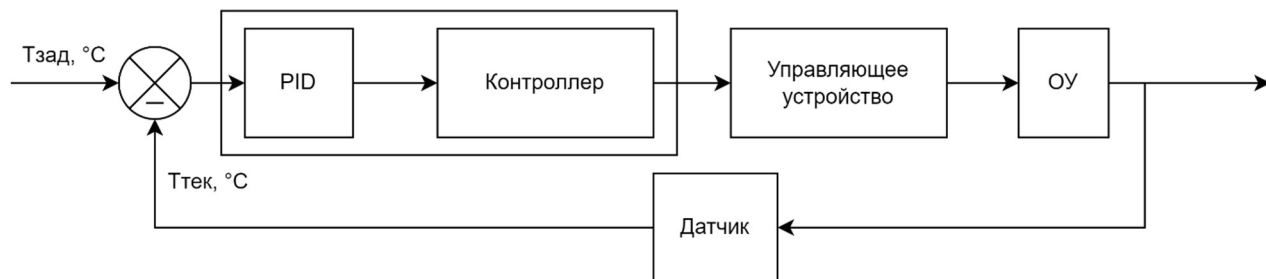


Рисунок 36 – Модель регулирования температуры с ПИД-регулятором

Таблица 7 – Программа для нагрева хотэнда с ПИД-регулятором

```

#define MOS_PIN 10
#define THERM_PIN A7

#include "thermistorMinim.h"
thermistor therm(THERM_PIN, 100000, 3950, 25, 100000);

#include "GyverPID.h"

GyverPID pid(40, 1.2, 100);
int period = 500;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.setTimeout(50);
  pid.setpoint = 20;
  pid.setDt(period);
  pinMode(MOS_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
  static uint32_t tmr;
  if (millis() - tmr >= period) {
    tmr = millis();
    pid.input = therm.getTempAverage();
    pid.getResult();
    analogWrite(MOS_PIN, pid.output);

    Serial.print(pid.input); Serial.print(' ');
    Serial.print(pid.output); Serial.print(' ');
    Serial.println(pid.setpoint);
  }
  parsing();
}

void parsing() {
  if (Serial.available() > 1) {

```

```

char incoming = Serial.read();
float value = Serial.parseFloat();
switch (incoming) {
  case 'p': pid.Kp = value; break;
  case 'i': pid.Ki = value; break;
  case 'd': pid.Kd = value; break;
  case 's': pid.setpoint = value; break;
}
}
}
}

```

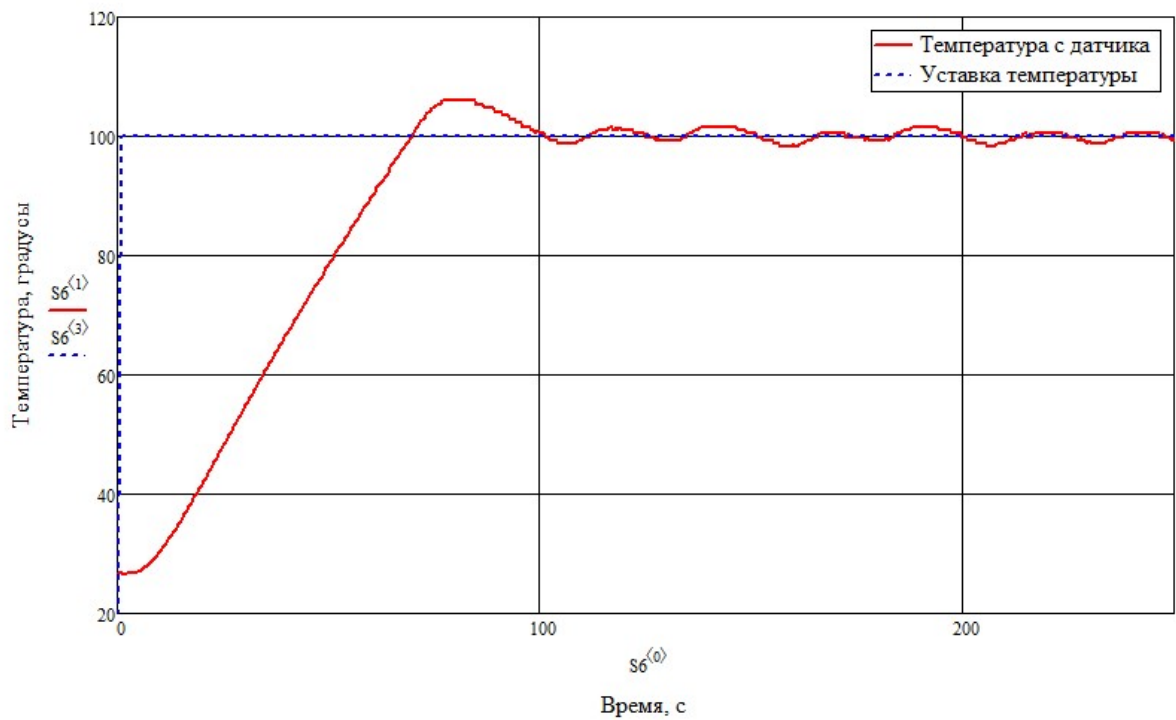


Рисунок 37 – График переходного процесса с ПИД-регулятором для электромагнитного реле

По графику видно, что перерегулирование составило 6%, а время переходного процесса 93 секунды, после чего температура устаканивается и колеблется между 98-102 градуса. Это можно объяснить тем, что электромагнитное реле замыкается при определенном напряжении в идеальных условиях это 5 В, но в действительности ШИМ сигнала напряжения, которого в общем равно около 4 В достаточно для замыкания. Подадим возмущающие воздействие на систему в виде вентилятора (рисунок

38) и посмотрим, как система его обрабатывает, а также сравним выходные сигналы с контроллера на управляющие устройство.

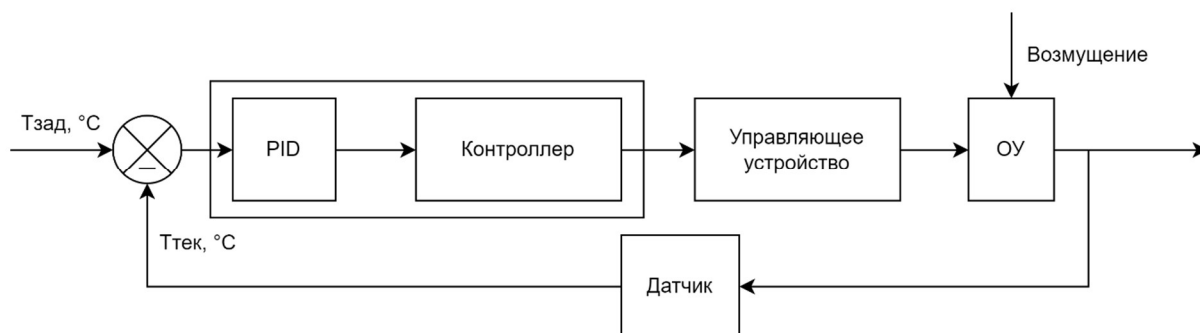


Рисунок 38 – Модель регулирования температуры с ПИД-регулятором и возмущающим воздействием

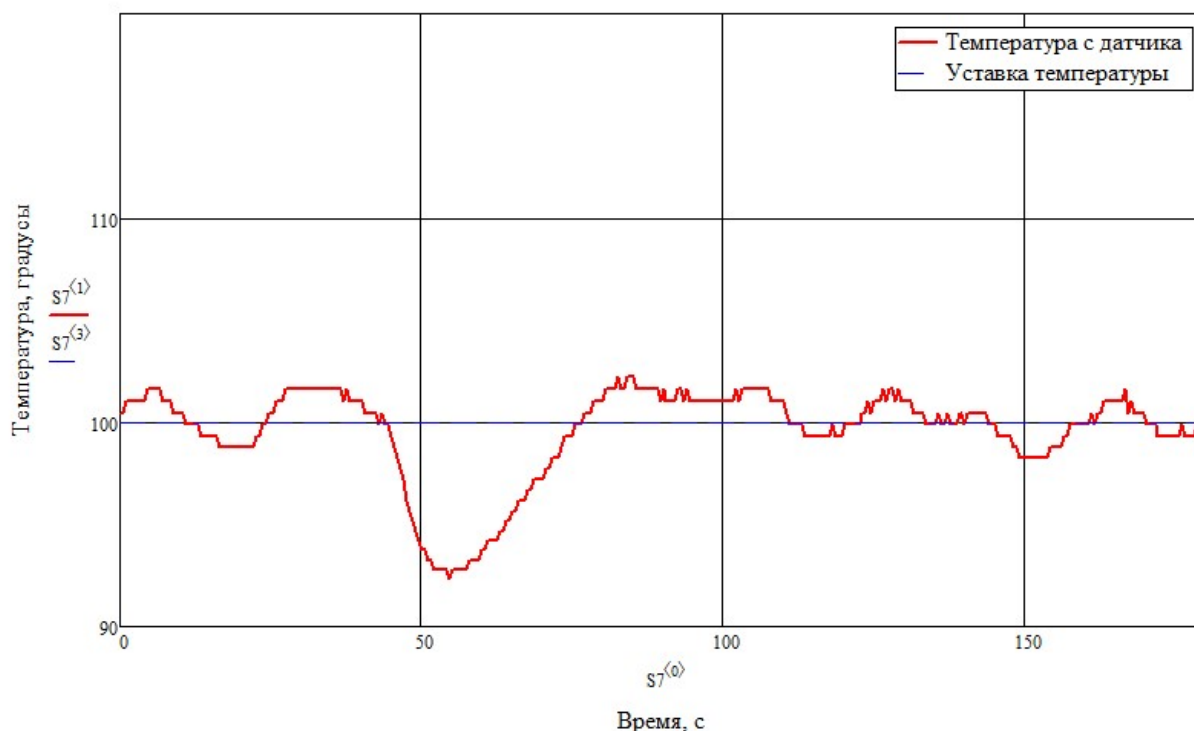


Рисунок 39 – График переходного процесса с возмущением для электромагнитного реле

Как видно из графика при воздействии вентилятора система остыла до 92 градусов, время необходимое, чтобы система вернулась в установившееся значение составило 35 секунд.

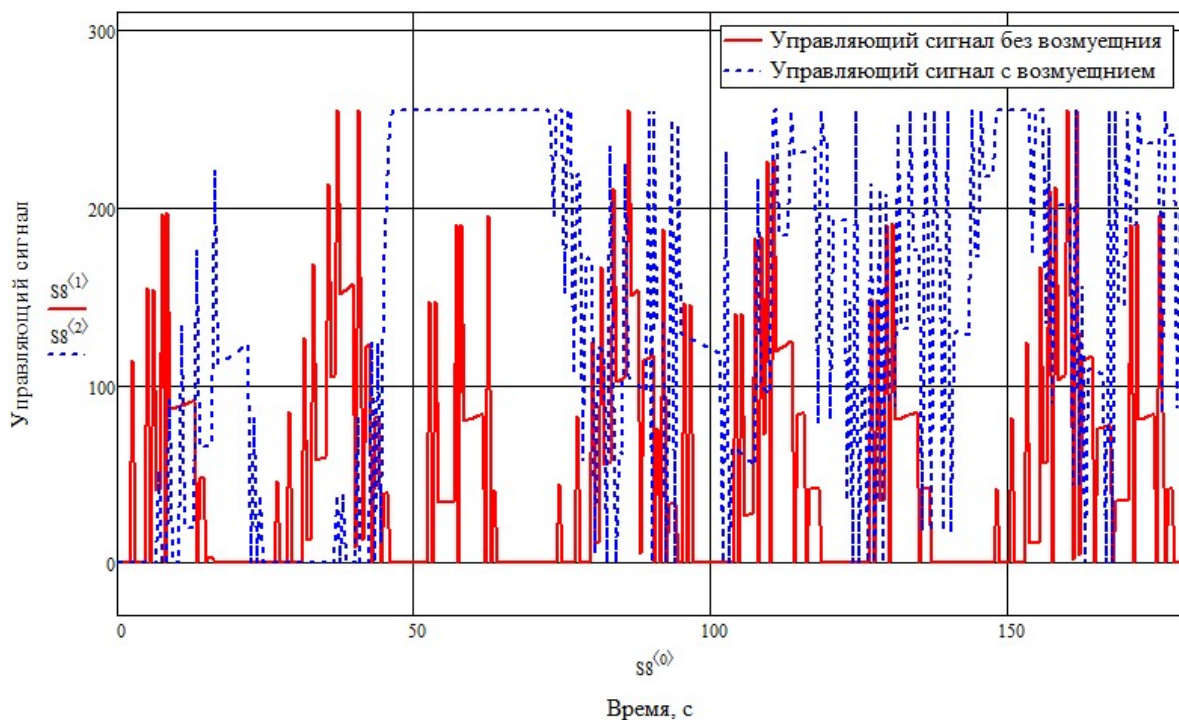


Рисунок 40 – График управляющих сигналов при установившемся режиме без и с возмущающим воздействием для электромагнитного реле

Как видно из графика управляющих сигналов система повышает значение на выходе, чтобы минимизировать действие возмущающего воздействия.

Прделаем все тоже самое, только в качестве управляющего устройства будем использовать MOSFET транзисторы IRF520 и IRLR2905 сравним, проанализируем и сделаем выводы.

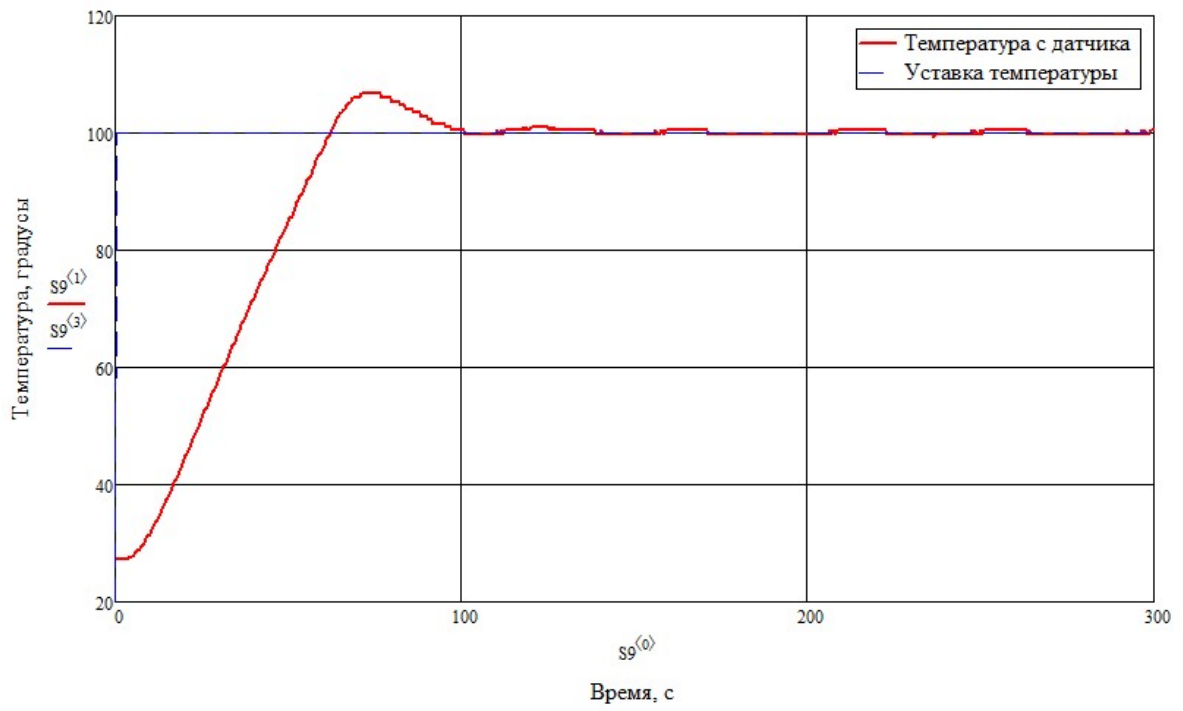


Рисунок 41 – График переходного процесса с ПИД-регулятором для IRF520

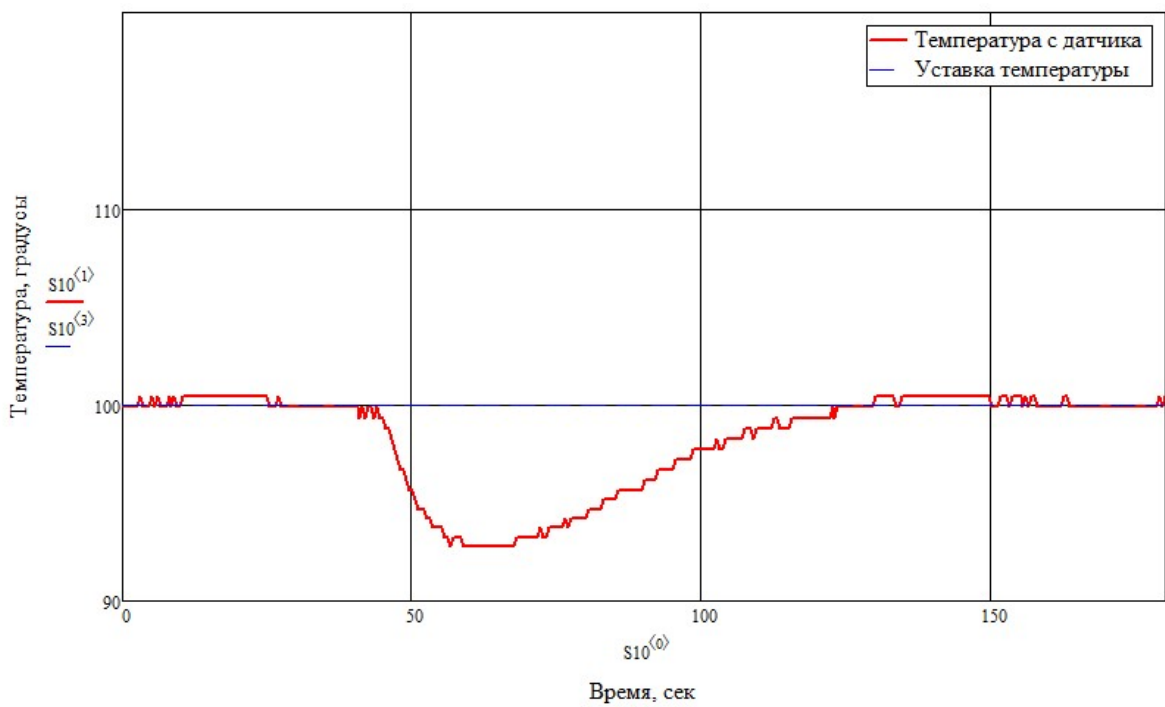


Рисунок 42 – График переходного процесса с возмущением для IRF520

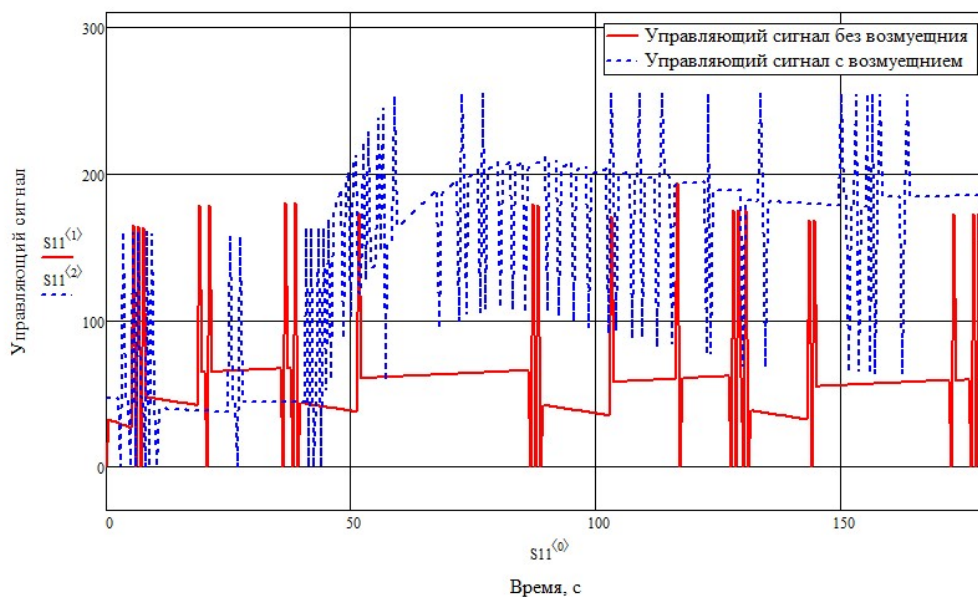


Рисунок 43 – График управляющих сигналов при установившемся режиме без и с возмущающим воздействием для IRLR2905

По графиком переходного процесса для IRLR2905 видно, что перерегулирование составило 6%, время переходного процесса составило 86 секунд. Время, за которое система отработало возмущающее воздействие 53 секунды.

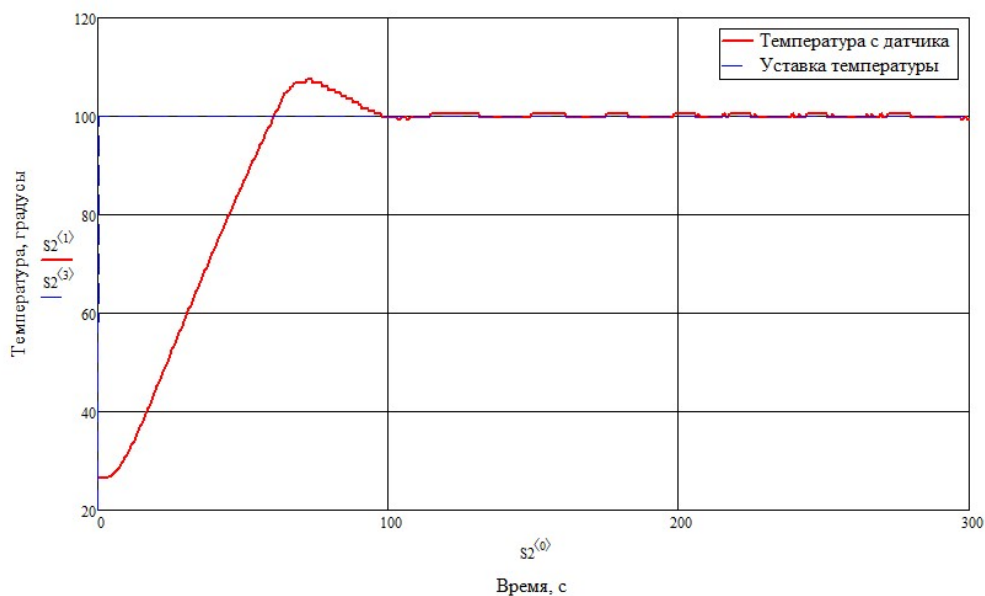


Рисунок 44 – График переходного процесса с ПИД-регулятором для IRLR2905

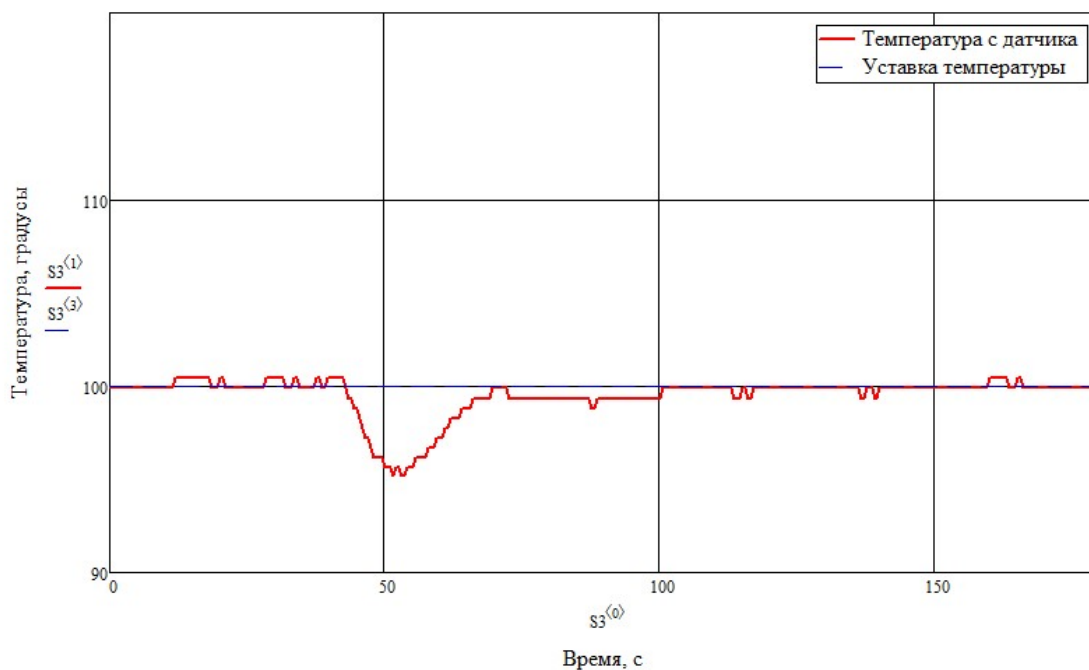


Рисунок 45 – График переходного процесса с возмущением для IRLR2905

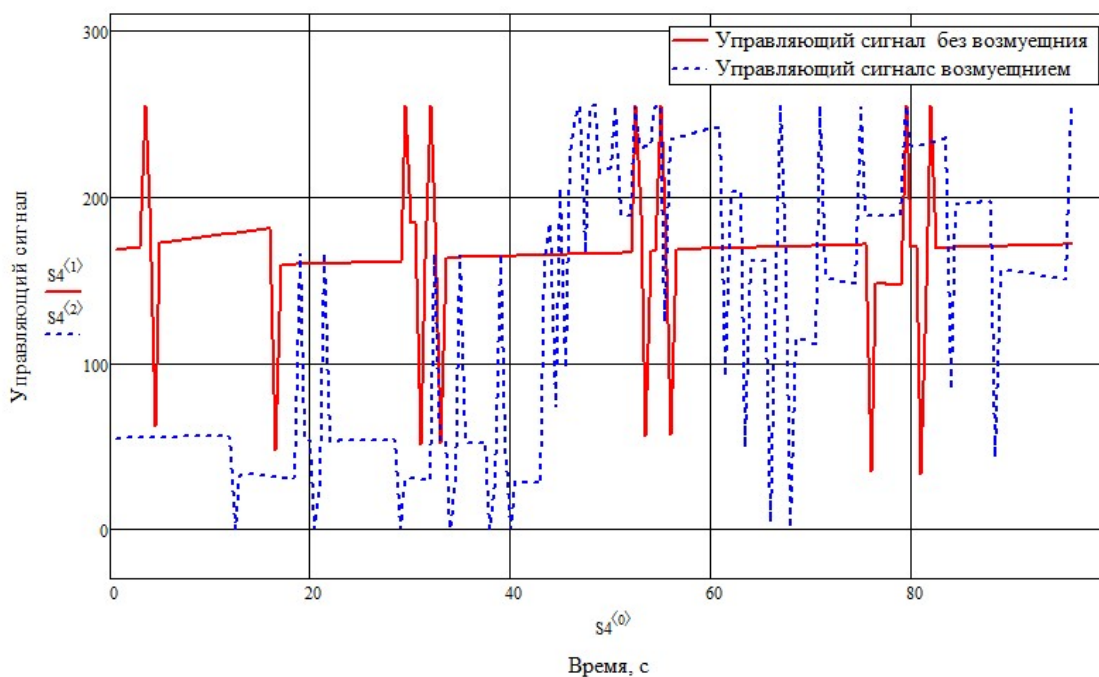


Рисунок 46 – График управляющих сигналов при установившемся режиме без и с возмущающим воздействием для IRLR2905

По графиком переходного процесса для IRLR2905 видно, что перерегулирование составило 6%, время переходного процесса составило 85

секунд. Время, за которое система отработало возмущающее воздействие 20 секунд.

По полученным результатам можно сделать вывод, что система с управляющим устройством IRLR2905 показало лучший результат по сравнению с другими устройствами. Перерегулирование у всех устройств одинаковое и составило 6%, лучшее время переходного процесса составило 85 секунд у IRLR2905, а наибольшее время показало электромагнитное реле. Отработка внешнего воздействия у транзистора IRLR2905 20 секунд, что на 15 секунд больше, чем у электромагнитного реле.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8ТМ11	Беликову Михаилу Константиновичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость ресурсов определялась по средней рыночной стоимости, в соответствии с тарифами на рынке труда для сотрудников проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию 3,20 руб. за кВт/ч. 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Представить Устав научного проекта магистерской работы
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план управления НТИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, эффективности</i>	Рассчитать сравнительную эффективность исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Матрица SWOT 4. Бланк оценки степени готовности научного проекта 5. Потенциальные заинтересованные стороны проекта 6. Цель и результаты проекта 7. Рабочая группа проекта 8. Календарный план проекта 9. Диаграмма Ганта 10. Группировка затрат по статьям 11. Сырье, материалы материала для первого исполнения 12. Сырье, материалы материала для второго исполнения 13. Сырье, материалы материала для третьего исполнения 14. Специальное ПО и оборудование 15. Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для первого варианта исполнения 16. Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для второго варианта исполнения 17. Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для третьего варианта исполнения 18. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта 19. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд. экон. наук		07.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ11	Беликов Михаил Константинович		07.02.2023

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1. Предпроектный анализ

Потенциальные потребители результатов исследования.

Потенциальными потребителями результатов разрабатываемого станка могут быть:

1. 3D-печатные студии и сервисы: они могут использовать этот филамент для создания различных объектов и изделий, предлагая своим клиентам более экологичный вариант материала.

2. Образовательные учреждения: школы, колледжи и университеты, особенно те, которые специализируются на технических и инженерных дисциплинах, могут использовать филамент в качестве обучающего материала для своих студентов.

3. Стартапы и малые предприятия: многие из них могут быть заинтересованы в использовании переработанного филамента для создания своих прототипов и продуктов, сокращая затраты и улучшая экологический баланс.

В таблице 8 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, географическое расположение. Цифрами обозначены компании: 1 - «3D Printus», 2 – «Bestfilament», 3 - «Reflow».

Таблица 8 – Сегментирование рынка

		Географическое расположение		
		Региональные рынки	Национальные рынки	Глобальные рынки
Размер компании	Крупные	1,2	2,3	
	Средние	2	1,2	3
	Мелкие		1,2	3

По результатам анализа карты сегментирования можно сделать вывод о том, что наименьшая конкуренция на региональном рынке у средних и мелких компаний.

Анализ конкурентных технических решений. В настоящее время существует достаточное количество проектных организаций, занимающихся производством пластика и услугами 3D-печати.

Анализ проведён с помощью оценочной карты, представленной в таблице 9, где $B_{к1}$ – «Bestfilament», $B_{к2}$ – АО «Reflow», B_p – разработанный автоматизированный станок по переработке пластика в филамент для 3D-печати.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_p	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_p	$K_{к1}$	$K_{к2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надёжность	0,12	3	5	4	0,36	0,6	0,48
Удобство в эксплуатации	0,15	3	4	4	0,36	0,48	0,48
Безопасность	0,05	3	4	4	0,36	0,48	0,48
Улучшение производительности	0,15	3	5	5	0,36	0,6	0,6
Минимизация ошибок контроля расхода	0,15	3	4	4	0,36	0,48	0,48
Ремонтопригодность	0,15	5	4	3	0,6	0,48	0,36
Энергоэкономичность	0,11	5	3	3	0,6	0,36	0,36
Послепроектное сопровождение	0,09	4	4	3	0,48	0,48	0,36
Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	4	5	4	0,48	0,6	0,48
Итого	1	33	38	34	3,96	4,56	4,08

Из оценочной карты можно заметить, что текущий проект является конкурентоспособным. Стоит заметить, что его положительными сторонами являются, энергоэкономичность, ремонтпригодность, цена. С другой

стороны, при дальнейшей модернизации проекта необходимо уделить большее внимание таким критериям, как минимизация ошибок контроля расхода, улучшение производительности, безопасности, надежности.

SWOT-анализ. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 10.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность: станок предлагает возможность переработки пластиковых отходов, снижая негативное воздействие на окружающую среду.</p> <p>С2. Экономия ресурсов: использование переработанного филамента может помочь снизить затраты на сырье для 3D-печати.</p> <p>С3. Инновационность: станок представляет собой передовую технологию, которая может привлечь внимание предприятий и инвесторов.</p> <p>С4. Гибкость применения: станок может использоваться в различных отраслях, от образования и производства до искусства и дизайна.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Ограниченный рынок: станок предназначен для переработки определенного вида пластика (PET), что может сужать рынок сбыта.</p> <p>Сл2. Технические ограничения: качество получаемого филамента может быть ниже, чем у коммерческих аналогов из-за возможных проблем с чистотой и однородностью материала.</p> <p>Сл3. Необходимость обучения: потенциальные пользователи могут испытывать трудности с освоением технологии, что потребует предоставления обучающих</p>
--	---	--

		материалов и поддержки.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Растущий интерес к устойчивому производству и потреблению: экологические тренды могут стимулировать спрос на станок.</p> <p>В2. Развитие рынка 3D-печати: по мере расширения рынка 3D-печати возрастает потребность в разнообразии доступных материалов.</p> <p>В3. Законодательные инициативы: правительственные программы, направленные на повышение уровня переработки пластика, могут поддерживать продажи станка.</p>	<p>В1С1. Сильная сторона станка – его экологичность. Это может быть использовано для привлечения внимания к проекту в условиях растущего интереса к устойчивому производству и потреблению. Работая с экологическими организациями и правительственными программами, можно увеличить осведомленность и доверие к продукту.</p> <p>В2С2. Экономия на сырье благодаря использованию переработанного филамента может быть привлекательным фактором для компаний, работающих в сфере 3D-печати. По мере расширения рынка 3D-печати возрастает потребность в доступных и экологичных материалах,</p>	<p>В1Сл1. Слабая сторона станка – ограниченный рынок из-за переработки только PET пластика. Однако растущий интерес к устойчивому производству может привести к большему спросу на продукты, созданные из переработанных материалов. Чтобы расширить рынок сбыта, можно рассмотреть возможность адаптации станка для переработки других видов пластика.</p> <p>В2Сл2. Технические ограничения, такие как ниже качество получаемого филамента, могут снизить привлекательность</p>

<p>В4. Сотрудничество с экологическими организациями: партнерство с организациями, заинтересованными в устойчивом развитии, может помочь продвижению станка на рынке.</p>	<p>что делает этот станок актуальным для растущего рынка.</p> <p>В3С3. Инновационность станка может привлечь внимание инвесторов и предприятий, заинтересованных в внедрении новых технологий.</p> <p>Сотрудничество с законодательными инициативами, направленными на повышение уровня переработки пластика, может поддерживать продажи станка и создать благоприятные условия для его внедрения на рынке.</p> <p>В4С4. Гибкость применения и сотрудничество с экологическими организациями: Гибкость применения станка в различных отраслях позволяет предложить его широкому кругу потенциальных клиентов. Разработка партнерств с экологическими организациями может помочь в продвижении станка и усилении имиджа его экологичности, что может стать дополнительным стимулом для потенциальных покупателей.</p>	<p>станка для некоторых клиентов. Однако по мере развития рынка 3D-печати, можно сосредоточиться на совершенствовании технологии, чтобы предложить более качественный и конкурентоспособный продукт.</p> <p>В3Сл3.Необходимость обучения пользователей может создать дополнительные затраты и барьеры для внедрения станка. Однако сотрудничество с законодательными инициативами, направленными на повышение уровня переработки пластика, может помочь предоставить необходимые обучающие материалы и поддержку для успешного освоения технологии.</p> <p>В4Сл4. Сотрудничество с экологическими организациями может помочь не только в продвижении станка, но и в разработке решений для устранения барьеров внедрения, таких как</p>
---	--	---

		<p>трудности с адаптацией производства к использованию переработанного филамента. Это позволит увеличить количество потенциальных клиентов и расширить рынок сбыта продукции.</p>
<p>Угрозы: У1. Конкуренция: появление других производителей с аналогичными или улучшенными технологиями может снизить привлекательность данного станка на рынке. У2. Технологические изменения: быстрое развитие технологий в области 3D-печати может сделать станок устаревшим или менее привлекательным для потенциальных покупателей. У3. Экономические факторы: экономические кризисы, снижение инвестиций и сокращение бюджетов компаний могут снизить спрос на станок и</p>	<p>У1С1. Сильная сторона станка – его экологичность. Это может быть использовано для конкурентного преимущества перед другими производителями, предлагающими аналогичные или улучшенные технологии. Акцентирование внимания на экологических преимуществах продукта может помочь выделиться на рынке и привлечь потенциальных клиентов. У2С2. Экономия на сырье благодаря использованию переработанного филамента может быть привлекательным фактором для клиентов. Однако быстрое развитие технологий в области 3D-печати может сделать станок устаревшим. Чтобы избежать этого, компания должна постоянно мониторить технологические тренды и</p>	<p>У1Сл1. Ограниченный рынок из-за переработки только PET пластика может сделать станок менее привлекательным для потенциальных клиентов в сравнении с конкурентами, предлагающими более универсальные решения. Чтобы снизить влияние этой угрозы, компания может рассмотреть возможность адаптации станка для переработки других видов пластика или разработать совместные предложения с партнерами, предлагающими дополнительные технологии. У2Сл2. Технические ограничения, такие как ниже качество</p>

<p>переработанный филамент.</p> <p>У4. Законодательные ограничения: строгие экологические нормы или изменения в законодательстве могут повлиять на процесс переработки пластика и, как следствие, на работу станка.</p> <p>У5. Барьеры внедрения: потенциальные клиенты могут столкнуться с трудностями в адаптации своего производства к использованию переработанного филамента, что может снизить спрос на станок.</p>	<p>инновации, а также адаптировать свой продукт к меняющимся требованиям рынка.</p> <p>У3С3. Инновационность станка может привлечь внимание инвесторов и предприятий. Однако экономические кризисы, снижение инвестиций и сокращение бюджетов компаний могут снизить спрос на станок. Чтобы справиться с этой угрозой, компания может искать альтернативные источники финансирования или разрабатывать стратегии для снижения производственных затрат.</p> <p>У4С4. Гибкость применения станка в различных отраслях может помочь снизить зависимость от определенных рыночных сегментов. Однако строгие экологические нормы или изменения в законодательстве могут повлиять на процесс переработки пластика и, как следствие, на работу станка. Важно следить за изменениями в законодательстве и адаптировать продукт, чтобы соответствовать новым требованиям и ограничениям.</p>	<p>получаемого филамента, могут снизить привлекательность станка в условиях быстрого развития технологий в области 3D-печати. Чтобы противостоять этой угрозе, компания должна инвестировать в разработку и усовершенствование технологии, а также сотрудничать с экспертами в области 3D-печати для обмена опытом и знаниями.</p> <p>У3Сл3. Необходимость обучения пользователей может создать дополнительные затраты и барьеры для внедрения станка, особенно в условиях экономической нестабильности. Чтобы справиться с этой угрозой, компания может разработать доступные обучающие материалы и предложить пакеты услуг, включающие обучение и техническую поддержку.</p>
---	---	--

Оценка готовности проекта к коммерциализации. Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации по пятибалльной шкале.

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для предоставления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	41	55

Оценка готовности проекта составляет $B_{\text{сумм}} = 41$, таким образом перспективность средняя.

Для дальнейшего улучшения разработки необходимо более качественно проработать механизм реализации научного проекта, улучшить компетенции разработчику и решить вопросы финансирования.

Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования. Выделим следующие методы коммерциализации научной разработки:

1) Торговля патентными лицензиями. Передача прав на использование технологии переработки пластика в филамент другим производителям оборудования или компаниям, работающим в сфере 3D-печати, на основе лицензионных соглашений. Это позволит расширить рынок сбыта и получить дополнительный доход от роялти.

2) Организация собственного предприятия. Продажа станка напрямую конечным пользователям, таким как 3D-печатные студии, производители и промышленные предприятия. Это может включать создание собственной сети продаж и дистрибьюции или работу с дистрибьюторами и посредниками.

3) Создание совместных предприятий или партнерств. Сотрудничество с другими компаниями, работающими в сфере 3D-печати, переработки пластика или производства оборудования, для создания совместных предприятий или стратегических партнерств. Такое сотрудничество может помочь объединить ресурсы, усилить маркетинговые усилия и обеспечить проникновение на новые рынки.

6.2. Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

Таблица 12 – Потенциальные заинтересованные стороны проекта

Потенциальные заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
«Z-Printer»	Компании ожидают, что станок будет эффективным с точки зрения производительности и потребления энергии, будет простым в использовании и настройке, будет экологически дружелюбным и уменьшит объем пластиковых отходов, будет доступным по цене и обеспечит низкие затраты на эксплуатацию.
«Ecolife Recycling»	
«Print Your Mind 3D»	

В таблице 13 представлена иерархия целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 13 – Цель и результаты проекта

Цель проекта:	Разработка автоматизированного станка по переработке пластика в филамент для 3D печати
Ожидаемые результаты проекта:	Аналитический обзор существующих систем по протяжке пластика; Описание технологического процесса; Проектирование и разработка станка по переработке пластика; Выбор средств реализации системы; Разработка алгоритмов управления системы

Таблица 14 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-емкость, чел./час
1	Громаков Евгений Иванович, к.т.н., доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	176
2	Беликов Михаил Константинович, студент	Исполнитель	Специалист, выполняющий работы по проекту.	672

6.3. Планирование управления научно-техническим проектом

План проекта

Таблица 15 – Календарный план проекта

Название	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Аналитический обзор существующих систем по протяжке пластика	5 дней	9.01.2023	13.01.2023	Руководитель проекта, исполнитель
Описание технологического процесса	20 дней	16.01.2023	10.02.2023	Исполнитель
Проектирование и разработка станка по переработке пластика	10 дней	13.02.2023	28.02.2023	Исполнитель
Выбор средств реализации системы	32 дня	1.03.2023	14.04.2023	Исполнитель
Разработка алгоритмов управления системы	17 дней	17.04.2023	12.05.2023	Руководитель проекта, Исполнитель

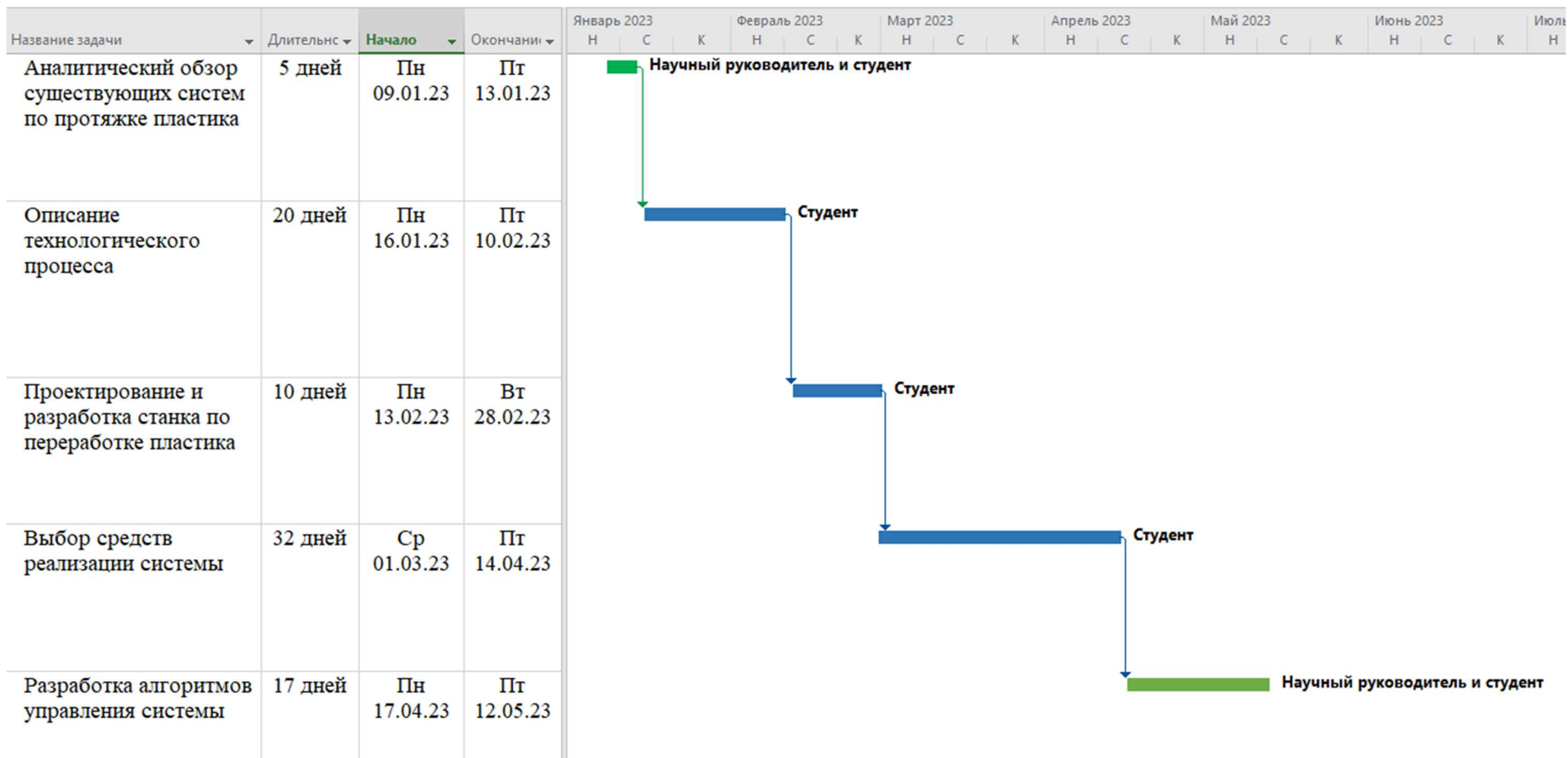


Рисунок 47 – Диаграмма Ганта

Бюджет научного исследования

Представим бюджет для 3-х вариантов исполнения научно-технического исследования с различным по классам оборудованию и реализации.

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

Варианты исполнения	Статьи			
	Сырьё, материалы, комплектующие, руб.	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, руб.	Основная заработная плата с отчислениями в социальные внебюджетные фонды, руб.	Итого плановая стоимость, руб.
1	10390	126990	376480	513860
2	12940	126990	374400	514330
3	19120	126990	403000	549110

Составим таблицы для сырья и материалов, специального оборудования, расчет заработных плат для различных вариантов исполнения.

Таблица 17 – Сырьё, материалы, комплектующие для первого исполнения

Наименование	Стоимость, руб.
Электроэнергия	400
Шаговый двигатель Nema17	1400
Arduino Nano	205
Драйвер A4988	60
Пластик PETG, 1 кг.	1900
Электронный микрометр	1420
Электронный глубиномер	300
Металлический вал, d8 мм	405
Ремень GT-2, 170 мм	100
Шкивы GT-2	200
Блок питания 12В	1000
Интернет	3000
Итого:	10390 руб.

Таблица 18 – Сырье, материалы и комплектующие для второго исполнения

Наименование	Стоимость, руб.
Электроэнергия	400
Шаговый двигатель Nema23	3000
Arduino UNO	650
Драйвер TMC2208	170
Пластик PETG, 1 кг.	1900
Электронный микрометр	1420
Электронный глубиномер	300
Металлический вал, d8 мм	800
Ремень GT-2, 170 мм	100
Шкивы GT-2	200
Блок питания 12В	1000
Интернет	3000
Итого:	12940 руб.

Таблица 19 – Сырье, материалы и комплектующие для третьего исполнения

Наименование	Стоимость, руб.
Электроэнергия	400
Шаговый двигатель Nema34	6400
GRBL 3-осевая плата управления	1600
Драйвер TMC2208	800
Пластик PETG, 1 кг.	1900
Электронный микрометр	1420
Электронный штангенциркуль	1500
Металлический вал, d8 мм	800
Ремень GT-2, 170 мм	100
Шкивы GT-2	200
Блок питания 12В	1000
Интернет	3000
Итого:	19120

Для различных вариантов будет использоваться одно и то же оборудование и программное обеспечение.

Таблица 20 – Специальное ПО и оборудование

Наименование	Стоимость, руб.
Компьютер	50000
Arduino	По подписке (0)
Ultimate Cura	По подписке (0)
Autodesk Fusion 360	По подписке (0)
Microsoft Office для дома и бизнеса	29990
3D-принтер FlyingBear Ghost 4S	23000
Windows	24000
Итого	126990

Таблица 21 – Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для первого варианта исполнения

Сотрудник	Трудоём- кость, чел.-час	Тариф, руб. за 1 чел./час с районным коэффициен- том (30%)	Всего заработн ая плата, руб.	Отчисления в социальные внебюджетн ые фонды	Итого, руб.
Руководитель	176	500	88000	86880	376480
Исполнитель	672	300	201600		

Таблица 22 – Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для второго варианта исполнения

Сотрудник	Трудоём- кость, чел.-час	Тариф, руб. за 1 чел./час с районным коэффициент ом (30%)	Всего заработн ая плата, руб.	Отчисления в социальные внебюджетн ые фонды	Итого, руб.
Руководитель	150	500	75000	86400	374400
Исполнитель	710	300	213000		

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы и отчисления на социальные нужды для третьего варианта исполнения

Сотрудник	Трудоём- кость, чел.-час	Тариф, руб. за 1 чел./час с районным коэффициен- том (30%)	Всего заработная плата, руб.	Отчисления в социальные внебюджетн ые фонды	Итог, руб.
Руководитель	200	500	100000	93000	403000
Исполнитель	700	300	210000		

6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Оценка сравнительной эффективности исследования. Сравнительную оценку характеристик вариантов исполнения проекта представим в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Параметры/ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исполнение 1	Исполнение 2
Соответствие требованиям пользователей	0,25	4	4	5
Надежность	0,3	3	4	5
Достоверность	0,3	4	4	4
Удобство в применении	0,15	3	4	5
Итого	1			

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности:

$$I_{\text{ТП}} = 0,25 * 4 + 0,3 * 3 + 0,3 * 4 + 0,15 * 3 = 3,55; \quad (9)$$

$$I_{\text{Аналог1}} = 0,25 * 4 + 0,3 * 4 + 0,3 * 4 + 0,15 * 4 = 4; \quad (10)$$

$$I_{\text{Аналог2}} = 0,25 * 5 + 0,3 * 5 + 0,3 * 4 + 0,15 * 5 = 4,7. \quad (11)$$

Рассчитаем интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\phi}^p = \frac{513860}{549110} = 0,936; \quad (12)$$

$$I_{\phi}^{a1} = 0,937. \quad (13)$$

$$I_{\phi}^{a2} = 1. \quad (14)$$

Расчет интегральных показателей эффективности разработки и аналогов:

$$I_{\text{финр}}^p = 3,792; \quad (15)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = 4,268; \quad (16)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = 4,7. \quad (17)$$

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущая разработка	Исполнение 1	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,936	0,937	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,55	4	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	3,792	4,268	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,81

В данном разделе оценены экономические аспекты разработки исследуемого станка по переработке пластиковых бутылок в филамент для 3D-печати:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов разработки: 3D-печатные студии и сервисы, образовательные учреждения, стартапы и малые предприятия. Разработка имеет наименьшую конкуренцию на региональном рынке у средних и мелких компаний.

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: «Bestfilament» и «Reflow». Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам по таким критериям, как минимизация ошибок контроля расхода, производительности, безопасности, надёжности. В будущем планируется повысить данные оценки за счет использования более качественного оборудования станка.

3. При планировании научно-исследовательских работ была определена структура работ в рамках научного исследования, по результату чего можно говорить о том, что большинство работы было проделано самостоятельно, однако потребовалась помощь руководителя на начальном и конечном этапе. Также разработан график проведения научного исследования в виде диаграммы Ганта.

4. В процессе расчёта бюджета НИИ было рассмотрено несколько вариантов исполнения, по которым можно заметить, что важную роль играет сырьё, материалы, и заработные платы, это связано что при использовании более дорогостоящего материала увеличивается и время реализации проекта, так как работать придется с более сложным электронным оборудованием.

5. По результатам оценки сравнительной эффективности исследования можно утверждать, что эффективным является вариант исполнения 2 с позиции ресурсоэффективности. Но для исполнения 1 (текущая разработка) используется более дешевое сырьё и материалы. Поэтому данное техническое решение выгодно с позиции финансовой эффективности. В будущем планируется улучшение характеристик и показателей текущей разработки для увеличения показателей ресурсоэффективности.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО		
8ТМ11	Беликову Михаилу Константиновичу		
Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: автоматизированный станок по переработке пластика в филамент для 3D печати. Рабочее место: офис с персональным компьютером. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, 3D-принтер, мобильный телефон.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; • Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 	Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

<ul style="list-style-type: none"> • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>–ГОСТы, СанПиНы, СНиПы</p>

<p>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</p>	<p>08.02.2023 г.</p>
---	----------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор ООД ШБИП</p>	<p>Федорчук Юрий Митрофанович</p>	<p>д.т.н.</p>		<p>08.02.2023 г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8ТМ11</p>	<p>Беликов Михаил Константинович</p>		<p>08.02.2023 г.</p>

7 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 ходе данной работы производится разработка автоматизированного станка по переработке пластика в филамент для 3D печати. Работа выполнялась в лаборатории 10 корпуса ТПУ. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

7.1 Производственная безопасность

7.1.1 Вредные факторы.

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 25 и 26.

Таблица 25 – Оптимальные нормы микроклимата

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

Таблица 26 - Допустимые нормы микроклимата

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

Общая площадь рабочего помещения составляет 100 м^2 , объем составляет 300 м^3 . По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют $6,5\text{ м}^2$ и 20 м^3 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 недостатком - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам, СанПиН 1.2.3685-21 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м^3 [13]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м^3 , 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°C , а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [14]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [14].

Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается вентиляционным и 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 3D-принтер. Уровень шума варьируется от 35 до 45 дБА. Согласно СанПиН 2.2.4 / 2.1.8.562-96, при выполнении основных работ, уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [15].

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, например любой пористый материал – шамотный кирпич, микропористая резина, поролон и др.);
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.

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 ГОСТ 54 30013-83

напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [16]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [16].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма появляются 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 (ПДУ) 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. заземление экрана вокруг 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). [17]

Недостаточная освещенность

Для обеспечения требуемой освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, создаваемое сочетанием естественного и искусственного освещения. При данном этапе развития осветительной техники целесообразно использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют большую светоотдачу на ватт потребляемой мощности и более естественный спектр.

Минимальный уровень средней освещенности на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должен быть не менее 200 лк.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;
- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;
- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока.

В данном расчётном задании для всех помещений рассчитывается общее равномерное освещение.

Таблица 25 – Параметры помещения.

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	10
Ширина	B	10
Высота помещения	H	3,2
Свес	h _с	0,4
Высота Р.П.	h _{рп}	0,8
Высота от светильника до Р.П.	h	H- h _р - h _с
Коэффициент отражения стен	ρ _{ст}	50 %
Коэффициент отражения потолка	ρ _п	70 %
Коэффициент запаса	K _з	1.3
Коэффициент неравномерности	Z	1.1

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = E_{\text{н}} * S * K_{\text{з}} * Z / N * \eta \quad (18)$$

Где $E_{\text{н}}$ – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05- 95, лк; S – площадь освещаемого помещения, м²; $K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 4.9); Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть

светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A + B) \quad (19)$$

Проведем расчет индекса помещения:

Площадь помещения:

$$S = A * B = 10 * 10 = 100 \text{ м}^2 \quad (20)$$

Индекс:

$$i = S / h(A + B) = 100 / 2 * 20 = 2.12 \quad (21)$$

Согласно этим данным, коэффициент использования светового потока будет равен 55 % или в долях = 0,55.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно (табл. 4.10) [БЖД Практикум 2009-2020].

Согласно указанной методике, выбираем тип источника света.

Наиболее подходящим вариантом является 40 ваттная лампа ЛБ, у которой $\Phi = 2800$ лм. Для выбранного типа лампы подходит светильник ОД-2-40 с размерами: длина = 1230 мм, ширина = 266 мм.

Из уравнения 18 находим количество ламп для помещения:

$$N = E_H * S * K_3 * Z / \Phi * \eta = 200 * 120 * 1,3 * 1,1 / 2800 * 0,56 = 18,5; \quad (22)$$

Принимаем $N = 18$ лампы или 9 светильников.

Размещаем светильники в 3 ряда по 3 светильника в ряду с соблюдением условий: L – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются L_A и L_B),

L – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются L_A и L_B),

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

Сначала определим световой поток расчетный:

$$\Phi = E_H * S * K_3 * Z / * \eta = 200 * 120 * 1,3 * 1,1 / 24 * 0,56 = 2888 \text{ лм} \quad (23)$$

Проведем проверку выполнения условия соответствия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{станд}}) / \Phi_{\text{расч}}) * 100\% \leq + 20\% \quad (24)$$

Подставляя численные значения получаем:

$$- 10\% \leq (2800 - 2888) / 2888 * 100\% \leq + 20\% \quad (25)$$

$$- 10\% \leq -3,14\% \leq + 20\% \quad (26)$$

Результат расчета укладывается в допустимые пределы.

Определим мощность осветительной установки:

$$P = N * P_i = 18 * 40 \text{ Вт} = 720 \text{ Вт}. \quad (27)$$

Теперь определим расстояния между светильниками по длине и ширине помещения:

$$12000 = 2 * L_A + 3 * 1230 + 2/3 * L_A; L_A = (10000 - 3690) * 3/8 = 2366 \text{ мм}; \quad (28)$$

$$L_A / 3 = 788 \text{ мм}; \quad (29)$$

$$10000 = 2 * L_B + 3 * 266 + 2/3 * L_B; L_B = (10000 - 798) * 3/8 = 3450 \text{ мм}; \quad (30)$$

$$L_B / 3 = 1150 \text{ мм}. \quad (31)$$

Рисуем схему размещения светильников на потолке для обеспечения общего равномерного освещения.

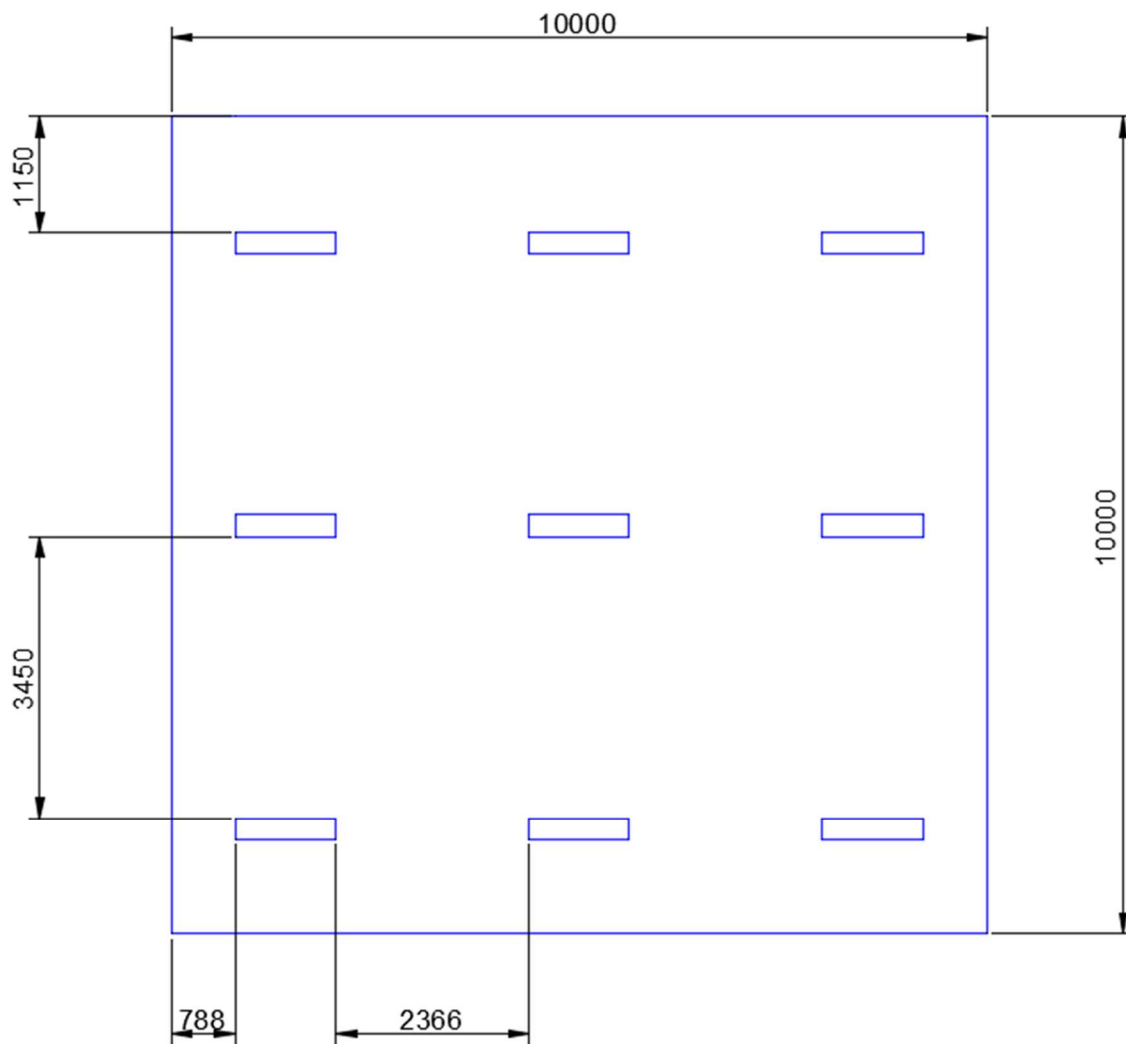


Рисунок 48 – План размещения светильников на потолке.

7.1.2 Опасные факторы

Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [18].

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

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. Защитное заземление, зануление;
2. Малое напряжение;
3. Электрическое разделение сетей;
4. Защитное отключение;
5. Изоляция токоведущих частей;
6. Оградительные устройства.
7. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

1. Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики [19].

Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; приведённая схема эвакуации.

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – 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 21-01-97 (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 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

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

Для 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 12.1.004-91 и ГОСТ 12.2.037-78 специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования.

2. 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);

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

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



Рисунок 49 – План эвакуации

7.2 Экологическая безопасность

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

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.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- кофир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами [20].

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

В 10 корпусе ТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

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

Результатом преддипломной практики работы стал спроектированный станок по переработке пластиковых бутылок в филамент для 3D-печати. В ходе работы были спроектированы и реализованы устройства нарезки бутылок на ленту, редуктор для протяжки пластика, нагреватель.

Для обеспечения функционала автоматизированной системы было рассмотрено несколько вариантов оборудования и компонентов для реализации этой концепции, включая различные виды Arduino, драйверы для шаговых двигателей и устройства управления. А также описан технологический процесс получения конечного материала, и проведена разработка алгоритмов управления процессом протяжки. Рассмотрены различные управляющие устройства для регулирования температуры станка и выбран лучший.

В результате была сформулирована четкая и осуществимая концепцию для станка по переработке пластиковых бутылок в филамент для 3D печати. Так же этот проект способствует борьбе с проблемой пластиковых отходов, преобразуя их в полезное сырье.

Список литературы

1. Технологии 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://losprinters.ru/articles/tehnologii-3d-pechati/> – свободный. (Дата обращения: 15.02.2023).
2. FDM технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/fdm-tekhnologiya-kak-eto-rabotaet/> – свободный. (Дата обращения: 20.02.2023)
3. Способы получения филамента для 3D печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dnatives.com/ru/3d-filament040420174/> - свободный. (Дата обращения: 25.02.2023)
4. Методы переработки пластика: обзор технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://plastinfo.ru/information/articles/plastic_recycling/ - свободный. (Дата обращения: 5.03.2023)
5. Переработка пластика в 3D филамент: основные аспекты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3ders.org/articles/20131205-turn-old-plastic-bottles-into-filament-for-3d-printers-with-filabot.html> - свободный. (Дата обращения: 10.03.2023)
6. Технические характеристики PET пластика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/PET.html> - свободный. (Дата обращения: 15.03.2023)
7. Использование 3D печати в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.additiverussia.com/3d-printing/> - свободный. (Дата обращения: 20.03.2023)
8. Применение Arduino в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://create.arduino.cc/projecthub/projects/tags/industry> - свободный. (Дата обращения: 25.03.2023)
9. Шаговые двигатели и их характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-guide> - свободный. (Дата обращения: 26.03.2023)

10. Сравнение драйверов для шаговых двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.makerguides.com/stepper-motor-drivers/> - свободный. (Дата обращения: 26.03.2023)
11. Обзор электронных штангенциркулей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garagejournal.com/the-digital-caliper-an-autopsy/> - свободный. (Дата обращения: 26.03.2023)
12. Моделирование шестерней по параметрам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/3dlab/quick-modeling-gear-in-the-parameters> – свободный. (Дата обращения: 10.04.2023)
13. СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: дата введения – 01.03.2021 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)
14. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»: дата введения – 1.10.1996 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)
15. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»: дата введения – 31.10.1996 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)
16. ГОСТ 54 30013-83 «Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности»: дата введения – 04.04.1983 г. Режим доступа: <http://www.1bm.ru/techdocs/kgs/ost/914> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)
17. ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ «Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты»: дата введения – 01.07.1986 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005824> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

18. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»: дата введения – 01.01.2019 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

19. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»: дата введения – 01.07.1982 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

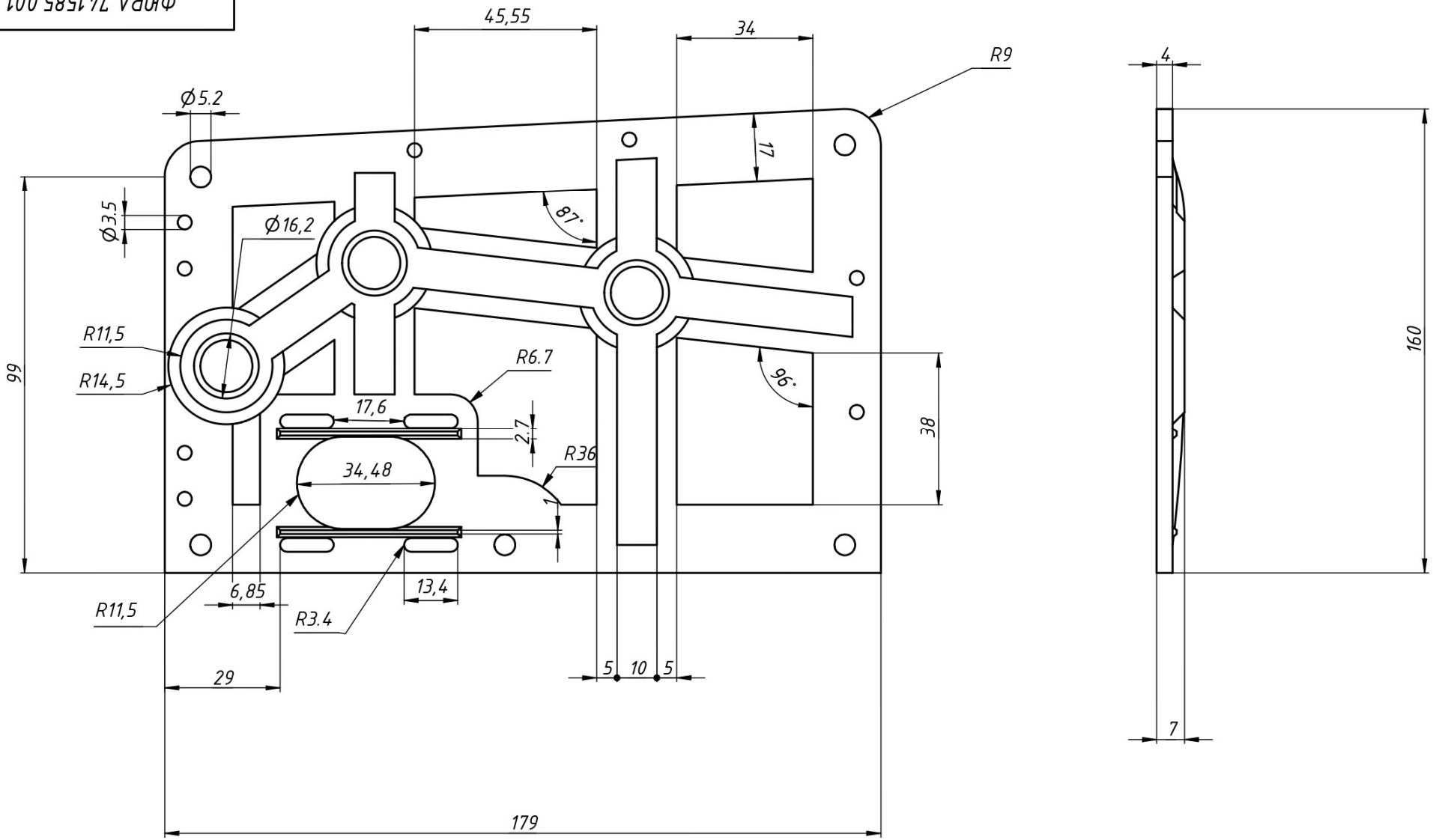
20. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»: дата введения 01.07.1992. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

21. ГОСТ 12.2.037-78 «Техника пожарная. Требования безопасности»: дата введения – 01.01.1980 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012062> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

22. ГОСТ 30775-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов»: дата введения – 01.07.2002. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200028877> – свободный. (Дата обращения: 5.05.2023)

Приложение А
(Обязательное)
3D-модели и чертежи деталей

ФЮРА.741585.001



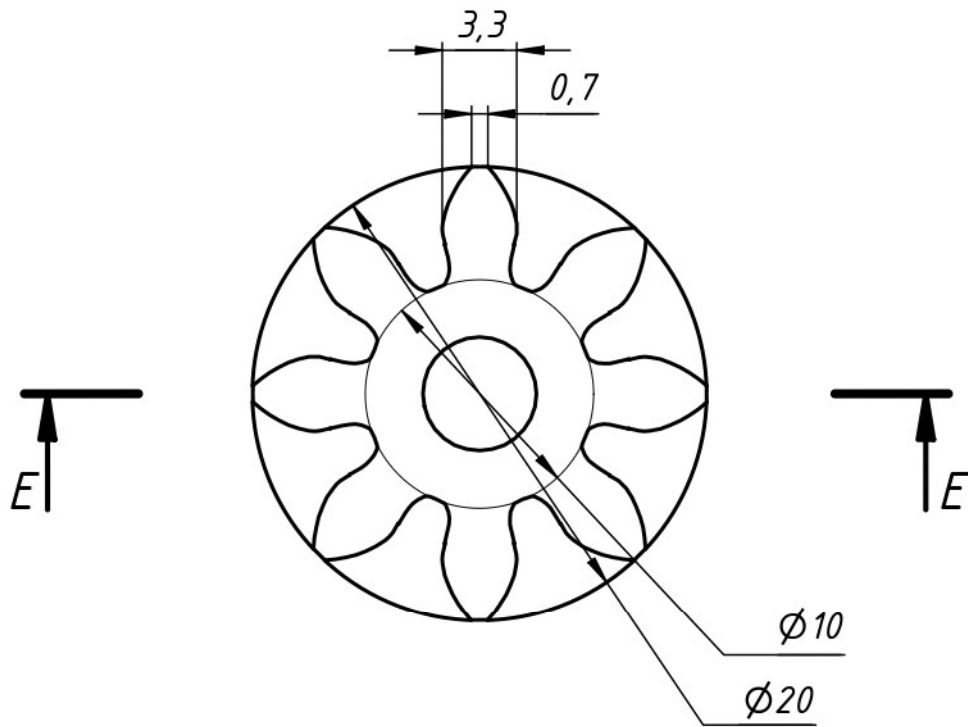
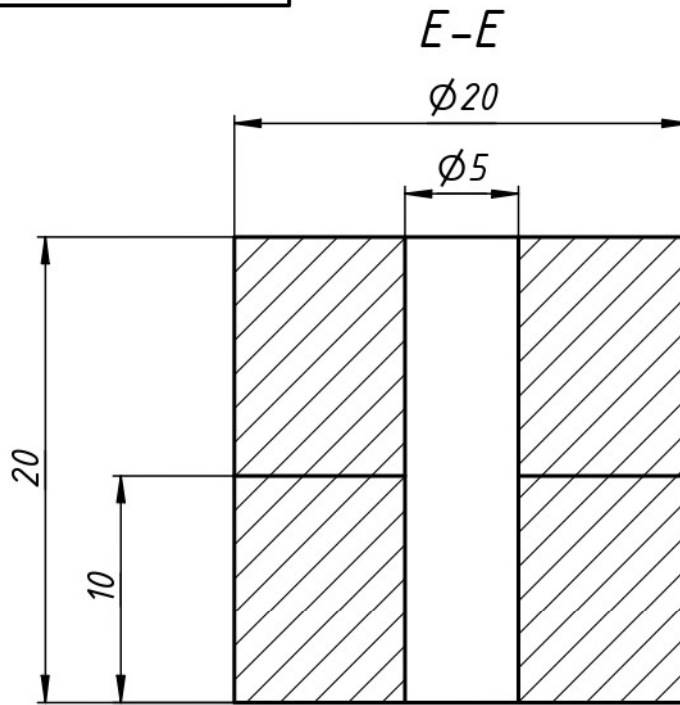
Перв. примен.
Справ. №
A
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

					ФЮРА.741585.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Стенка редуктора	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Беликов М.К.					у	0,1	1:1
Пров.	Громаков Е.И.							
Т. контр.						Лист	Листов	1
Нач. отд.						ТПУ ИШИТР Группа 8ТМ11		
Н. контр.								
Утв.								

ФЮРА.721146.002

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.721146.002

Шестеренка шагового двигателя

Лит.	Масса	Масштаб
У	0,0	3:1
Лист	Листов	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Беликов М.К.		
Пров.		Громаков Е.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

ТПУ ИШИТР
 Группа 8ТМ11

ФЮРА.721146.003

Перв. примен.

Справ. №

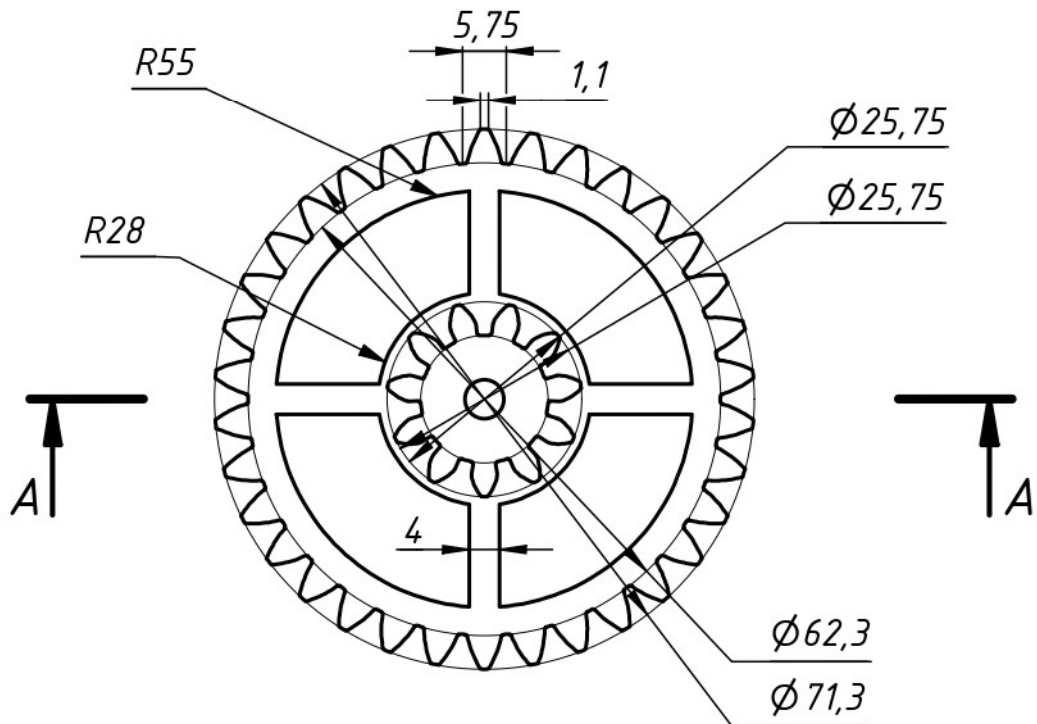
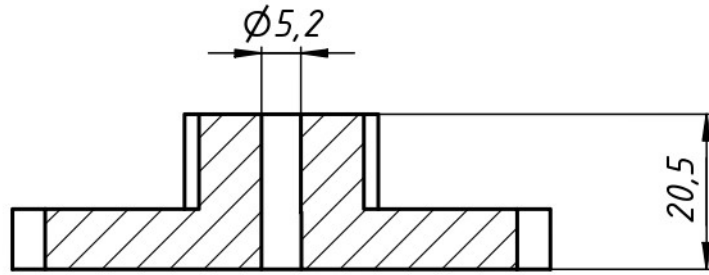
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



ФЮРА.721146.003

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Беликов М.К.		
Пров.		Громаков Е.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Шестеренка редуктора №1

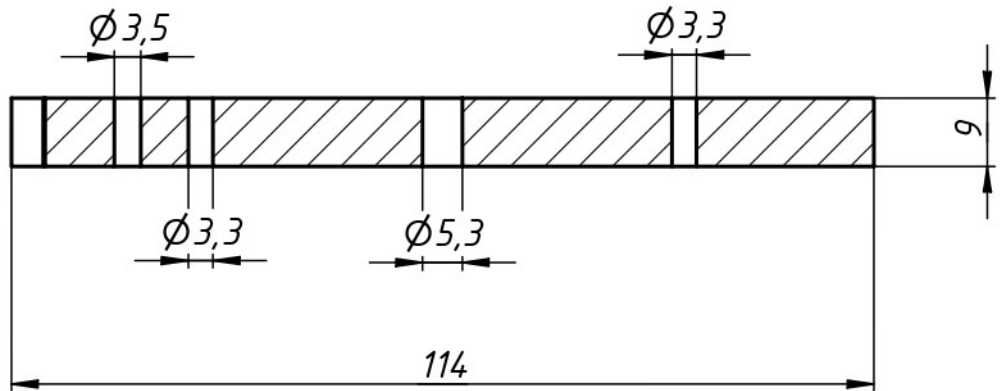
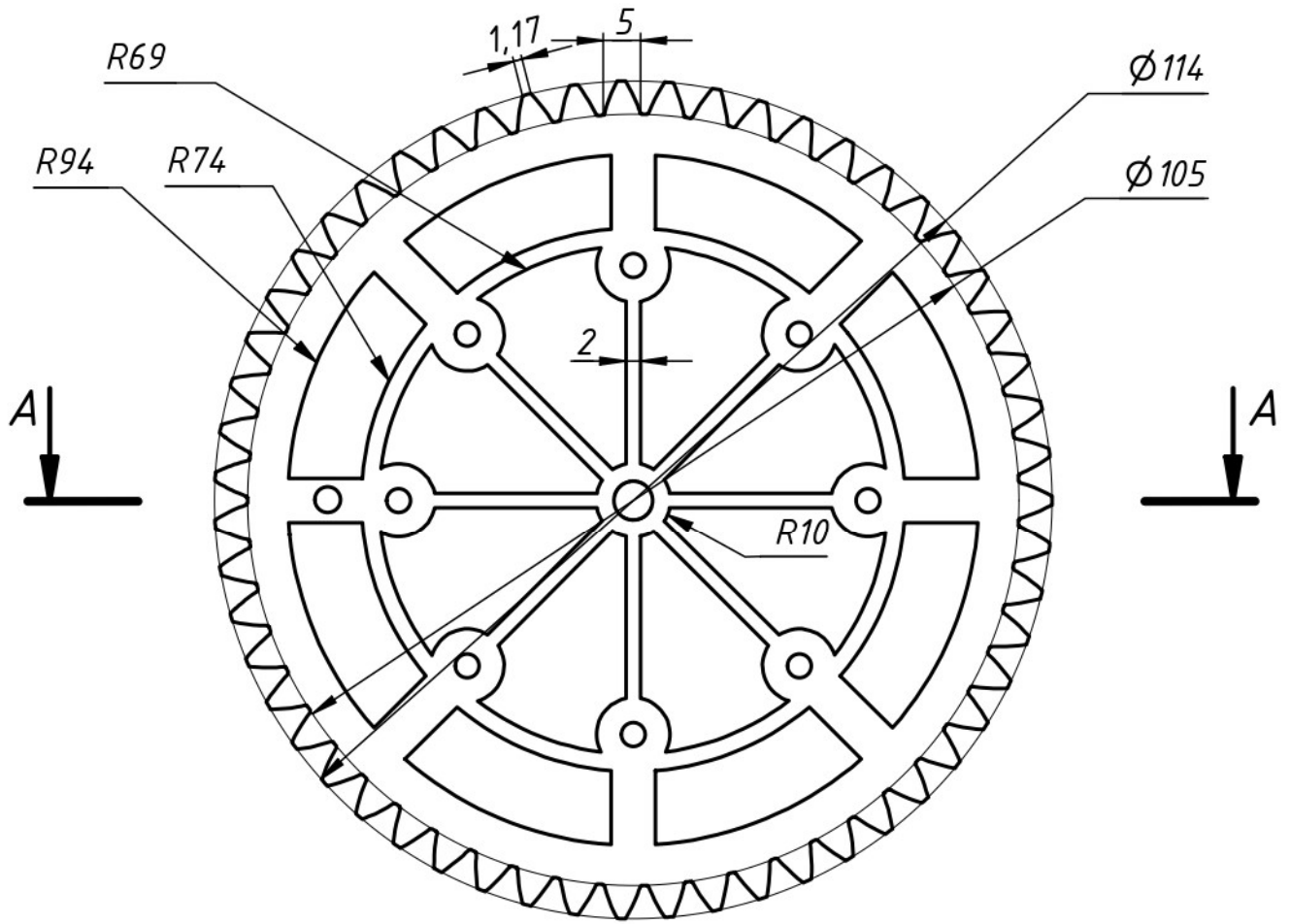
Лит.	Масса	Масштаб
у	0,0	1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ИШИТР
Группа 8ТМ11

ФЮРА.721146.004

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.721146.004

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Беликов М.К.		
Пров.		Громаков Е.И.		
Т. контр.				
Нач. отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Шестеренка редуктора №2

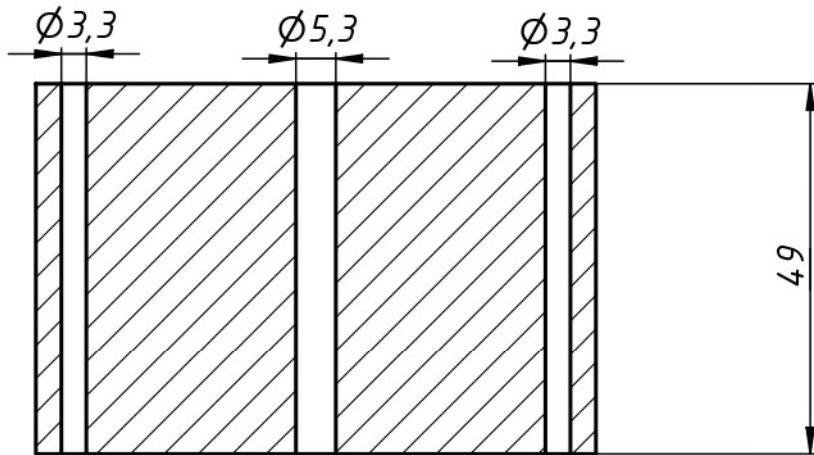
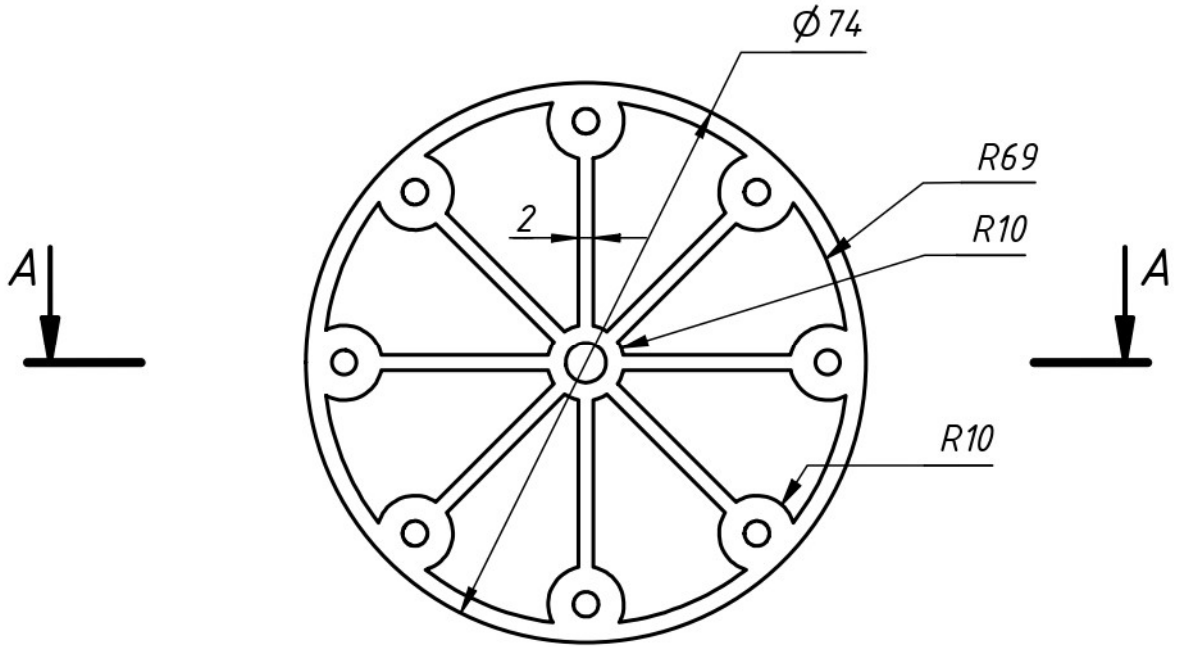
Лист	Масса	Масштаб
у	0,1	1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ИШИТР
Группа 8ТМ11

ФЮРА.741585.005

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.741585.005

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Беликов М.К.		
Пров.		Громаков Е.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Основа катушки

Лит.	Масса	Масштаб
У	0,2	1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ИШИТР
Группа 8ТМ11

ФЮРА.74.1585.006

Перв. примен.

Справ. №

A

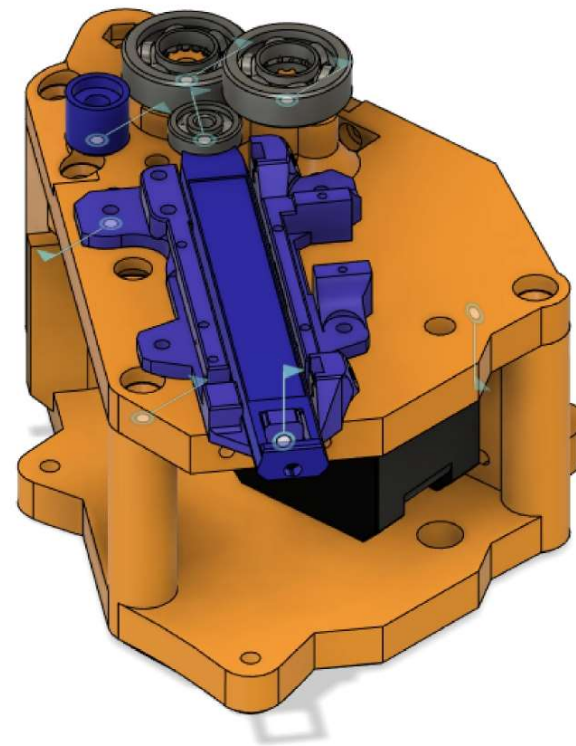
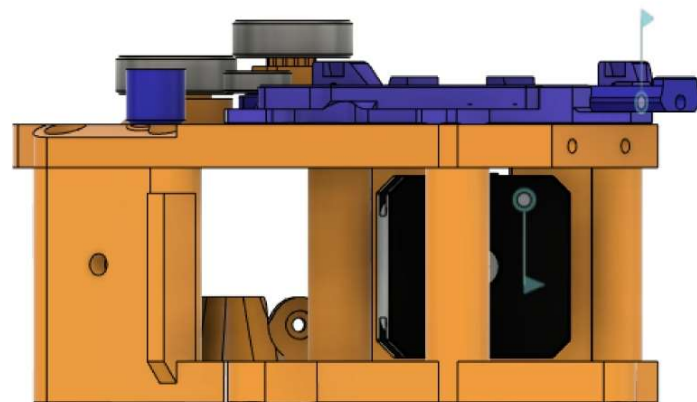
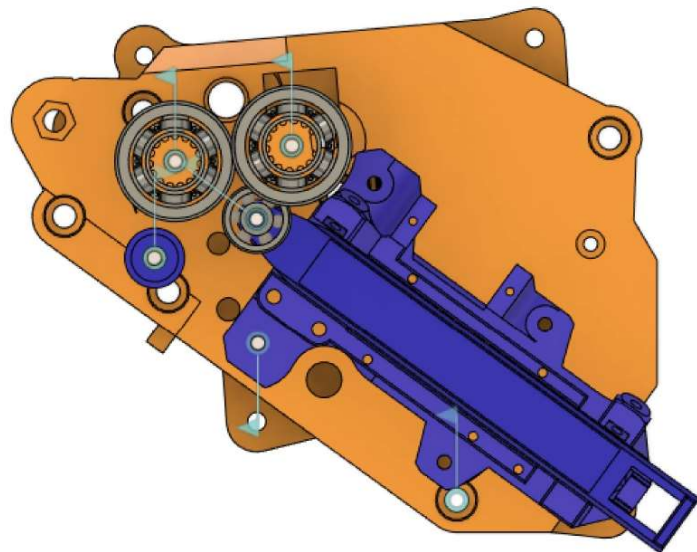
Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



					ФЮРА.74.1585.006		
					Устройство нарезки дутьлок		
					Лит.	Масса	Масштаб
					У		
					Лист	Листов	1
					ТПУ ИШИТР Группа ВТМ11		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЗД-модель		
Разраб.		Беликов М.К.					
Пров.		Громаков Е.И.					
Т. контр.							
Нач. отд.							
Н. контр.							
Утв.							

ФЮРА.74.1585.007

Перв. примен.

Справ. №

A

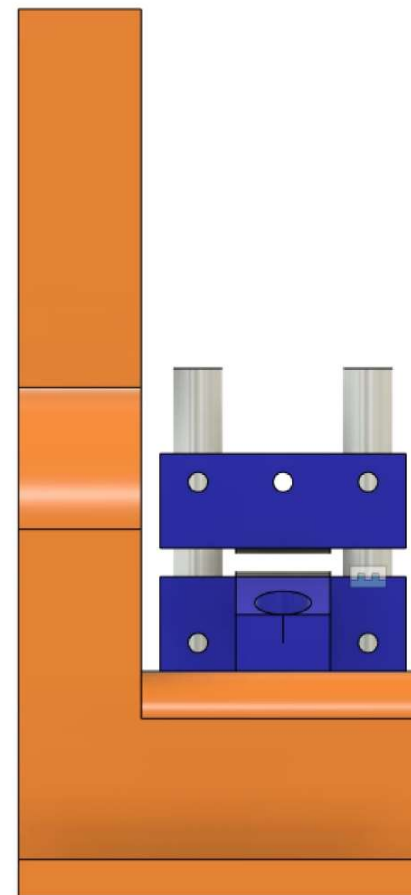
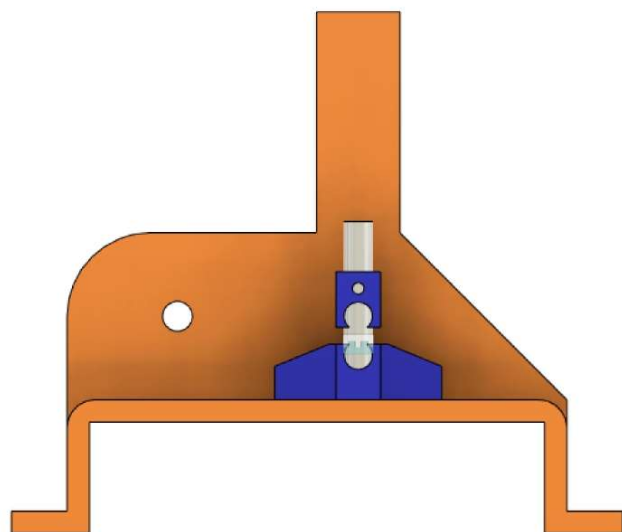
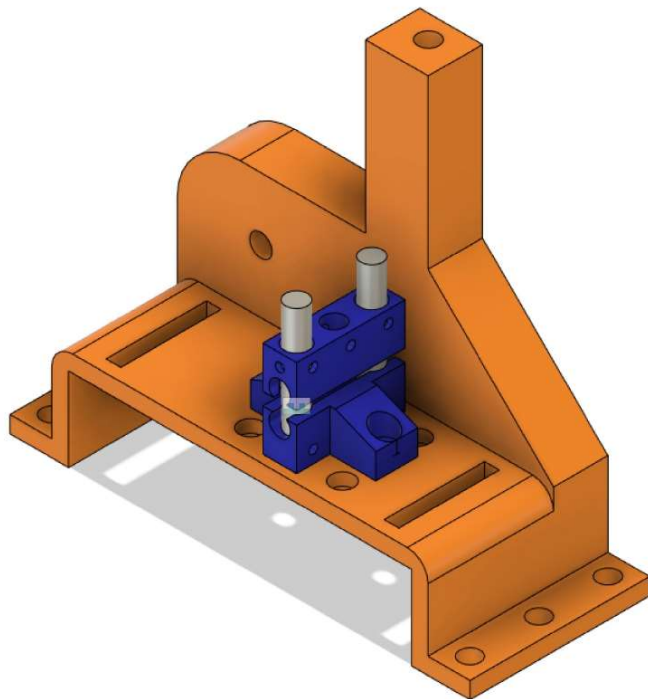
Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

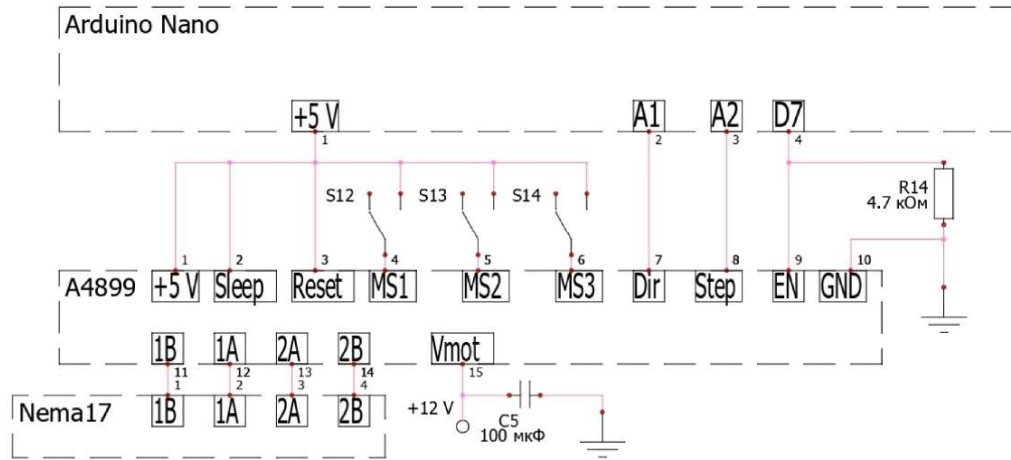
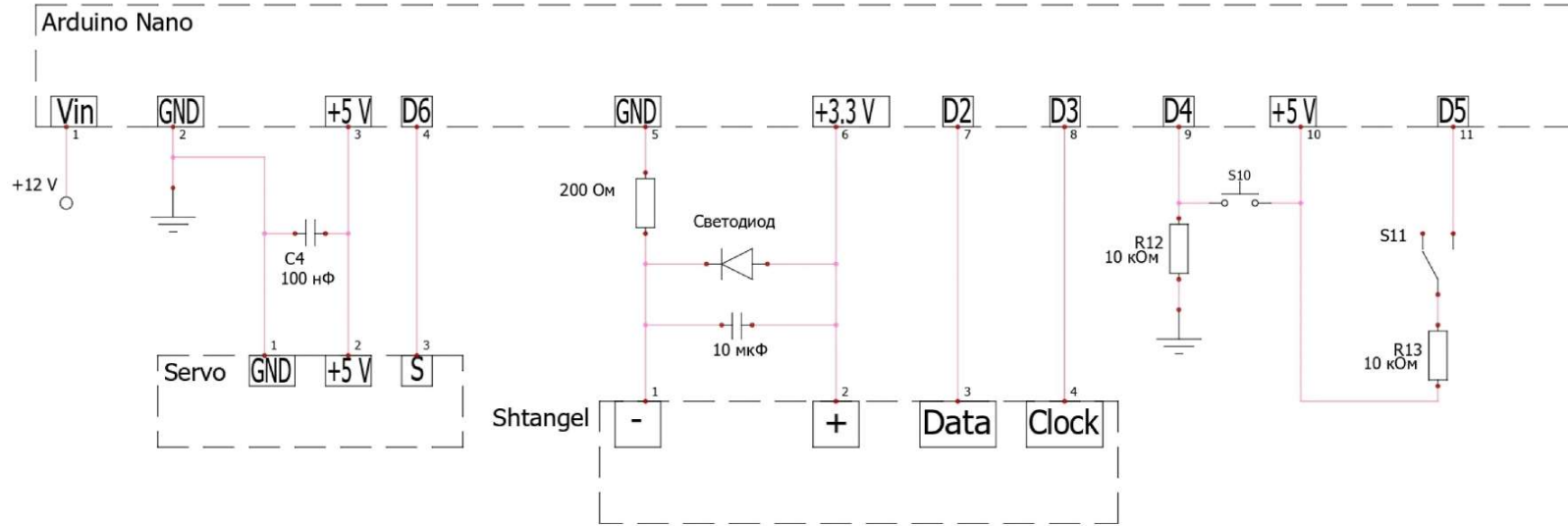


					ФЮРА.74.1585.007			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство для измерения диаметра филамента	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Беликов М.К.				У		
Пров.		Громаков Е.И.						
Т. контр.						Лист	Листов	1
Нач. отд.						ТПУ ИШИТР Группа ВТМ11		
Н. контр.								
Утв.								

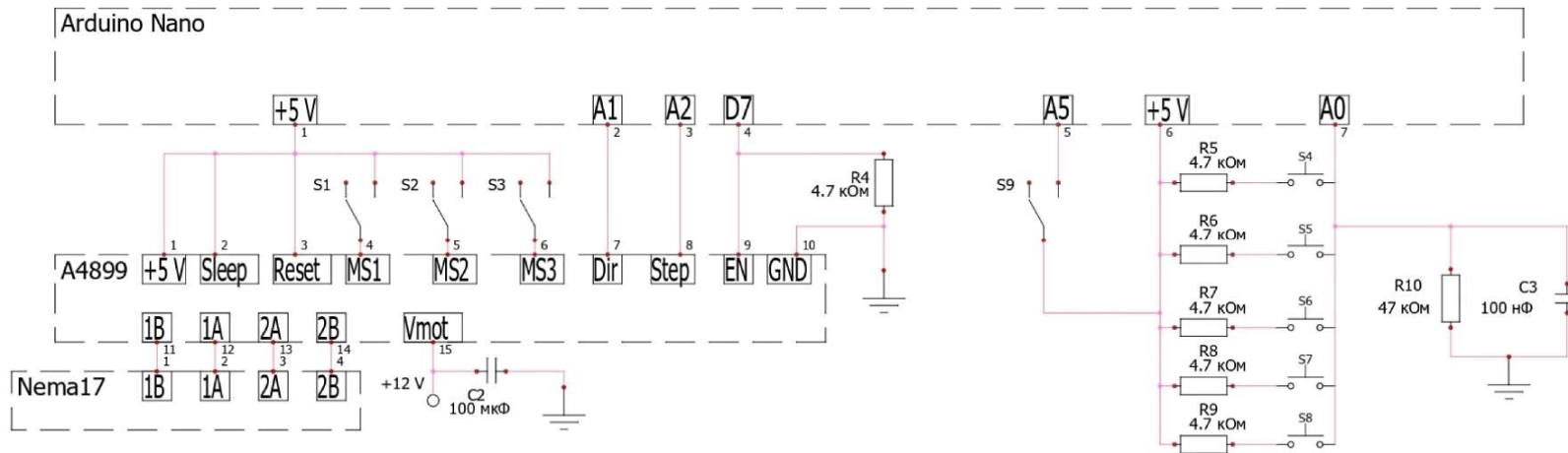
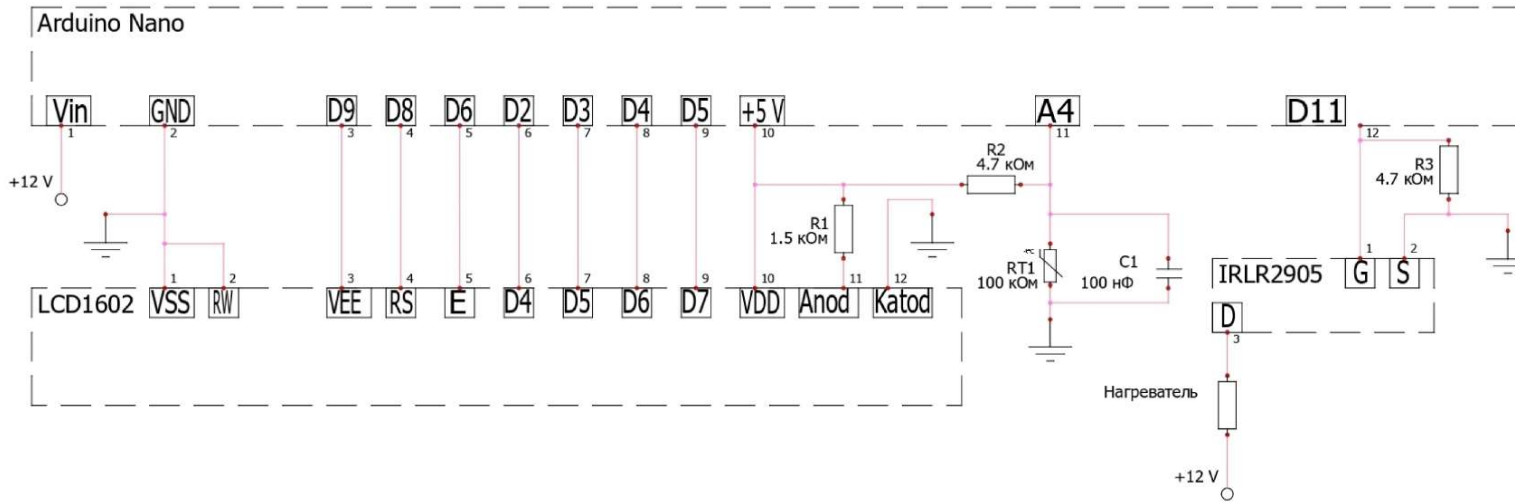
Приложение Б

(Обязательное)

Электрические схемы подключения



					ФЮРА.420609.008		
					Устройство нарезки дутьюлок		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Беликов М.К.			У		
Пров.		Громаков Е.И.					
Т. контр.					Лист	Листов	1
Нач. отд.					ТПУ ИШИТР Группа 8ТМ11		
Н. контр.							
Утв.							



					ФЮРА.420609.009		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство нагрева и протяжки бутылки		
Разраб.	Беликов М.К.						
Пров.	Громаков Е.И.				Лит.	Масса	Масштаб
Т. контр.					У		
Нач. отд.					Лист	Листов	1
Н. контр.					ТПУ ИШИТР Группа 8ТМ11		
Утв.					1 Копировал Формат А3		

Приложение В (Справочное)

Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ11	Беликов М.К.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Куимова М.В.	к.п.н.		

Theoretical Overview

3D printing is the layer-by-layer construction of a physical object from a computer 3D model made from plastic, paper, plaster, metal, photopolymer and other materials.

There are several main 3D printing technologies, each with its characteristics and applications:

Fused Deposition Modeling (FDM) is the most common 3D printing method, which uses a thermoplastic filament heated and extruded through a printing head. It is a simple and relatively inexpensive method suitable for prototyping, educational projects and home 3D printing.

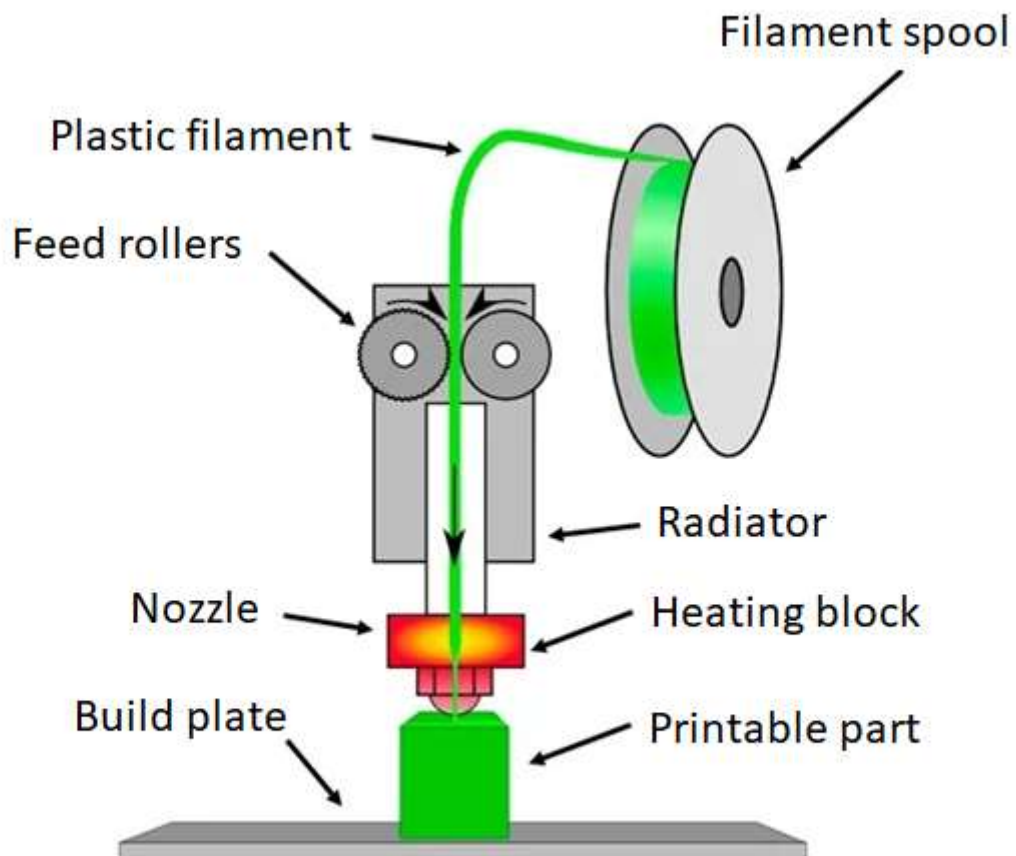


Figure 1 – Principle of fused deposition modeling method.

Stereolithography (SLA) is a method that uses a liquid photopolymer which hardens under the influence of ultraviolet light. SLA provides high precision and surface quality. Thus, it is often used in jewelry and dental labs.

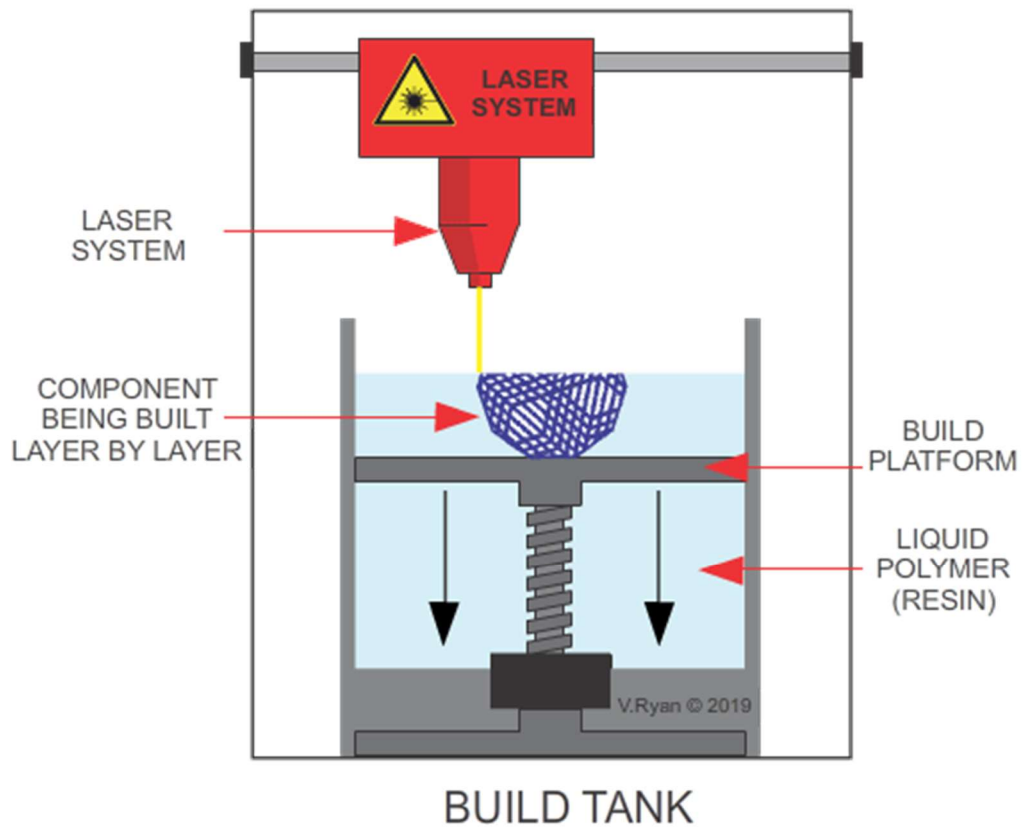
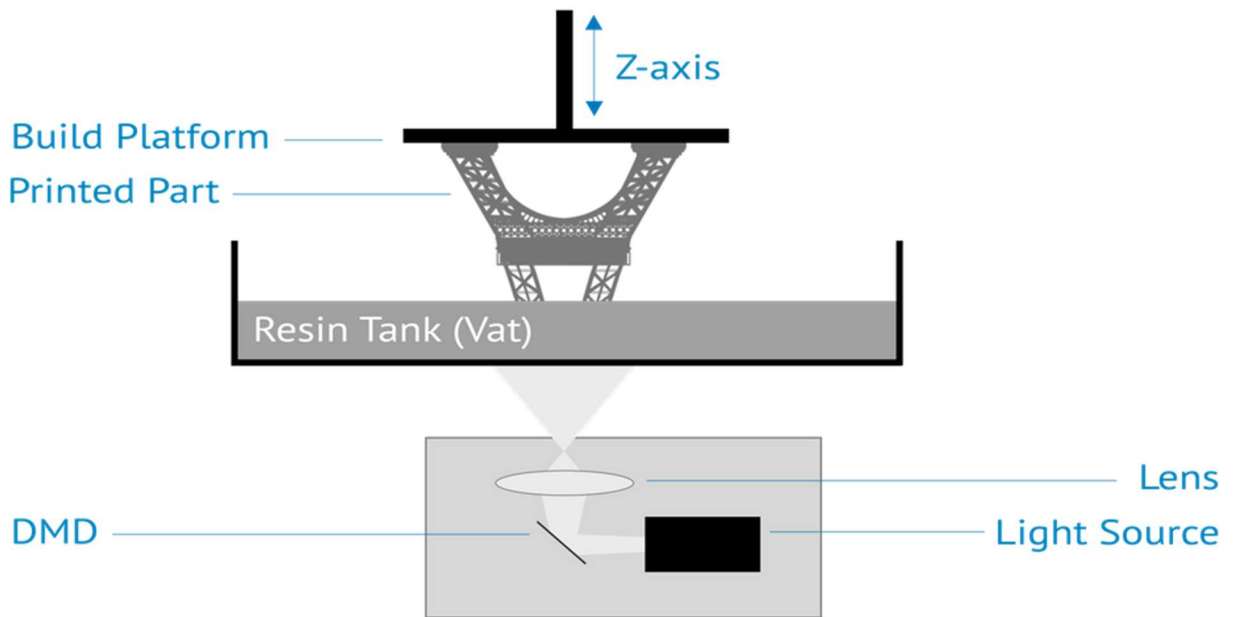


Figure 2 – Principle of laser stereolithography method.

Digital Light Processing (DLP) is similar to SLA. DLP uses ultraviolet light to harden the photopolymer, but instead of a laser, it uses a projector. This allows an entire layer to harden in one pass, making DLP faster than SLA.



WEVolver

Figure 3 – Principle of digital light processing method.

Selective Laser Sintering (SLS) method. This method is used when a thin layer of powder is spread on the platform, then a laser sinters the powder in the areas where the object should be. It enables to create objects with complex geometry without the need for support structures.

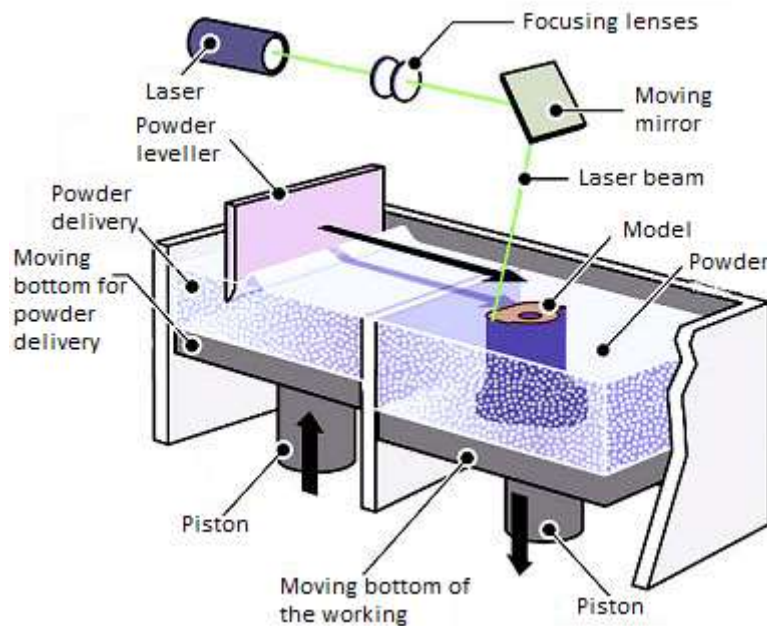


Figure 4 – Principle of selective laser sintering method.

All these technologies have their advantages and disadvantages. The choice of technology depends on the required characteristics of the product, such as material, strength, detail, color and process cost. In my case, I consider the FDM technology.

FDM is the most common 3D printing technology in the world. With its help, products are grown both by cheap home printers and industrial high-precision 3D printing systems. The principle of construction using FDM technology involves layer-by-layer growing of a product from a pre-melted plastic thread. There are main stages of filament production for this technology. They are:

1. **Raw material preparation.** It can include sorting plastic by type and color, cleaning from impurities and grinding to the required shape and size. If recycled plastic is used, it may also be cleaned and sterilized.
2. **Melting.** The plastic particles are fed into the extruder where they are heated to a temperature at which the plastic begins to melt.
3. **Extrusion.** After melting, the plastic is extruded through a small nozzle of the extruder, creating a long thread i.e. raw filament.
4. **Cooling.** Immediately after extrusion, the filament passes through a cooling bath or cooling system to harden and maintain its shape.
5. **Winding and packaging.** The filament is wound onto a spool, checked for quality and packaged for sale or storage.

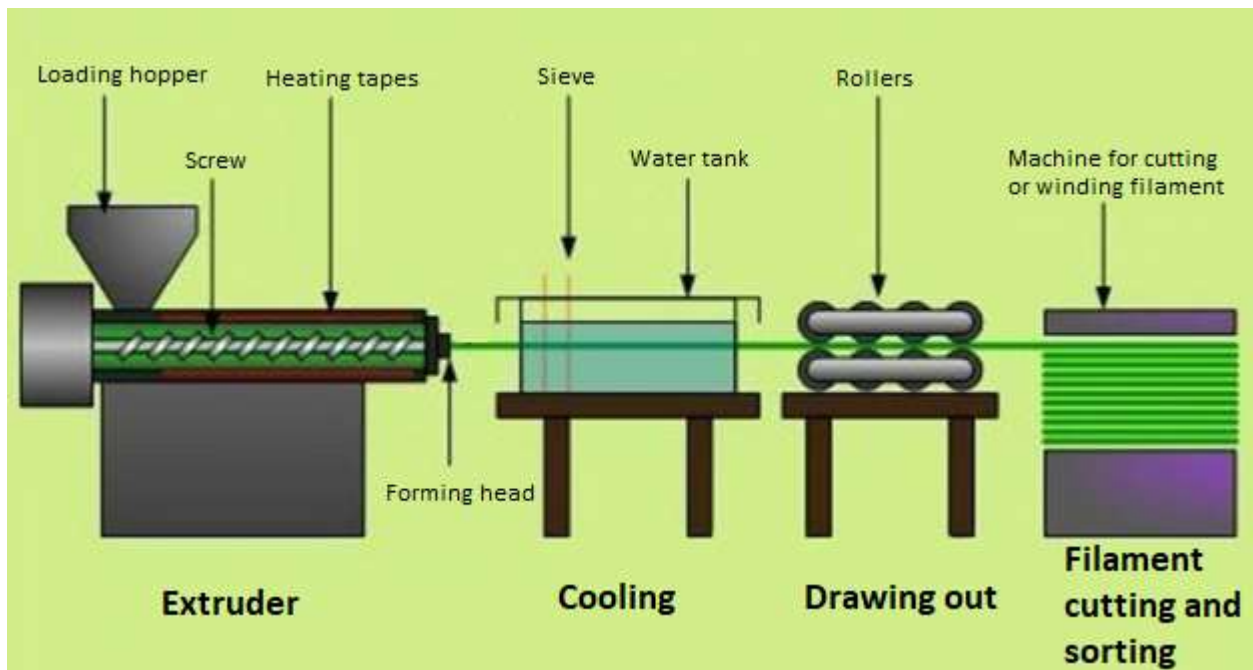


Figure 5 – Technology of filament production.

There are various technologies and methods for each of these stages. The choice of a specific method may depend on many factors, including the type of plastic, available equipment, quality requirements and target filament characteristics. For example, some manufacturers use twin-screw extruders which can provide more even mixing and melting of plastic, while others may use single-screw extruders to produce simpler types of filament. In addition, some manufacturers may use special technologies such as reactive extrusion or mixing with additives to create filaments with special properties. There are several methods of recycling plastic for subsequent filament production. They are:

1) Mechanical recycling. This method includes grinding of plastic waste, cleaning, sorting by plastic type and sieving into particles of a certain size.

2) Chemical recycling. This method assumes that plastic waste is dissolved in a suitable solvent and then undergoes a precipitation and cleaning process.

3) Pyrolysis. It is a thermochemical recycling method when plastic waste is decomposed at high temperatures in the absence of oxygen. This results in the formation of gaseous and solid products which later can be converted into filament for 3D printing. These methods can be used in various combinations depending on the type of plastic.

Mechanical plastic recycling is the most suitable option for this job. Below we consider the main steps of this method:

1. Collection and sorting. Plastic waste is collected and sorted by the type of plastic (PET, HDPE, PP, ABS and others.). It is important as different types of plastic have different properties and require different recycling conditions.
2. Cleaning. Plastic is cleaned from dirt, dust, food residues and other impurities that can damage the equipment or degrade the quality of the final product.
3. Grinding. Plastic items are ground into small particles or flakes. It facilitates their processing at subsequent stages and helps to improve the quality of the final product.
4. Secondary sorting and cleaning. After grinding, plastic can be further sorted and cleaned using special separators.
5. Extrusion and granulation. Ground plastic is heated and extruded into the form of granules or pellets, which can be used as secondary raw materials. During this process, various additives or modifiers can be added to improve the properties of the material. It can later be used for filament production.

It is important to note that the quality of the recycled plastic and its suitability for filament production can depend on many factors including the type and condition of the original plastic, efficiency of the cleaning and grinding process, as well as specific conditions of extrusion and granulation. These stages of recycling require more complex implementation. In this work we will try to skip some stages to save time and resources. Since this paper considers the recycling of plastic bottles, and most of them are made of PET plastic, we present its properties and characteristics.

Polyethylene terephthalate (PET) is a thermoplastic, most common representative of the polyester class, known under various brand names. It is a product of polycondensation of ethylene glycol with terephthalic acid. It is a solid, colorless, transparent substance in an amorphous state and white, opaque in a crystalline state. It becomes transparent when heated to the glass transition temperature and remains in this state when cooled quickly passing quickly through the so-called “crystallization zone”. An important parameter of PET is intrinsic viscosity, determined by the length

of the polymer molecule. As the intrinsic viscosity increases, the rate of crystallization decreases. It is durable, wear-resistant and a good dielectric.

Significant disadvantages of PET packaging are its relatively low barrier properties. It allows ultraviolet rays and oxygen into the bottle and carbon dioxide out, which worsens the quality and reduces the storage life of the product. This is due to the fact that high molecular weight of polyethylene terephthalate is not a barrier to gases that have small molecule sizes relative to polymer chains. The material has high mechanical strength, low friction coefficient and hygroscopicity. In addition, it is also resistant to multiple deformations during stretching or bending.

Another advantage of this polymer is its recyclability. It can be cleaned and recycled into new products, including bottles, textiles and, in some cases, filament for 3D printing. However, despite the fact that PET is recyclable, it cannot be used in some scenarios, for example, for packaging hot products or for long-term storage of certain types of food products. This material is used when it is necessary to make durable, wear-resistant products. PET 3D plastic is crystal clear and highly wear-resistant. It is impact resistant and thermally stable, withstanding temperatures in the range from -40 °C to 75 °C. In addition, PET 3D plastic is resistant to abrasion and is known as a good dielectric. It is resistant to the effects of oils, alcohols, acids, alkalis, and paraffins. It is well suited for post-processing. PET plastic products can be sanded, primed, painted and lacquered without much effort.

Overall, PET is a multifunctional and useful material, but its use and disposal require a responsible approach to minimize its impact on the environment. To get the thread, you need to prepare a bottle. These are the steps to prepare plastic bottles for recycling:

1. First, we need PET type bottles.
2. The next step is to remove the labels and clean the bottle from glue, as it will directly affect the quality of 3D printing.
3. After that, it's necessary to cut the bottles into one long strip.
4. The final stage will be loading the obtained plastic strip into a machine, from which we get the filament for 3D printing.

Description of the technological process

In theoretical review, mechanical method of plastic recycling was considered and chosen. But since we need to recycle PET bottles, below we present the main stages of processing, taking into account this task:

1. Collection and sorting. At the beginning of the process, PET plastic bottles are collected and sorted. All non-PET materials are removed.

2. Cleaning. The collected bottles are then thoroughly cleaned of dirt, dust, and residual content. This may include washing the bottles with water and detergents, as well as drying the plastic.

3. Cutting into a tape. The cleaned bottles are then cut into long tapes of a certain width. The width of the tape may depend on the thickness of the bottle wall and the desired diameter of the filament.

4. Heating and stretching. The PET tape is then passed through a modified heating block. In this block, the tape is heated to the melting point of PET and passes through a conical transition to a cylindrical hole of a certain diameter. During the stretching process, the tape is transformed into a thin thread of the required diameter.

5. Cooling. The filament is then quickly cooled to maintain its shape and prevent deformation. This can be achieved through air cooling or, at a low melting temperature, plastic can cool naturally.

6. Winding onto a spool. At the final stage, the filament is pulled from the heating block and wound onto a spool with the help of a gearbox and a motor. The motor speed is controlled to ensure even tension and prevent twisting or deformation of the filament.

The process requires precise temperature and speed control to ensure uniformity and accuracy of the filament diameter. Moreover, additional equipment or steps may be required for quality control, such as measuring the filament diameter and checking for defects.