

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система управления параметром мобильной экструзионной установки

УДК 681.51:678.057.3-026.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е41	Дорофеева Мария Геннадьевна		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Тутов Иван Андреевич	—		
Руководитель ООП	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9),

	безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Мамонова Т.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8E41	Дорофеевой Марии Геннадьевне

Тема работы:

«Система управления параметром мобильной экструзионной установки»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2126/с от 27.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом проектирования является датчик в обратной связи системы управления для контроля и поддержания заданного диаметра полимерной нити (с точностью ± 0.05 мм) и стабилизации ее положения через непрерывное управление скоростью привода намотчика экструзионной установки.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор 2. Разработка электрической схемы системы управления 3. Разработка структурной схемы 4. Разработка алгоритма управления датчиком 5. Улучшение параметров системы
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Электрическая схема системы управления 2. Перечень элементов 3. Блок-схема алгоритмов программ
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Петухов Олег Николаевич, доцент ОСГН, к.э.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Авдеева Ирина Ивановна, ассистент ОКД</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.03.2018</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший преподаватель ОАР</p>	<p>Тутов Иван Андреевич</p>	<p>-</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8Е41</p>	<p>Дорофеева Мария Геннадьевна</p>		

Реферат

Пояснительная записка содержит 86 страниц машинописного текста, 25 таблиц, 27 рисунков, 1 список использованных источников из 19 наименований, 4 приложения.

Цель работы: контроль и поддержание заданного диаметра пластиковой нити через непрерывное управление скоростью привода намотчика, датчиком обратной связи является фотодиодная линейка.

В данном проекте была разработана система управления скоростью привода намотчика экструзионной установки для устранения провисания пластиковой нити через измерение ее диаметра, была получена математическая модель двух контуров системы, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB&SIMULINK для анализа САР.

САР реализована на базе микроконтроллера STM32F3DISCOVERY с помощью среды разработки Coocox CoIDE и графического редактора кода STM32CubeMX.

Ключевые слова: система автоматического управления, полимерная нить, микроконтроллер, синтез системы, экструзия, контроль провисания и диаметра, оптический датчик.

Определения, обозначения, сокращения

В работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

3D-печать – процесс воссоздания реального объекта по образцу 3D модели.

3D-принтер – это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели

Трёхмерная графика – это оптическое зрительное воссоздание графических 3D объектов, в виде визуально-математических форм, воспроизводимых на мониторе компьютера с целью обеспечения реалистического отображения обрабатываемых компонентов и дальнейших манипуляций с ними.

Экструзия (технологический процесс) – метод и процесс получения изделий из полимерных материалов (резиновых смесей, пластмасс, крахмалсодержащих и белоксодержащих смесей) путём продавливания расплава материала через формующее отверстие в экструдере.

Слайсер (slicer) – это программа, которая разбивает трехмерную модель на слои, тем самым подготавливая её к печати на 3D-принтере

Прошивка – это написанный программный код, основной задачей которого является считывать и воспроизводить G-code.

Оглавление

1	Литературный обзор	13
1.1	Принцип работы технологии трехмерной печати	13
1.2	Обзор подходов к контролю диаметра нити	14
1.3	Обзор существующих решений	16
1.3.1	FilaWinder Thickness Gauge Mount	16
1.3.2	Thomas Sanladerer's filament diameter sensor	16
1.3.3	Автоматизированная система управления экструзионной установкой	17
1.4	Состав и назначение экструзионной установки.....	18
1.5	Описание технологического процесса экструзии пластиковой нити.....	19
2	Техническое задание.....	22
2.1	Основные цели и задачи системы управления.....	22
2.2	Назначение системы управления.....	22
2.3	Область применения.....	22
2.4	Параметры аппаратной части.....	22
2.5	Программная часть.....	23
3	Основная часть	23
3.1	Описание системы управления, функциональная схема.....	23
3.2	Структурная схема системы управления	24
3.3	Описание компонентов устройства	25
3.3.1	Выбор датчика	26
3.3.2	Выбор отладочной платы	29
3.3.3	Выбор источника освещения нити.....	30
3.4	Алгоритм управления двигателем.....	31

3.5	Электрическая схема.....	34
3.6	Программа тестирования работы фотодиодной линейки	35
3.7	Повышение точности проектируемой системы	37
3.7.1	Определение передаточной функции для синтеза ПИД-регулятора..	37
3.7.2	Выбор и настройка регулятора	43
3.7.3	Фильтр простого скользящего среднего	47
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	50
4.1.2	Технология QuaD	50
4.1.3	SWOT-анализ.....	52
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	55
4.2.1	Определение трудоемкости выполнения работ	57
4.2.2	Разработка графика проведения научного исследования.....	58
4.2.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	61
4.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	66
5	Социальная ответственность	70
5.1	Производственная безопасность	70
5.2	Экологическая безопасность.....	75
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
	Заключение	81

Список использованной литературы.....	82
Приложение А	84
Приложение Б.....	85
Приложение В.....	86
Приложение Г	87

Введение

Полимерные материалы в настоящее время очень перспективны для использования во многих сферах деятельности человека. Они находят своё применение в производстве предметов быта и электронных компонентов, в медицине и т.д.

3D-печать является одним из методов производства изделий из полимеров, а наиболее распространенным методом является FFF (Fused Filament Fabrication). Это метод послойного наплавления, где используется пластиковая нить, от свойств которой зависит качество конечного продукта. Если расходный материал не качественен, то ухудшается качество модели и возникают сбои в работе 3D принтера. Поэтому появляется необходимость в мониторинге и контроле однородности диаметра нити либо при её производстве, либо в качестве дополнения к 3D принтеру. Полимерные нити чаще всего производятся методом экструзии.

Ключевая идея, стоящая за мониторингом процесса экструзии заключается в обнаружении проблем, присущих процессу, и создании решений этих проблем либо в надлежащей разработке аппаратной части экструдеров, либо в управлении процессом экструзии. В случае, когда нет возможности менять оборудование или материал, перед производителями встает задача подбора оптимальных условий для процесса экструзии (регулирование скорости экструзии, температуры, давления). В таких условиях наличие устройства для контроля безусловно необходимо.

Для точного управления необходимо подобрать надлежащий способ наблюдения, т.е. датчик, способный определять неоднородность материала на выходе экструдера с необходимой точностью. Помимо этого будет спроектирована схема устройства, алгоритм и программа контроля процесса экструзии. Проектируемая система может применяться в экструзионных установках, позволяющих производить пластиковую нить для 3D-принтеров с высокой точностью диаметра с допуском ± 0.05 мм.

1 Литературный обзор

1.1 Принцип работы технологии трехмерной печати

Печать модели на 3D-принтере начинается с преобразования из формата твердотельной модели (.stl) в программу для принтера, по которой он будет послойно печатать. Чаще всего используется G-code - язык программирования, устройств с числовым программным управлением. Программное обеспечение, которое делает такое преобразование, называется слайсером (англ. slicer).

Когда слайсер компилирует G-код для 3D-печати, он вычисляет объем пластика, необходимый для нанесения шарика из пластика определенной ширины и определенной высоты на миллиметр движения следующими способами:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot l, \quad (1)$$

где V – объем пластика, R – радиус пластикового прутка, l – длина разогретого прутка.

$$V = h \cdot a \cdot b, \quad (2)$$

где V – объем пластика, h – высота слоя, a – ширина слоя, b – длина шага.

Чтобы совпадали эти объемы 3D принтер каждый раз высчитывает количество пластика, которое выталкивается из сопла, при вращении шестеренки экструдера и проталкивании определенной длины пластикового прутка в горячее сопло, так как все остальные параметры ему известны.

Однако в приведенном выше уравнении (1) есть одна из переменных, которая постоянно изменяется – радиус пластикового прутка, из-за изменения которого и происходят дефекты при печати [1]. Если у нити нерегулярный диаметр, объем экструдированного пластика будет изменяться, и программное обеспечение не сможет регулировать длину экструзии для компенсации этих колебаний. Вместо этого принтер будет продолжать печатать, с расчетом, что выйдет «теоретически» определенное количество пластика. Это то, что называется в литературе «нестабильной экструзией».

1.2 Обзор подходов к контролю диаметра нити

Все методы измерения диаметра можно разделить на две подгруппы: контактные и бесконтактные методы.

Таблица 1 – Методы измерения диаметра

Виды контактных измерений:	<ul style="list-style-type: none">• Измерение с помощью калибров• Измерение с помощью механических микрометров• Измерение с помощью электронных микрометров
Виды бесконтактных измерений:	<ul style="list-style-type: none">• Измерение с помощью лазерных датчиков• Пневматический метод• Измерение с помощью оптических датчиков• Измерение с помощью емкостных и индуктивных датчиков

Экструзия полимерных нитей предполагает, что сразу на выходе из сопла экструдера температура нити приблизительно равна от 190 до 240 градусов по Цельсию, и нить еще не полностью сформирована. Потому любой механический контакт может повлиять на форму нити, и применение контактных методов возможно только после полного затвердевания нити. Это занимает время, а потому контактные измерения могут быть применены только для конечного измерения, что не подходит для использования в цепи обратной связи для управления. В связи с этим, необходимо использовать бесконтактные методы.

Бесконтактные методы имеют ряд преимуществ перед контактными методами, и потому они широко распространены в настоящее время. Для примера рассмотрим, как работает пневматический метод и измерение с

помощью лазерных датчиков. В пневматическом методе образец вставляют в измерительную головку с несколько большим круговым сечением, через которую проходит сжатый воздух, и измеряют средний перепад давления, находящийся в прямой зависимости от диаметра образца. Принцип работы прибора основан на использовании двух отверстий с поперечным сечением, расположенными последовательно в системе, по которой под постоянным давлением проходит сжатый воздух. Давление на участке между этими отверстиями зависит непосредственно от отношения их сечений. Определенному диаметру соответствует определенное сечение потока, а значит и некоторое давление. Современные пневматические измерительные системы позволяют получить точность порядка 20 микрон. Но у данных датчиков высока нелинейность, они будут влиять на поверхностную структуру нити, кроме того, для них характерна инертность измерения [3].

Для снятия размеров с труб созданы современные лазерные датчики. Их достоинства: отсутствие контакта с поверхностью, возможность использования на разных конструкциях (горячих, липких), долговечность и скорость получения результатов. Существует несколько методов измерений. При лазерной триангуляции луч от датчика создает пятно на поверхности конструкции. Позади лазера располагается камера-сканер, которая видит его под разными углами. С помощью этих показателей цифровой процессор рассчитывает расстояние между датчиком и изделием. При измерении диаметра методом затенения датчик служит излучателем и приемником, но они располагаются в разных корпусах. Внутри него луч лазера отражается от вращающегося зеркала, огибает область измерения и создает виртуальную полосу света. Внутри прибора движущийся луч проходит через специальный диод, который отмеряет длительность затенения (соответствует размеру объекта). Еще один вариант – принцип светового сечения. Датчик оснащен лазером, камерой и электронной схемой. Лазер создает перпендикулярную изделию линию, а камера располагается под определенным углом к ней. При любом искривлении деформируется лазерная линия, от чего и отталкиваются датчики при вычислении размеров.

1.3 Обзор существующих решений

Имеющиеся на данный момент автоматизированные устройства, контролирующие диаметр пластиковой нити, решают поставленную задачу разными способами.

1.3.1 FilaWinder Thickness Gauge Mount

Данное решение позволяет измерять диаметр пластиковой нити при помощи микрометра благодаря специальной прошивке для 3D принтера – Marlin, которая поддерживает измерение диаметра нити в реальном времени, этим автоматизируя ручной труд. Главная идея разработчиков этого продукта состоит в том, чтобы измерять нить не на начальном этапе ее изготовления, а во время печати уже конечного продукта. Таким образом слайсеру всегда известен точный диаметр нити, даже если он изменяется – и он может провести точные вычисления. Однако, эту прошивку поддерживают не все 3D-принтеры.

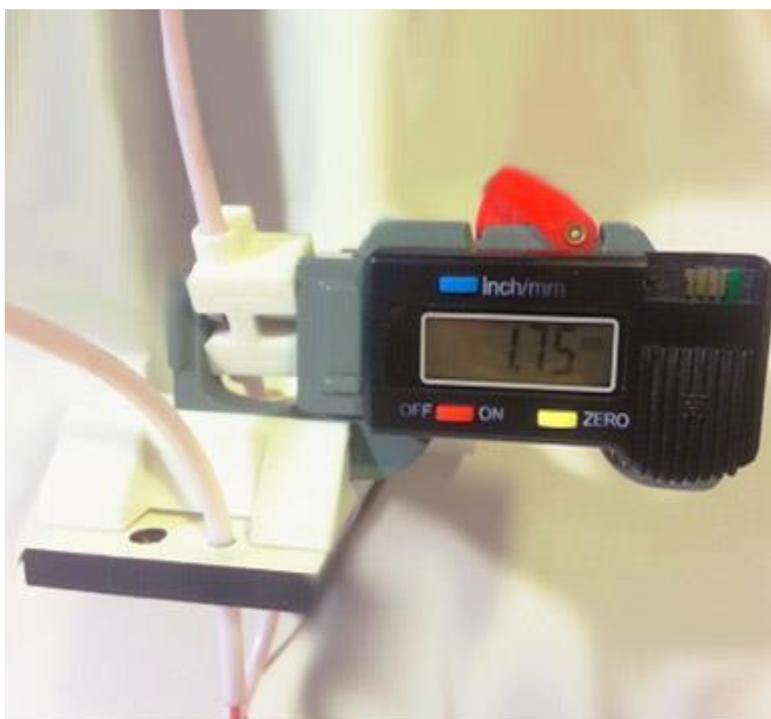


Рисунок 1 – FilaWinder Thickness Gauge Mount

1.3.2 Thomas Sanladerer's filament diameter sensor

Датчик, определяющий диаметр нити с помощью датчика Холла, который предлагается использовать на экструзионных установках. Принцип работы этого

датчика следующий: нить помещается между двумя подшипниками и по принципу электромагнитного толщиномера определяется диаметр. Проект был представлен более четырех лет назад и на данный момент финальная реализация отсутствует. Так как нить сдавливается с двух сторон, то можно отнести этот метод к контактным измерениям.



Рисунок 2 – Thomas Sanladerer’s filament diameter sensor

1.3.3 Автоматизированная система управления экструзионной установкой

В процессе экструзии скорость намотки подбирается таким образом, чтобы избежать обрыва нити и нарушения производства. В этом случае при более высокой относительной скорости экструзии нить будет только провисать, но не обрываться. Для устранения провисания нити было использовано следующее решение: были введены дополнительные датчики – оптопары. Следовательно, когда нить начинает провисать, между излучателем и приемником, изменяется и величина проходящего света. Далее была написана программная часть, в которой действующее значение сигнала от оптопары сравнивается с фиксированным, и, если оно меньше, то включается привод намотчика [4]. В данном случае

используется релейное регулирование, что сказывается на качестве охлажденной нити. Контроль диаметра производится контактным методом с помощью штангенциркуля или микрометра уже после затвердевания нити. Данное решение не обеспечивает требуемой точности в ± 0.05 мм и очень рутинно для выполнения человеком. Ниже на рисунке приведена функциональная схема системы управления, которая взята из работы [4].

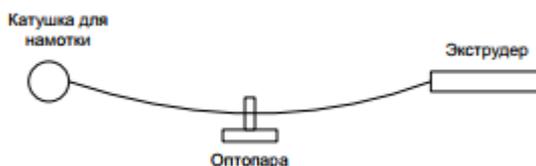


Рисунок 3 – Функциональная схема [4]

1.4 Состав и назначение экструзионной установки

Экструзия (от лат. *extrusio* – выталкивание) – технологический процесс, который применяют для непрерывного производства изделий высокого качества, точных размеров, с требуемой точностью [5]. Обычно используется при формовке полимеров, ферритовых изделий, а также в пищевой промышленности, путём продавливания формируемого вещества через формирующее отверстие головной части экструдера.

Наиболее распространенным методом 3D печати является FFF (Fused Filament Fabrication), где используется пластиковая нить обычно диаметром 1.75 или 3 мм. Для производства расходных материалов к FFF 3D-принтером используется экструдер, устройство которого приведено на рисунке 1.

Имеется портативная экструзионная установка (далее - экструдер). Экструдер предназначен для изготовления нити постоянного диаметра из пластика (пластиковых компаундов) в виде гранул или в рубленом виде.

Конструкция экструдера состоит из следующих основных частей:

- шнековый экструдер с бункером для подачи исходного сырья;
- блок управления экструдером;
- рама с прокатными валиками охлаждения и контролем натяжения;

– автоматический намотчик нити.

Намотчик состоит из корпуса с электромотором и шпинделем под установку катушки для намотки пластика, кнопки включения/выключения, кнопку переключения режимов (автоматический/ручной), ручку регулировку скорости намотки для ручного режима. Намотчик управляется либо автоматически при помощи системы контроля натяжения нити, либо вручную при помощи ручки регулировки скорости.

Система экструдера обеспечивает:

1. Поддержание постоянной заданной температуры горячей зоны экструдера при помощи ПИД-регулятора.
2. Плавную регулировку частоты вращения шнека.
3. Автоматическую аварийную остановку в случае выявления неисправности в подаче пластика.

1.5 Описание технологического процесса экструзии пластиковой нити

Процесс экструзии заключается в следующем: исходное сырьё засыпается в бункер экструдера, затем из бункера, минуя горловину загрузочной воронки, сырьё попадает в загрузочную зону шнека, а затем транспортируется по цилиндру пластикации. От сдавливания, перемешивания и контакта с нагретым цилиндром и шнеком полимерное сырьё расплавляется и превращается в однородную массу – расплав. Затем он проходит через экструзионную головку, которая обеспечивает определенную форму готового изделия. Дополнительное преимущество экструдера, в том, что на нём возможно реализовать переработку различного пластикового мусора, которая даст экономию 80% на материалы для 3D печати.

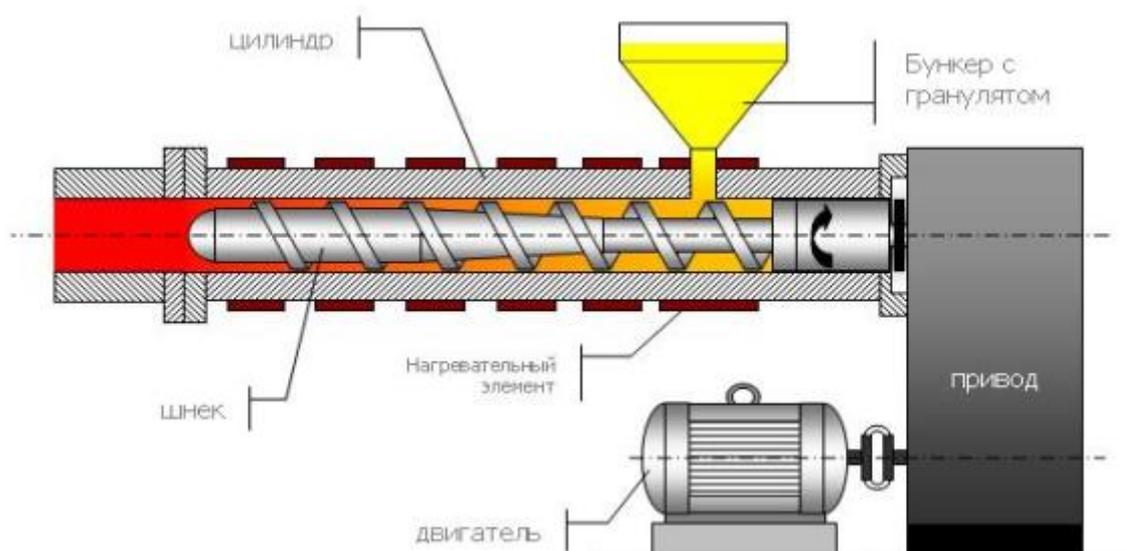


Рисунок 1 – Экструзионная установка [4]

В связи с возникающими сложностями при наблюдении за параметрами выходного материала в реальном времени зачастую контролируются температура и давление пластиковой нити. Контроль температуры позволяет избежать флуктуаций свойств экструдированного материала для сохранения неизменности его характеристик.

Можно выделить следующие типы регулирования температуры:

1) Релейное регулирование

Реакция системы является периодической (например, попеременное включение/выключение нагревателя). Потребляемая мощность может быть значительно снижена при использовании такого метода.

2) ПИД-регулирование

Для регуляции процесса экструзии в производстве часто применяются ПИ- и ПИД-регуляторы. Эти регуляторы позволяют стабилизировать диаметр нити по сигналу обратной связи, уменьшая колебательность процесса и влияя на устойчивость системы. Для их реализации необходимо настроить коэффициенты регулятора.

3) Регуляторы с нечеткой логикой

Нечёткая логика базируется на понятии нечетких множеств, введенном Лютфи Заде в 1965 году. Такие множества являются объектами с функций

принадлежности элемента к множеству. Вместо привычных понятий «истина» и «ложь» вводится степень истинности, что очень похоже на принятие решений человеком. Общая система, построенная на нечёткой логике, состоит из трёх частей [2]. Чёткий вход с помощью характеристических функций фузифицируется и обрабатывается набором нечётких правил. За этим следует этап дефузификации, что приводит к четкому выходу.

Данный метод также требует подбор характеристической функции, что осложняет техническую реализацию.

4) Нейросетевые регуляторы

Нейронные сети представляют собой математические модели, построенные по принципу организации биологических нейронных сетей. Связи между «нейронами» укрепляются или слабеют в процессе обучения нейронной сети. В результате обучения формируется сложная функция отражения входного сигнала на выход. Данный метод позволяет строить регуляторы без создания практически пригодного математического описания объекта управления, что является их неоспоримым преимуществом. Однако, необходимо проводить большое количество экспериментов в разных режимах работы системы для обучения модели, что довольно затруднительно на оборудовании в процессе производства, а данные для корректной работы такого простого объекта нужно копить несколько лет.

5) Генетические алгоритмы

Ещё одним методом получения оптимального алгоритма контроля является использование генетических алгоритмов. Данные алгоритмы реализуют модель эволюции или «естественный отбор», программ и включают такие понятия, как мутация, кроссовер, и отбор. Такие алгоритмы часто используются для решения проблем оптимизации. В то время, как стандартные регуляторы (релейные и ПИД) являются более изученными и часто применяются на производстве, системы контроля, построенные на нечёткой логике или искусственном интеллекте лучше справляются с зашумленными сигналами и обеспечивают малое время регулирования, однако требуют больших временных

и вычислительных затрат. Исследования также показали, что комбинированные системы показывают очень хорошие результаты.

2 Техническое задание

2.1 Основные цели и задачи системы управления

Целью системы является контроль и поддержание заданного диаметра пластиковой нити через непрерывное управление скоростью привода намотчика, датчиком обратной связи является фотодиодная линейка.

Задачи:

1. Определение числа затененных пикселей, соответствующих диаметру пластиковой нити.
2. Обработка и преобразование затененных пикселей в управляющее воздействие.
3. Определение смещения нити относительно центра фотодиодной линейки.
4. Управление двигателем для изменения положения нити.
5. Синтез контура стабилизации диаметра и контура стабилизации положения нити.

2.2 Назначение системы управления

Система управления предназначена для обеспечения равномерной подачи пластиковой нити путем управления натяжением прутка и непрерывным измерением его диаметра.

2.3 Область применения

Данная система может применяться в экструзионных установках, позволяющих производить пластиковую нить для 3D-принтеров с точностью диаметра ± 0.05 мм.

2.4 Параметры аппаратной части

Аппаратная часть включает в себя микроконтроллер STM32F303VC, который обладает высокой частотой процессора до 72 МГц и может обеспечить

необходимый тактовый сигнал для системы, фотодиодную линейку TSL1401CL, центрированную систему из двух линз и лазерный источник света.

Параметры, требуемые для работы системы:

- Диапазон скорости движения пластикового прутка: $(0,5 - 2)$ см/с

Данный параметр необходимо учитывать, так как при более высокой скорости реакция системы может запаздывать.

2.5 Программная часть

Функции, которые должна выполнять система управления:

- Измерение диаметра пластиковой нити.
- Управление двигателем для изменения положения нити.

Параметры, которые должна обеспечить система по результатам работы:

- Максимально допустимое отклонение толщины прутка: $\pm 0,05$ мм.

По требованию заказчика данная система должна обеспечить изготовление пластикового прутка диаметром 1,75мм с допустимым отклонением не более 0,05 мм. Данный параметр обеспечивается высокой точностью работы системы.

3 Основная часть

3.1 Описание системы управления, функциональная схема

В данной работе разрабатывается система управления скоростью привода намотчика мобильной экструзионной установки. Получение полимерной нити – основная задача, но нить должна иметь определенный диаметр и его отклонение не должно превышать допустимые отклонения около 0,05 мм. Диаметр должен быть строго определенным. При использовании некачественной полимерной нити, а изменения диаметра более 0,05 мм характеризуют её как некачественную, забивается печатающая головка 3D принтера, изделия получаются более хрупкие, слои изделия становятся очень различимы.

Для решения этой проблемы предлагается датчик измерения диаметра нити. Принцип работы этого устройства следующий: нить, выходящая из экструдера, пропускается между лазерным источником света и отбрасывает тень

на фотодиодную линейку. По величине тени можно судить о диаметре нити. Процесс происходит в реальном времени, и если толщина нити отклоняется от номинальной, то двигатель намотчика ускоряется или замедляется, чтобы компенсировать недостаток/избыток пластика на выходе.

Система управления предназначена для обеспечения равномерной подачи пластиковой нити путем управления его натяжением и непрерывным измерением его диаметра. Она состоит из двух контуров: контур стабилизации диаметра и контур стабилизации положения нити. Функциональная схема работы представлена на рисунке 2.

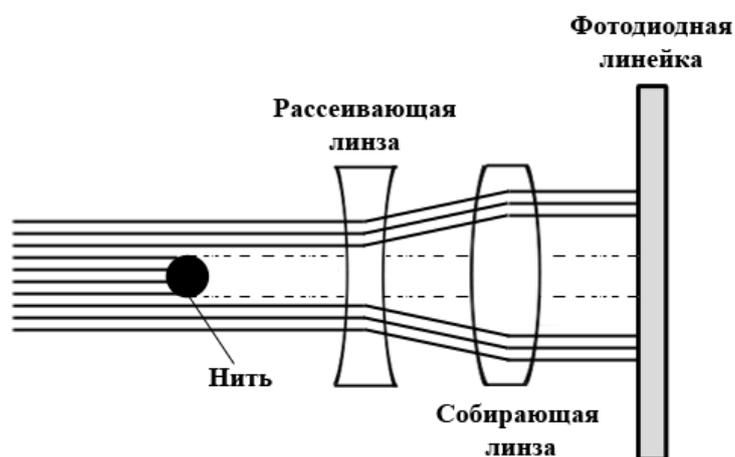


Рисунок 2 – Функциональная схема работы системы

3.2 Структурная схема системы управления

На рисунке 3-4 представлены два контура операторно-структурной схемы работы системы.

Изменения диаметра полимерной нити вызваны сложной синхронизацией скорости экструзии, из-за чего наблюдается либо провисание нити, либо слишком сильное натяжение.

В первом контуре рассматривается постоянный контроль диаметра нити, например, для случая, если нить слишком натянута. Когда на датчик приходит сигнал о том, что диаметр нити уменьшился, то подается сигнал на нагреватель и температура экструзии снижается.

Во втором контуре системы рассматривается поддержание координаты нити относительно центра фотодиодной линейки с помощью непрерывного регулирования скорости привода намотчика. Если нить провисает (опускается ниже центра датчика), то намотчик вращается быстрее.

Для определения передаточной функции привода намотчика на контур управления стабилизации положения нити было подано ступенчатое воздействие на двигатель и снята переходная характеристика системы как зависимость координаты центра нити от времени. Подобным образом была найдена передаточная функция экструдера в контуре управления стабилизацией диаметра нити.

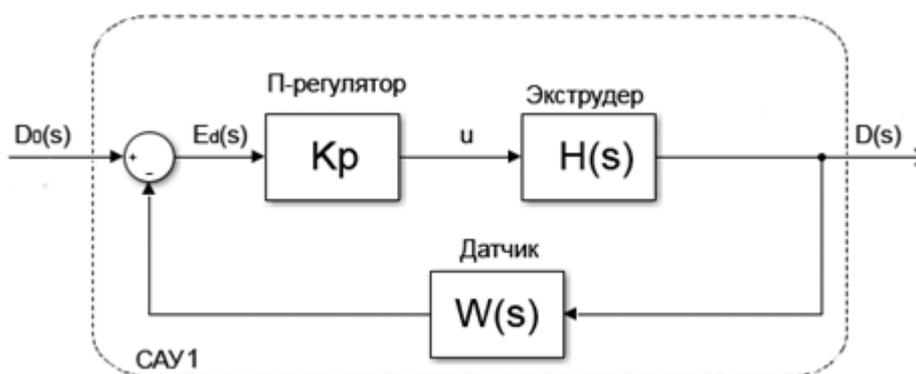


Рисунок 3 – Контур управления стабилизацией диаметра нити

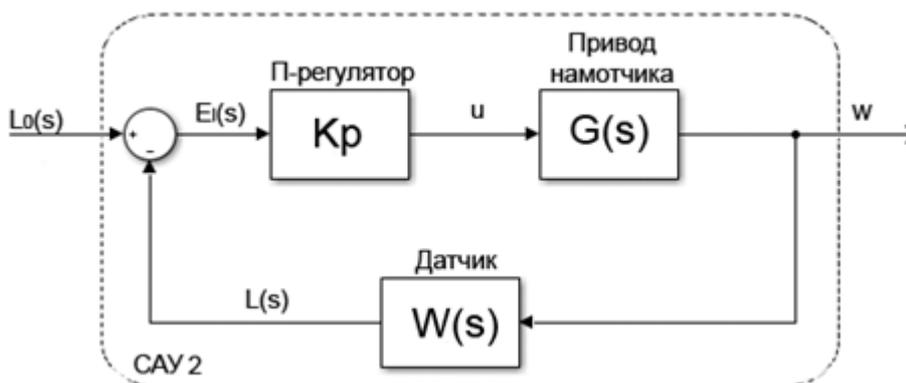


Рисунок 4 – Контур управления стабилизацией положения нити

3.3 Описание компонентов устройства

Для реализации системы управления необходимо управлять приводом намотчика экструзионной установки, которым является реверсивный

коллекторный двигатель постоянного тока SF6551 с цилиндрическим редуктором.



Рисунок 5 – Габаритные и присоединительные размеры [6]

Таблица 2 – Технические характеристики двигателя [6]

Характеристики электродвигателя	Величина
Мощность, Вт	70
Напряжение питания, В	24
Номинальная скорость, об/мин	2400
Номинальный ток, А	2,9
Передаточное отношение редуктора	1/75

3.3.1 Выбор датчика

Светочувствительная линейка должна одновременно иметь достаточно высокую световую чувствительность, позволять считывать сигнал с высокой скоростью и иметь маленькие габариты. Различные CCD линейки, применяемые в бытовых сканерах, обычно довольно длинные. Линейки, используемые в сканерах штрихкодов — тоже не самые короткие и быстрые.

Сравним некоторые из них, наиболее подходящие для нашей работы в таблице 3:

Таблица 3 – Характеристики CCD линеек

	ELIS-1024	iC-LFL1402	TSL1401CL	TCD1209D
Разрешение, DPI	500	400	400	200

Число пикселей	1024	256	128	2048
Габариты, мм	2.2x11	1.7x16.6	3x9.4	9.65x47.6
Стоимость, руб	2530	990	650	1050

ELIS-1024 и TCD1209D имеют большие габариты и высокую стоимость, однако их число пикселей превосходят остальных. В то же время TCD1209D имеет очень низкую разрешающую способность.

TSL1401CL является самой дешевой и распространенной линейкой среди представленных в таблице, однако имеет всего 128 пикселей. Необходимо выяснить достаточно ли такого числа пикселей для нити, диаметр которой составляет 1.75 мм.

TSL1401 имеет плотность 400 пикселей на дюйм [7] и у него 128 таких пикселей. Разрешение измерения = $\frac{1 \text{ дюйм}}{400} \cdot 25.4 \text{ мм} = 0.0635 \text{ мм}$.

Если пруток прижать вплотную к датчику, то он охватит $\frac{1.75 \text{ мм}}{0,0635} = 27.5$ пикселей. Воспользовавшись собирающей и рассеивающей линзой можно увеличить тень прутка минимум в 2 раза, для повышения точности. Таким образом можно сказать, что 128 пикселей будет достаточно для данной системы.

Максимальное разрешение $\frac{1.75}{128} = 0,0137 \text{ мм}$.

Таким образом выберем фотодиодную линейку TSL1401CL и рассмотрим подробнее ее характеристики.

Линейная матрица TSL1401CL, представленная на рисунке 6 состоит из массива фотодиодов 128×1 , связанного усилителя заряда электрической схемы и внутренней функции хранения данных пикселей, которая обеспечивает время начала и остановки одновременной интеграции для всех пикселей. Массив состоит из 128 пикселей, каждый из которых имеет фоточувствительную область размером $3.5 \times 24.3 \text{ мкм}^2$. Расстояние между пикселями составляет 8 мкм. Операция упрощается с помощью логики внутреннего управления, которая требует только сигнал последовательного ввода (SI) и время [7].



Рисунок 6 – Фотодиодная линейка TSL1401CL

На рисунке 7 представлена временная диаграмма работы датчика.

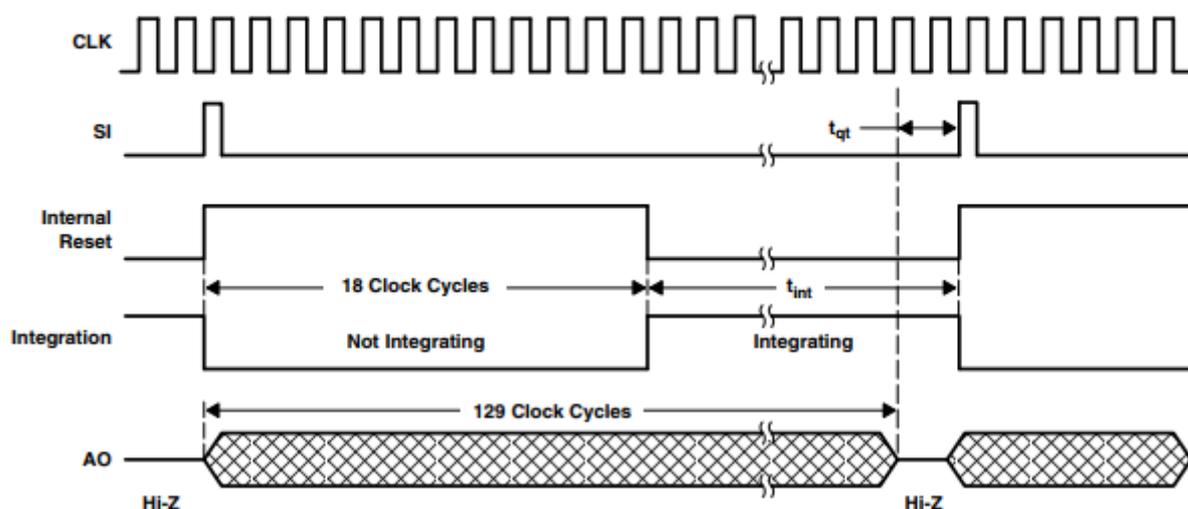


Рисунок 7 – Временная диаграмма [7]

Выход и сброс интеграторов осуществляется 128-разрядным регистром сдвига и схемами сброса. Цикл сброса инициируется появлением «1» на SI. Внутренний сигнал, называемый «Hold», генерируется по переднему фронту SI и передается на аналоговые коммутаторы в пиксельной схеме. Это приводит к отключению всех 128 конденсаторов от их соответствующих интеграторов и запускает период сброса интеграторов. Когда импульс SI проходит через сдвиговый регистр, заряд, накопленный на конденсаторах, последовательно подключается к усилителю с зарядовой связью, который генерирует напряжение на аналоговом выходе АО. Одновременно, в течение первых 18 тактов, все интеграторы пикселей сбрасываются, а следующий цикл интеграции начинается с 19-го такта. На нарастающем фронте 129-го такта импульс SI выводится из

сдвигового регистра, и аналоговый выход (АО) переходит в высокоимпеданное состояние. 129-й тактовый импульс требуется для завершения вывода 128-го пикселя и возврата внутренней логики в исходное состояние.

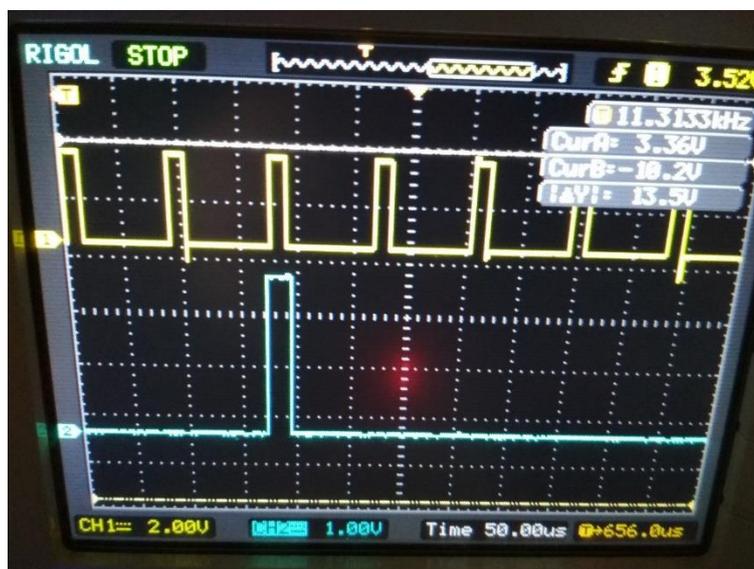


Рисунок 8 – Электрический сигнал с аналогового выхода TSL1401CL

3.3.2 Выбор отладочной платы

Для управления фотодиодной линейкой TSL1401CL с аналоговым выходом сигнала был выбран микроконтроллер STM32F303VC. Он был выбран для обеспечения необходимого времени интеграции при управлении фотодиодной линейки на основании следующих расчетов:

$$t = (128 - 18) \cdot T + 20, \quad (3)$$

где t – минимальное время интеграции (мкс), T – период синхронизации (мкс), 128 – количество пикселей в серии, 18 – требуемое время логической настройки, а 20 мкс – время передачи заряда пикселя, которое можно найти в технических параметрах.

Тогда, в соответствии с уравнением (3):

$$t = 570 \text{ мкс}$$

Отсюда:

$$f = \frac{1}{t} = 1.76 \text{ МГц},$$

где f – тактовая частота, которую должен обеспечить микроконтроллер

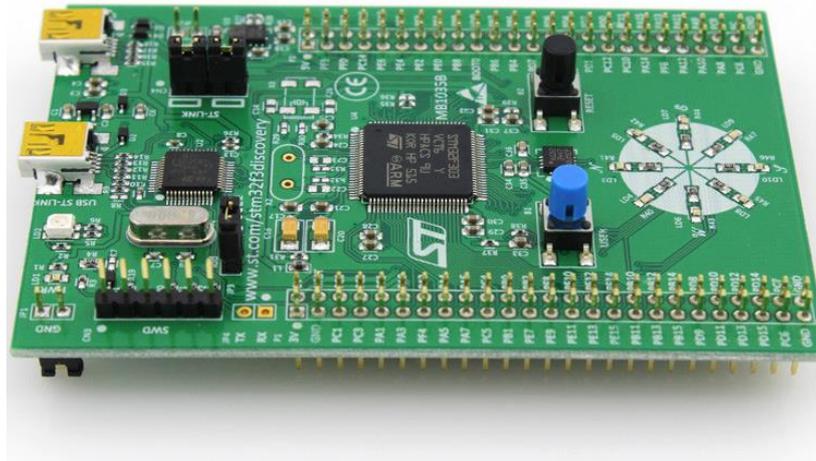


Рисунок 9 – Микроконтроллер STM32F303VC

Электрическая схема подключения фотодиодной линейки к данному микроконтроллеру представлена в приложении А.

3.3.3 Выбор источника освещения нити

Для выбора источника света необходимо рассмотреть спектральную характеристику TSL1401, представленную на рисунке 10. Максимальный пик этой характеристики приходится на длину волны 770 нм, поэтому решено было использовать источник света с длиной волны, находящейся в красном диапазоне.

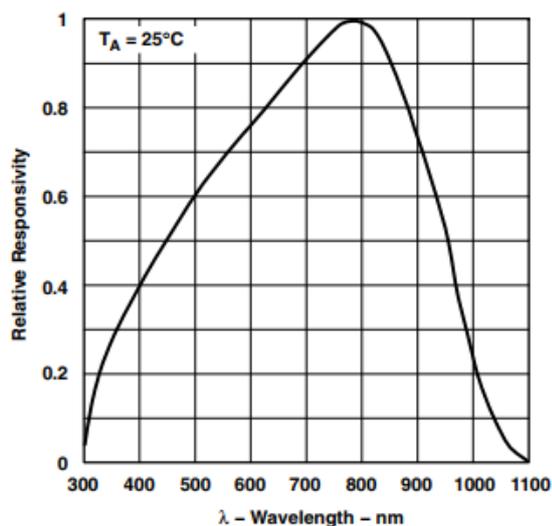


Рисунок 10 – Спектральная характеристика TSL1401CL [7]

Кристалл светодиода микроскопических размеров, поэтому его можно считать точечным источником света, у которого освещенность поверхности зависит от расстояния до фотоприемника. Из-за недостаточно точного расположения светодиода нить может быть либо засвечена, либо недостаточно освещена.

Эту проблему решает лазерный источник света. Так как максимально эффективны параллельные лучи, которые не будут вносить искажения в диаметр нити, был выбран лазер фирмы Laserland дальностью 635-850нм, представленный на рисунке 11.



Рисунок 11 – Лазер

Как было рассчитано выше, прижатый вплотную к датчику пруток занимает 28 фотодиодов. Для уменьшения погрешности при определении тени, отбрасываемой на датчик можно увеличить в три раза с помощью центрированной системы из двух линз.

3.4 Алгоритм управления двигателем

В процессе работы возникает необходимость управлять при помощи микроконтроллера нагрузкой постоянного тока (реверсивный коллекторный двигатель постоянного тока серии SF6551).

Простейший ключ на биполярном транзисторе проводимости n-p-n выглядит следующим образом.

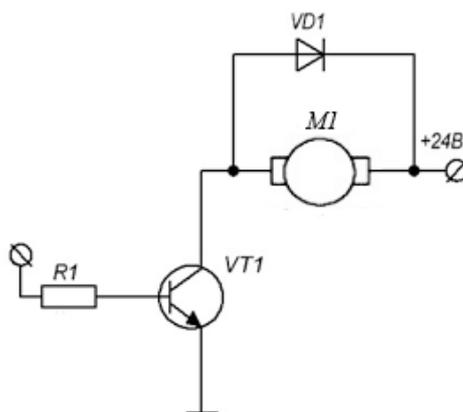


Рисунок 12 – Ключ на биполярном транзисторе

При подаче «1» на вход нашей схемы ток от источника питания потечёт через резистор R1, базу и эмиттер на землю. При этом транзистор откроется и ток сможет идти через переход коллектор — эмиттер, а значит и через нагрузку. Резистор R1 играет важную роль — он ограничивает ток через переход база — эмиттер. Если бы его не было, ток не был бы ничем ограничен и просто испортил бы управляющую микросхему (ведь именно она связывает линию питания с транзистором). Максимальный ток через один выход микроконтроллера ограничен значением около 25 мА (для STM32).

Для расчёта сопротивления R1 рассмотрим соотношение для упрощённой модели транзистора:

$$I_K = \beta \cdot I_{\bar{\sigma}},$$

где β — это коэффициент усиления по току.

Зная мощность нагрузки $P = 70$ Вт и напряжение питания $V = 24$ В, можно найти ток коллектора, а из него и ток базы:

$$I_K = \frac{P}{V} = 12 \text{ А}$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{I_K}{\beta} = \frac{12}{\beta}$$

По закону Ома получаем:

$$R_1 = \frac{V}{I_{\bar{\sigma}}} = \frac{3.3 \cdot \beta}{12}$$

Выберем транзистор КТ829Г, который представлен на рисунке 13. Характеристики транзистора указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики транзистора КТ829Г

Модель	β	$\max I_{\kappa}$	$\max V_{\kappa\epsilon}$	T max	P κ max
КТ829Г	>750	8 А	45 В	- 40...+85 °C	60 Вт



Рисунок 13 – Выбранный транзистор

Возьмем $\beta=750$, при этом коэффициенте ток базы у нас не будет превышать предельно допустимое для нашей микросхемы (25мА).

$$I_{\text{б}} = \frac{12}{\beta} = \frac{12}{750} = 16 \text{ мА}$$

Тогда сопротивление R1 будет равно:

$$R_1 = \frac{3.3 \cdot 750}{12} = 206.25 \approx 200 \text{ Ом}$$

Рассеиваемая мощность:

$$P = I_{\text{б}} \cdot U_{\text{МК}} = 16 \text{ мА} \cdot 3.3 \text{ В} = 0.0528 \text{ Вт}$$

Максимальное расчетное значение рассеиваемой мощности резистора:

$$P_{\text{max}} = 0.0528 \cdot 4 = 0.2112 \text{ Вт}$$

Из таблицы стандартных номиналов возьмем резистор на 200 Ом. Также необходимо ввести в схему защитный диод, так как нагрузка индуктивная. Это необходимо, так как энергия, запасённая магнитным полем, не даёт мгновенно уменьшить ток до нуля при размыкании ключа. А значит, на контактах нагрузки возникнет напряжение обратной полярности, которое легко может нарушить работу схемы или даже повредить её [8]. В нашем случае выберем диод 1N4001.

3.5 Электрическая схема

Интегрированная логика управления позволяет начать работу, используя сигналы синхронизации и тактирования. После подачи питания, происходит сброс всех параметров и датчик возвращается в изначальное состояние. Высокий сигнал на входе SI (PD1) и нарастающий фронт на CLK (PD0) запускают цикл считывания, а вместе с ним новый цикл интеграции (рисунок 7). Аналоговый выход фотодиодной линейки TSL1401CL подает сигнал на 8-битный АЦП, который находится на выводе микроконтроллера PA0.

Питание микроконтроллера осуществляется через USB-порт, присоединенный к ПК (5 В).

Vbat - используется для подключения резервного источника питания. Так как в нашей схеме резервный источник не используется, Vbat подключается на общий источник питания.

Vdd_1 ... 4 подключается к «+», Vss_1 ... 3 на «-» источника питания.

Спецификация на контроллер советует поставить параллельно источнику питания 5 конденсаторов в 100нФ (поближе к контроллеру) и один на 4.7мкФ (ближе к Vdd_3) для уменьшения пульсации питания.

Аналого-цифровой преобразователь имеет отдельный вход питания (пин Vdda). Для четкого преобразования надо, чтобы питание АЦП было стабильным. Питание самого микроконтроллера достаточно зашумленное, поэтому лучше подавать питание на Vssa – Vdda отдельно. Для этого на схеме указаны два параллельно включенных фильтрующих конденсатора – электролитический емкостью 1мкФ, и керамический 10нФ [9].

Внешний кварцевый резонатор подключенный на ножки OSC_IN и OSC_OUT отсутствует.

Для управления двигателем постоянного тока через микроконтроллер необходимо подключить биполярный транзистор КТ829Г, резистор R1 ограничивающий ток через переход база — эмиттер и диод для защиты работы схемы при размыкании ключа. Питание двигателя осуществляется от блока питания 24В.

Для управления транзистором необходимо генерировать ШИМ-сигнал. ШИМ-сигнал получен с вывода PE14 по таймеру на TIM_1 канал CH4. Для защиты цифрового выхода порта микроконтроллера от обратного тока используется оптопара CNY74-4H.

Электрическая принципиальная схема представлена в приложении В

3.6 Программа тестирования работы фотодиодной линейки

Для настройки системы управления был разработан алгоритм отладки и тестирования датчика, позволяющий видеть затемненные и осветленные пиксели, чтобы наблюдать за положением прутка относительно центра фотодиодной линейки и изменением его диаметра. Данный алгоритм в виде блок-схемы представлен на рисунке 15, листинг программы расположен в приложении В.

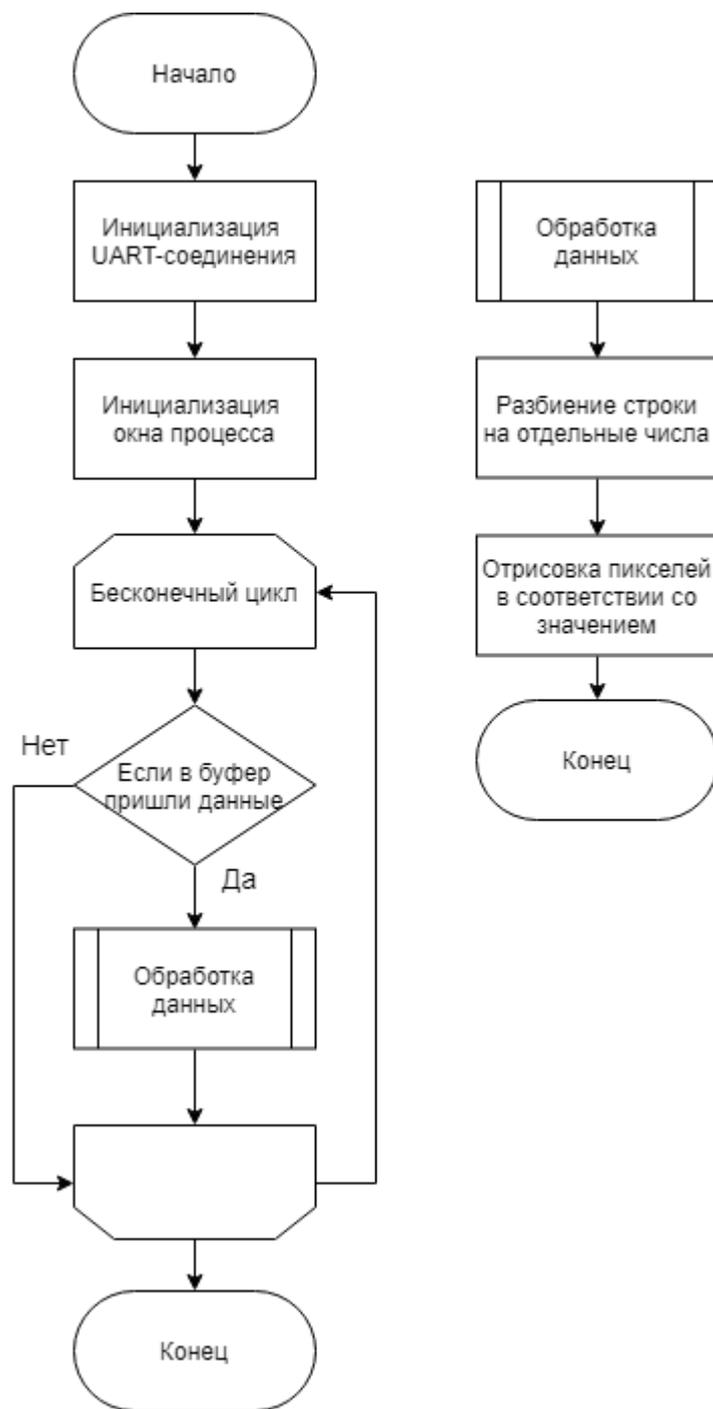


Рисунок 15 – Блок-схема работы программы

Результат работы программы представлен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Результат работы программы

Блок-схема полной работы программы, написанная для микроконтроллера STM32F303VC представлены в приложении Г.

3.7 Повышение точности проектируемой системы

3.7.1 Определение передаточной функции для синтеза ПИД-регулятора

Для определения передаточной функции было подано единичное ступенчатое воздействие на систему в виде снижения температуры экструзии с 220 °С до 200 °С. Результаты измерений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Изменение диаметра пластиковой нити

<i>t, с</i>	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540
<i>D, мм</i>	1.75	1.77	1.78	1.80	1.82	1.84	1.87	1.89	1.90	1.92
<i>t, с</i>	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
<i>D, мм</i>	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93

По измеренным параметрам был построен график переходного процесса:

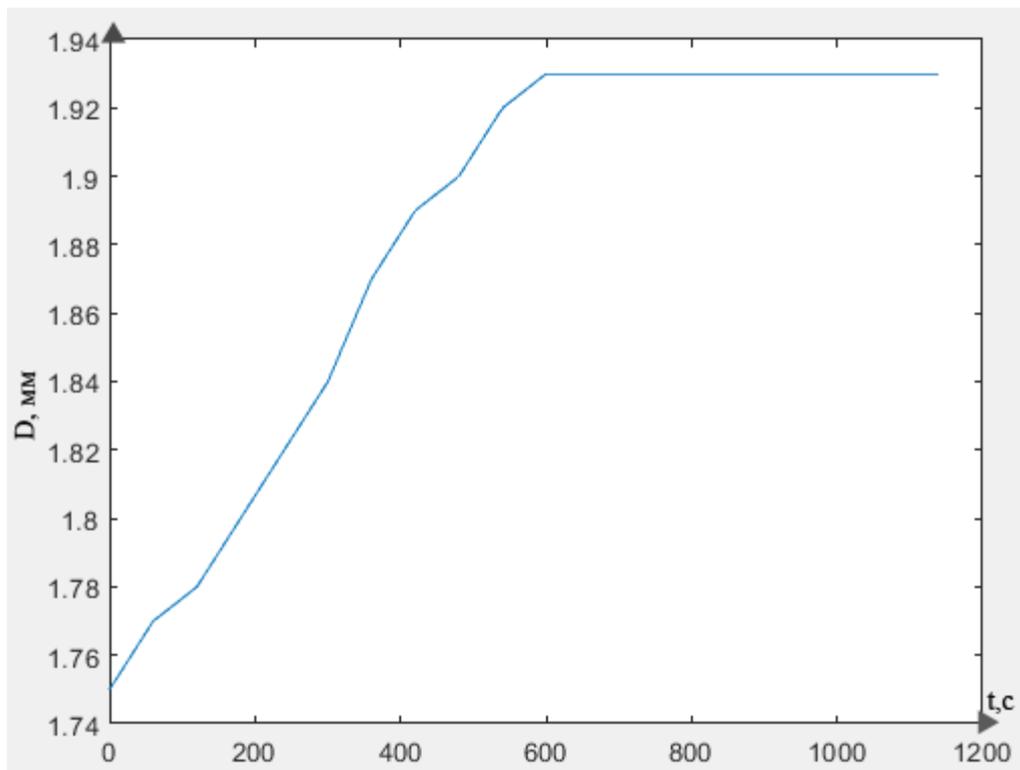


Рисунок 17 – График переходного процесса экструдера

Для определения передаточной функции воспользуемся графическим методом. Проведем касательную к данной кривой в точке перегиба Π и отметим два отрезка времени t , T на рисунке 18.

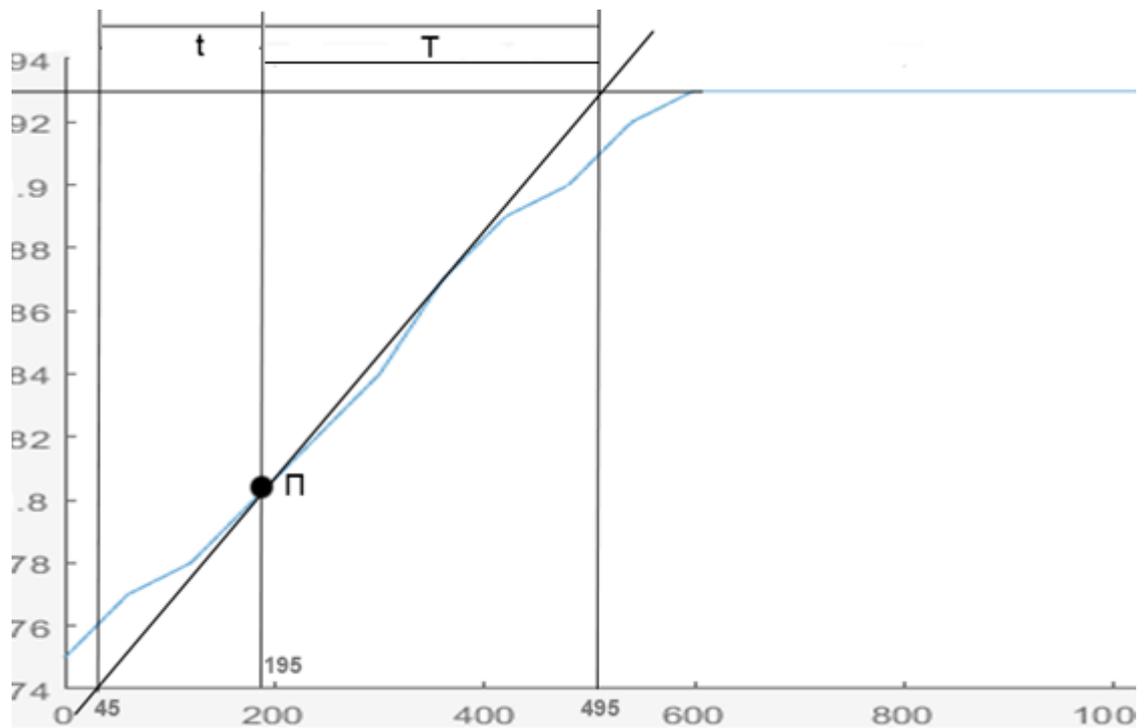


Рисунок 18 – Графический метод определения передаточной функции по переходному процессу

Динамика аperiodического звена второго порядка описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$T_2^2 \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t), (T_1 \geq 2 \cdot T_2)$$

Причем T_1 берется из графика переходной характеристики, а величина T_2 определяется специальным параметрическим графиком на рисунке 19 в зависимости от t_1, T_1 .

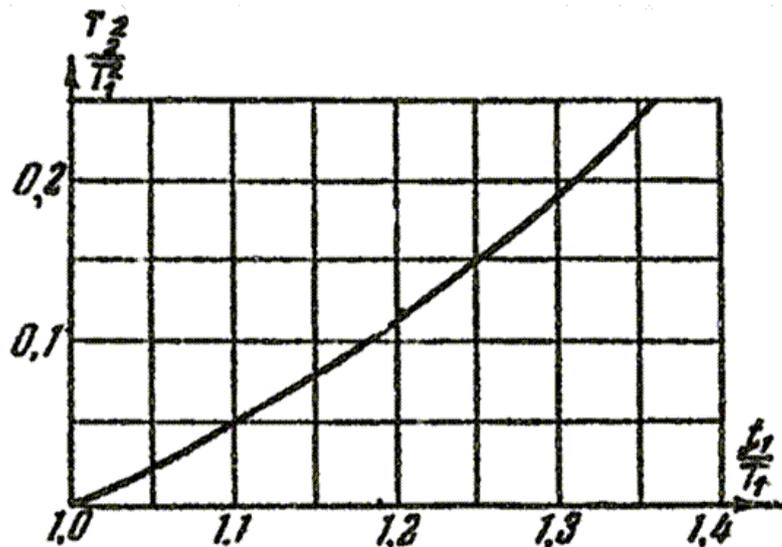


Рисунок 19 – График для определения постоянных времени апериодического звена второго порядка

Тогда при $T=300$ с; $t=391$ с можно определить T_2 :

$$W(p) = \frac{k_1}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$$

$$\frac{t_1}{T_1} = \frac{391}{300} = 1.31$$

$$T_2^2 = 18000$$

$$k = \frac{1.93}{220} = 0.00877$$

$$W(s) = \frac{0.00877}{18000 \cdot s^2 + 300 \cdot s + 1}$$

На рисунке 20 представлен график переходного процесса полученной передаточной функции.

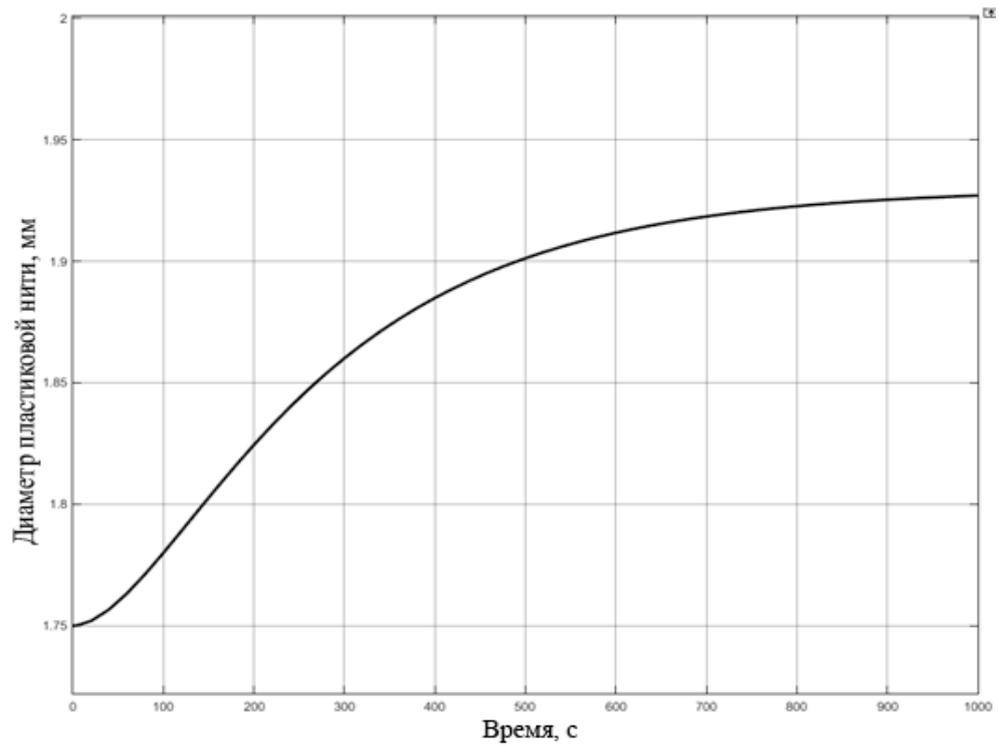


Рисунок 20 – Полученный график переходного процесса

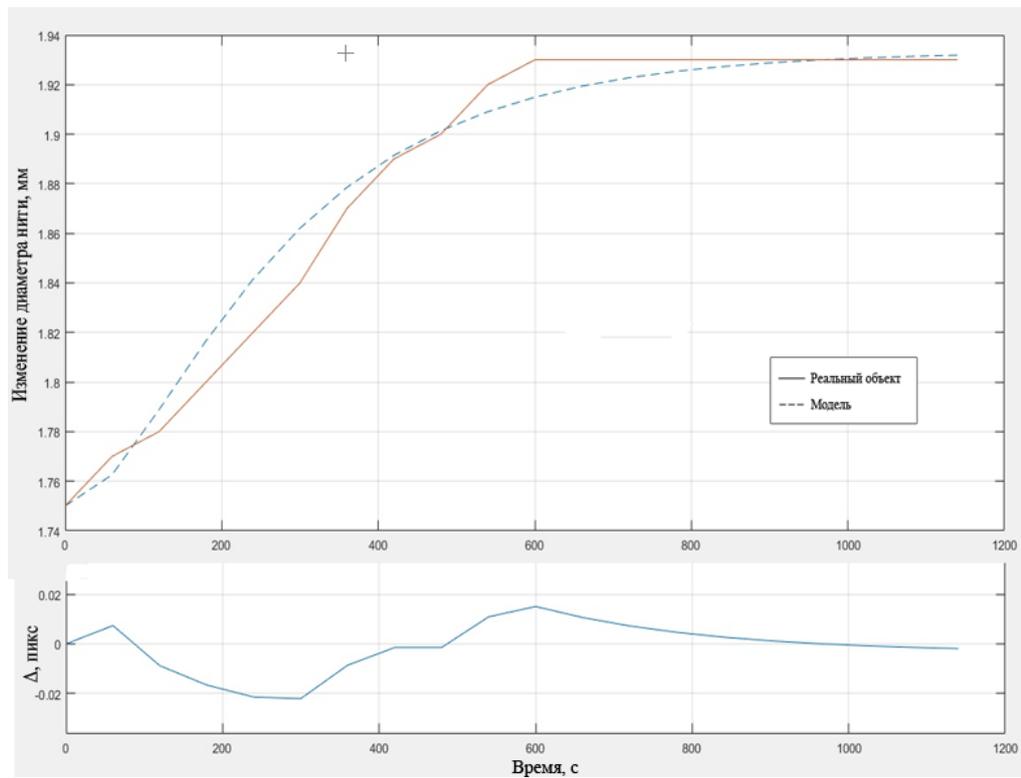


Рисунок 21 – Сравнение переходных характеристик модели и реального объекта системы, определяющей диаметр нити

Из графика можно понять, что переходная характеристика описывает апериодическое звено второго порядка. Представим передаточную функцию в привычном виде:

$$W(s) = \frac{0.00877}{(217.92 \cdot s + 1)(82.645 \cdot s + 1)}$$

Подобным же образом была снята переходная характеристика для системы, регулирующей провисание нити относительно центра датчика и найдена ее передаточная функция, имеющая вид:

$$W(s) = \frac{2.3}{0.21 \cdot s^2 + 0.15 \cdot s + 1}$$

Таблица 6 – Изменение провисания нити относительно центра датчика

<i>l, тикс</i>	2.485	2.485	2.485	2.485	2.485	2.485	2.485	2.485	2.485	8.216
<i>l, тикс</i>	0	10.286	7.552	12.246	23.808	28.913	34.419	48.151	65.440	70.285
<i>l, тикс</i>	74.553	79.537	83.548	86.918	90.703	83.964	90.382	89.847	85.529	74.061
<i>l, тикс</i>	74.032	70.037	65.315	49.670	48.259	49.159	39.604	44.412	34.509	33.800
<i>l, тикс</i>	37.104	36.822	38.250	38.613	50.915	47.539	54.078	59.414	61.075	65.955
<i>l, тикс</i>	65.857	66.039	74.145	75.772	73.146	66.057	68.957	70.101	63.415	59.479
<i>l, тикс</i>	67.679	63.089	56.173	51.549	55.547	47.588	52.398	55.491	51.632	53.705
<i>l, тикс</i>	49.911	53.067	53.900	54.562	60.849	55.252	60.605	56.029	56.885	62.987
<i>l, тикс</i>	60.782	59.780	54.904	64.453	58.537	54.826	62.205	63.386	60.543	58,349
<i>l, тикс</i>	59.125	55.978	55.467	56.923	56.158	49.631	54.815	55.716	56.954	55.286
<i>l, тикс</i>	54.137	50.933	52.542	57.456	58.414	57.096	55.257	52.823	59.376	

На рисунке 22 представлена экспериментально определенная характеристика переходного процесса и переходная характеристика определенной по ней передаточной функции

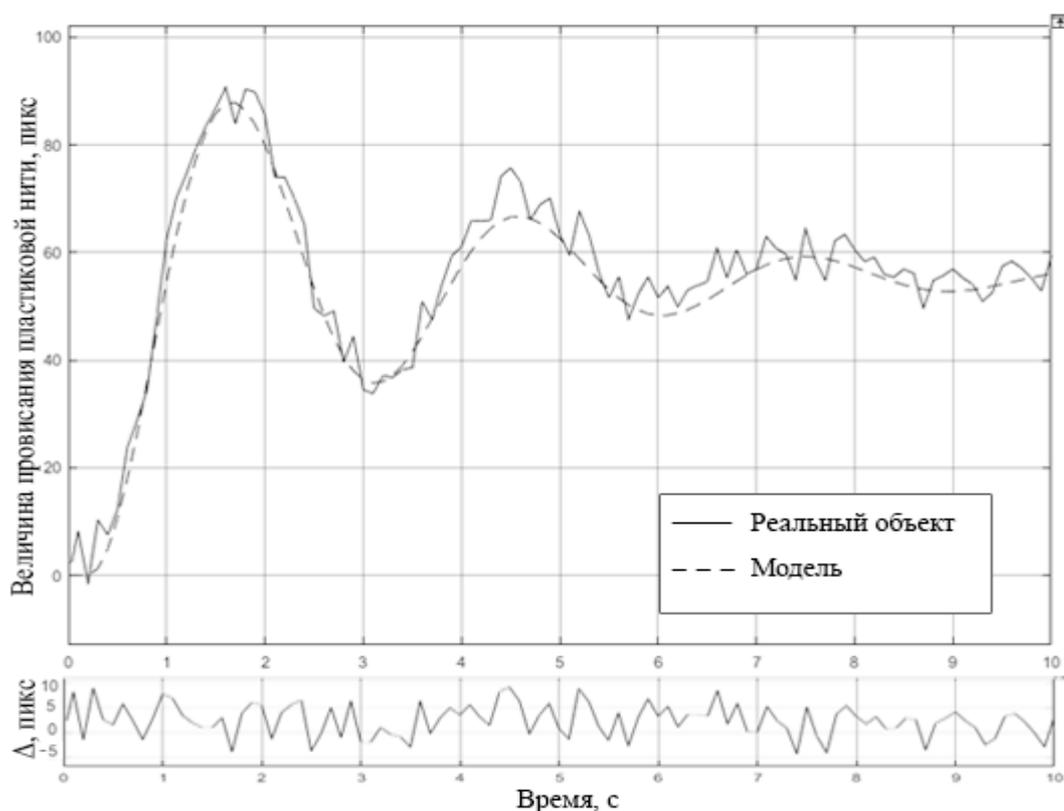


Рисунок 22 – Сравнение переходных характеристик модели и реального объекта системы, регулирующей провисание нити

3.7.2 Выбор и настройка регулятора

Для повышения показателей качества было решено ввести в каждый контур разрабатываемой системы регуляторы, которые должны улучшить ее работу. Настройка регуляторов проводилась с помощью функции Tune в MATLAB&Simulink.

При настройке П-регулятора с коэффициентом $K_p=31.78$ ожидаемо уменьшилось время нарастания и снизилось время переходного процесса, но стала заметна довольно большая статическая ошибка в 0.06 мм, которая негативно отразится на нашей системе в дальнейшем.

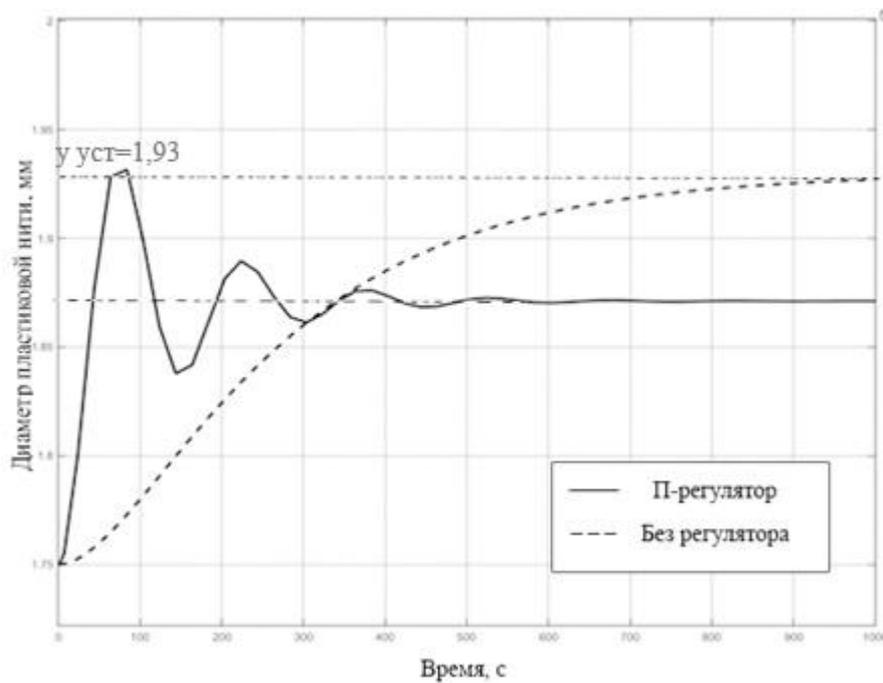


Рисунок 23 – Настройка П-регулятора для системы, контролирующей диаметр нити

Для устранения этой ошибки была введена И-составляющая с $K_{и} = 0.164$, которая свела эту ошибку к 0, но увеличила перерегулирование и время переходного процесса, что делает применение такого регулятора в реальной системе невозможным.

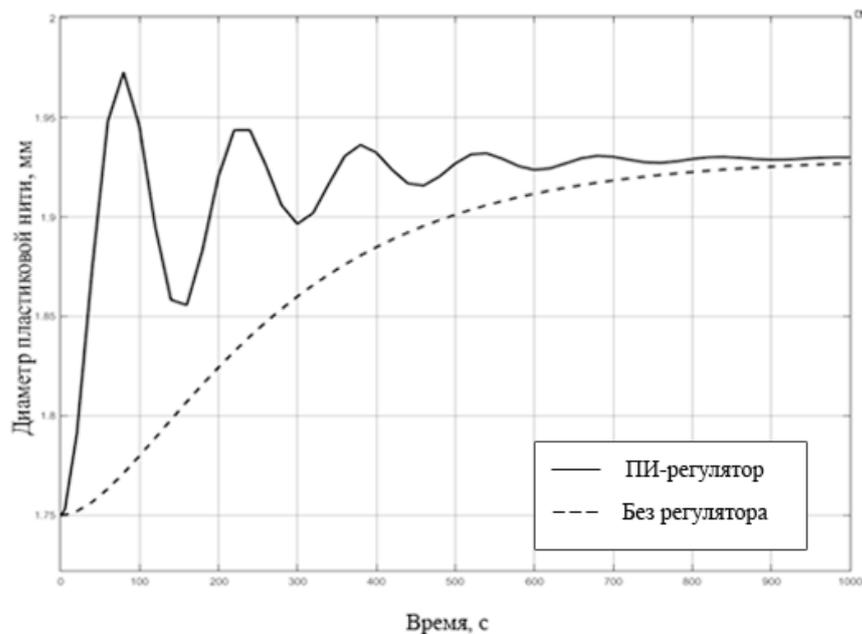


Рисунок 24 – Настройка ПИ-регулятора для системы, контролирующей диаметр нити

Введение Д-составляющей регулятора позволило значительно уменьшить время переходного процесса. Сравнение полученных показателей качества с первоначальными можно увидеть в таблице 7.

Таким образом коэффициенты ПИД-регулятора оказались следующими:

$$K_p=31.78; K_i=0.164; K_d=121.467$$

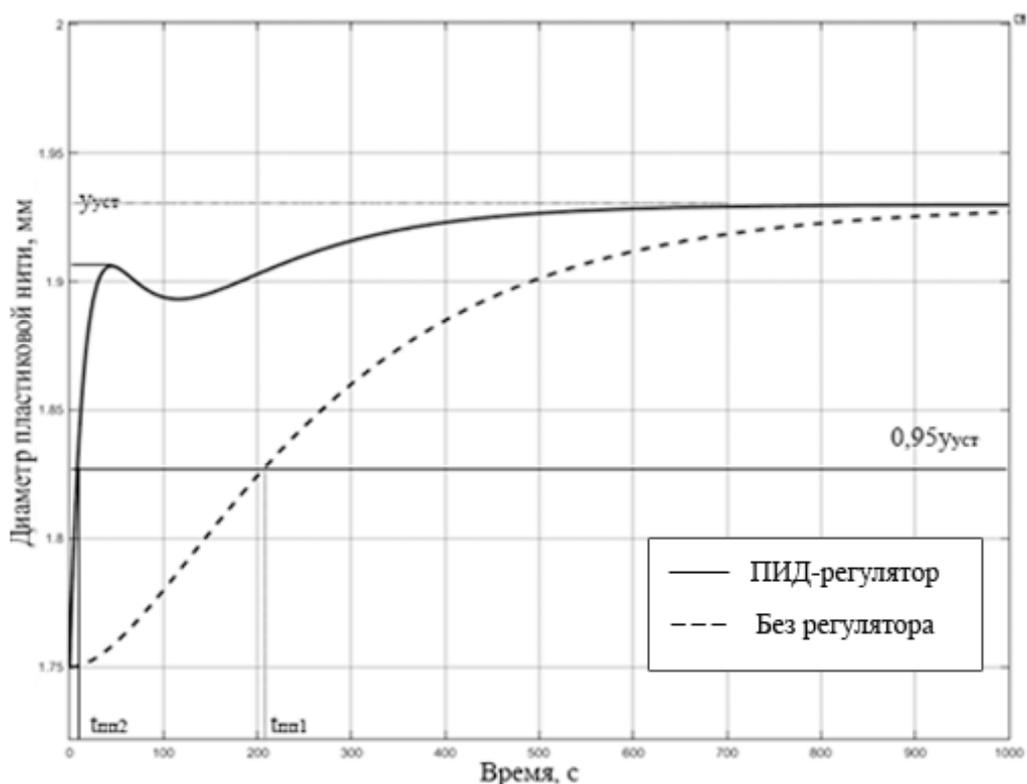


Рисунок 25 – Настройка ПИД-регулятора для системы, контролирующей диаметр нити

Для второго контура также был синтезирован ПИД-регулятор со следующими коэффициентами:

$$K_p=20.91; T_i=24.936; T_d=4.163$$

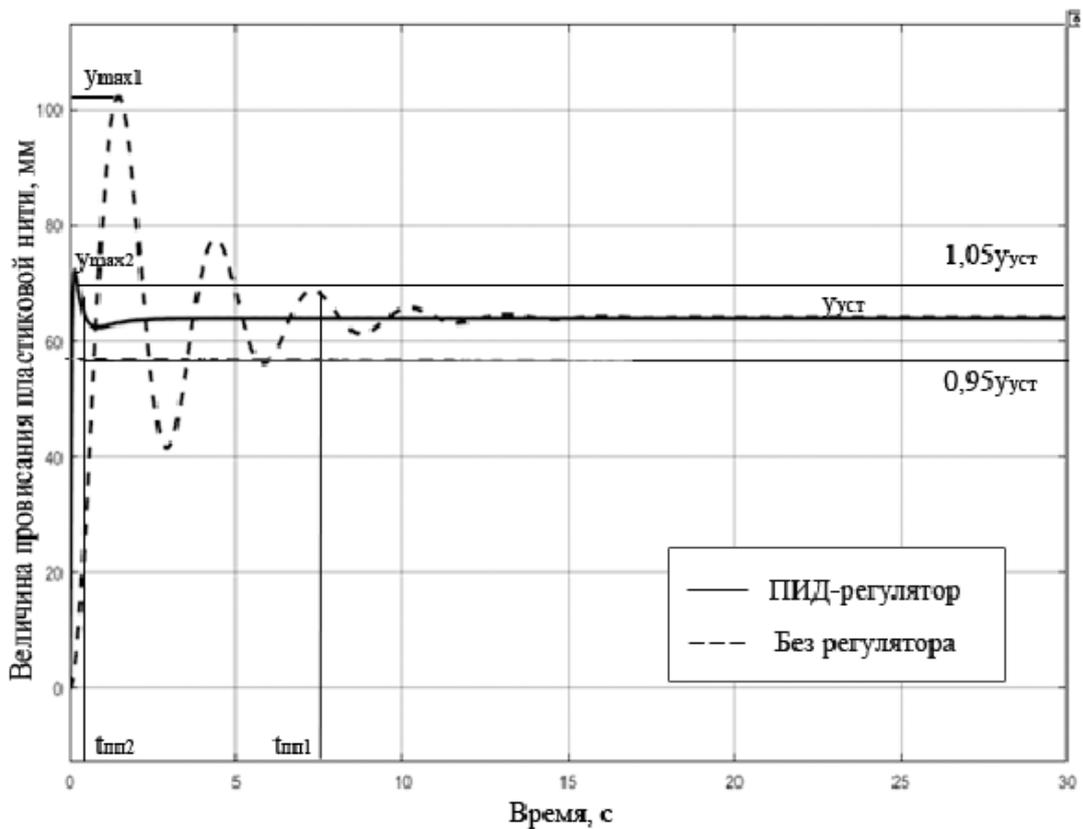


Рисунок 26 – Настройка ПИД-регулятора для системы, управляющей провисанием нити

Сравнение полученных прямых показателей качества с первоначальными также можно увидеть в таблице 7.

Таблица 7

Показатели качества	САУ1		САУ2	
	Без ПИД	С ПИД	БЕЗ ПИД	С ПИД
t_m, c	205	5	7.5	1
$\sigma, \%$	0	1	60.94	9.375

Так как известно, что Д-составляющая делает систему более чувствительной к шуму и помехам было решено ввести в систему также фильтр низких частот, чтобы обработать сигнал.

3.7.3 Фильтр простого скользящего среднего

При обработке поступающего сигнала данные оказались зашумленными. Так как в нашей системе используется ПИД регулятор, внешние помехи могут привести нашу систему в неустойчивое состояние, поэтому был применен алгоритм арифметического скользящего среднего.

Простое (арифметическое) скользящее среднее численно равно среднему арифметическому значений исходной функции за установленный период и вычисляется по формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} P_{t-i} ,$$

где SMA_t – значение простого скользящего среднего в период времени t ; n – интервал сглаживания; P_{t-i} – значение случайной величины на момент $(t-i)$.

Применим данный фильтр к первому контуру нашей системы управления, так как при колебаниях нити сигнал с датчика приходит зашумленным. Если показания будут сильно изменяться, то определение диаметра нити будет некорректным, и мы не сможем достичь требуемой точности в ± 0.05 мм.

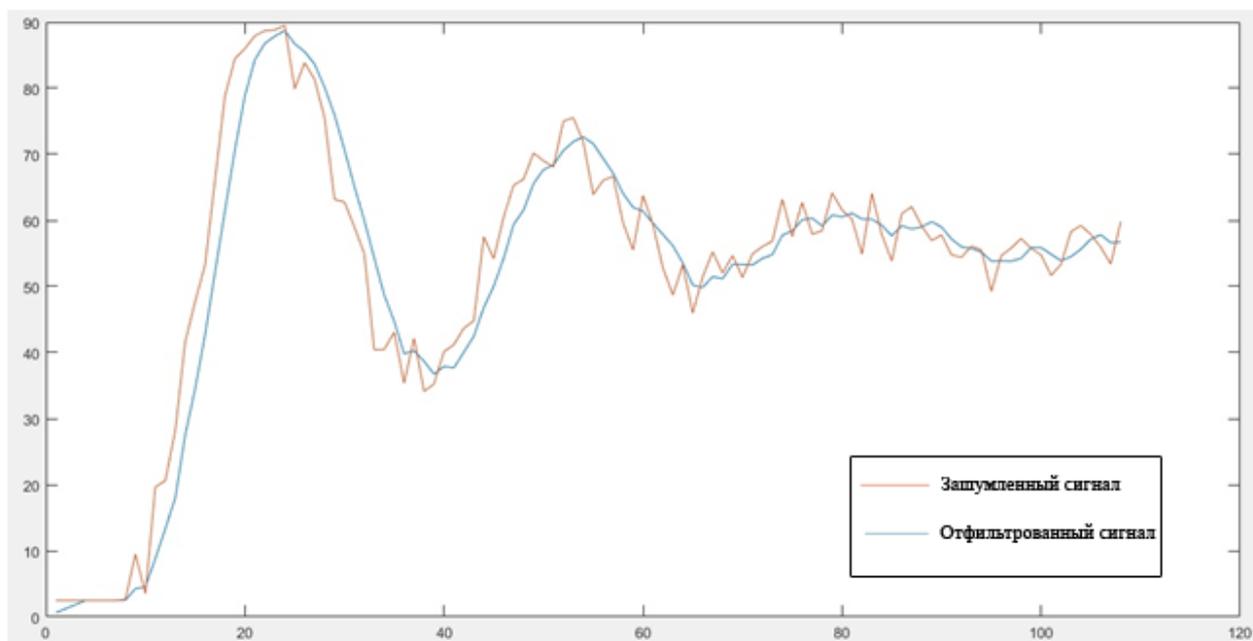


Рисунок 27 – Фильтрация сигнала, поступающего на датчик при измерении провисания нити

Листинг программы представлен ниже:

```
1. for (int i = 0; i < calc_afr_mass_size; i++) {
2. firstArray[i] = firstArray[i+1];
3. }
4. firstArray[calc_afr_mass_size-1] = center;
5. for (int i = 0; i < calc_afr_mass_size; i++) {
6. calc_afr_avg_result += firstArray[i];
7. }
8. calc_afr_avg_result = calc_afr_avg_result/calc_afr_mass_size;
9. center= calc_afr_avg_result;
10. calc_afr_avg_result=0;
```

На основании полученных графиков можно сказать, что система улучшила свои показатели качества. Время переходного процесса в контуре стабилизации диаметра сократилось на 200 с, перерегулирование возросло незначительно. В контуре стабилизации провисания нити время переходного процесса уменьшилось на 6.5 с, а перерегулирование на 51.56 %. Также из графика фильтрации видно, что у системы снизилась зашумленность, а соответственно уменьшилась колебательность.

Таким образом, можно сказать, что система автоматического управления выполняет свои функции, согласно ТЗ, несмотря на внешние возмущения системы. В будущем следует связать два исследуемых контура в одну многоконтурную систему, так как увеличение провисания нити приводит к изменению ее диаметра и наоборот. А также провести дальнейшие исследования для изучения поведения реальной системы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Е41	Дорофеева Мария Геннадьевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Рассчитана общая стоимость всех ресурсов научного исследования, которая составила 361850,5 рублей (с учетом материальных, энергетических, накладных затрат и т.д.).</i>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составлен календарный план НИ. Рассчитаны затраты НИ</i>
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения было рассмотрено два вида исполнения системы и выбрано наиболее выгодное.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Перечень этапов, работ и распределение исполнителей*
4. *Временные показатели НИИ и линейный график работ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов Олег Николаевич	Кандидат экономических наук		01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е41	Дорофеева Мария Геннадьевна		01.03.2018

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке прибора для контроля диаметра композитной нити на выходе экструдера. Данный прибор должен использоваться при производстве полимерных нитей на заводах или при мелкосерийном производстве нити для 3D печати.

Целью данного раздела будет выявление целесообразности данной разработки, а также оценка коммерческого потенциала с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Задачами этого раздела являются выполнение QuaD- и SWOT-анализ, составление плана научного исследования, оценка трудоёмкости и разработка календарного плана, определение контрольных событий научного исследования, а также расчёт бюджета научного исследования и оценка эффективности научного исследования

4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

<i>Критерии оценки</i>	<i>Вес критерия</i>	<i>Баллы</i>	<i>Максимальный балл</i>	<i>Относительное значение (3/4)</i>	<i>Средневзвешенное значение (5x2)</i>
1	2	3	4	5	
<i>Показатели оценки качества разработки</i>					
1.Эффективность контроля	0,1	70	100	0,7	0,07
2.Помехоустойчивость	0,1	90	100	0,9	0,09
3. Точность измерения диаметра	0,15	70	100	0,9	0,135
4. Дизайн прибора	0,05	60	100	0,6	0,03
5. Безопасность	0,05	100	100	1	0,05
6.Простота эксплуатации	0,15	85	100	0,85	0,1275
<i>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</i>					
7.Конкурентоспособность продукта	0,1	80	100	0,8	0,08
8.Перспективность рынка	0,1	60	100	0,6	0,06
9. Цена	0,1	95	100	0,95	0,095
<i>Итого</i>	<i>1</i>				<i>0,7375</i>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

По полученным результатам судят о перспективности и качестве научного исследования. Так как наш результат находится в диапазоне от 60 до 79 (73,75), разработка устройства для контроля диаметра полимерной нити обладает перспективностью выше среднего.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ помогает выявить слабые и сильные стороны проекта, также возможности и угрозы, то есть исследовать данный проект (работу) для внешней и внутренней среды (таблица 9).

Таблица 9 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота эксплуатации</p> <p>С2. Более низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами</p> <p>С3. Использование современных методик контроля</p> <p>С4. Высокая надежность</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невысокое качество аппаратной части</p> <p>Сл2. Точность ниже, чем у зарубежных аналогов</p> <p>Сл3. Низкая функциональность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Добавление функций регулирования процесса производства экструзионной нити</p> <p>В2. Выход на международный рынок</p> <p>В3. Снижение стоимости комплектующих, используемых при научных исследованиях.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса.</p> <p>У2. Улучшение качества экструдеров</p> <p>У3. Ограничение на экспорт прибора</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	0	0	+
	B2	+	+	+	+
	B3	0	+	0	0
	B4	+	+	0	0

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	0	+
	B2	-	-	-
	B3	0	0	0
	B4	0	0	0

Таблица 12– Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	+	0
	У2	-	-	+	+
	У3	-	-	0	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	-	0	0

	УЗ	-	-	0
--	----	---	---	---

Анализ интерактивных таблиц 10 – 13 в виде коррелирующих сторон проекта представлен в итоговой SWOT-матрице (Таблица 14).

Таблица 14 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота эксплуатации</p> <p>С2. Более низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами</p> <p>С3. Использование современных методик контроля</p> <p>С4. Высокая надежность</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невысокое качество аппаратной части</p> <p>Сл2. Точность ниже, чем у зарубежных аналогов</p> <p>Сл3. Низкая функциональность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Добавление функций регулирования процесса 3D печати</p> <p>В2. Выход на международный рынок</p> <p>В3. Снижение стоимости комплектующих, используемых при научных</p>	<p>Низкая стоимость прибора позволит выйти на международный рынок и вкупе с простотой эксплуатации и надежностью позволят завоевать расположение потребителей.</p> <p>Повышение стоимости конкурентных разработок ещё больше укрепит положение на рынке.</p>	<p>Невысокое качество аппаратной части компенсируется низкой стоимостью прибора. Но низкая функциональность и точность в сравнении с зарубежными аналогами могут помешать выходу на международный рынок. Снижение таможенных пошлин и повышение стоимости конкурентных разра</p>

<p>исследованиях.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Использование современных методик контроля выделяет разработку даже на фоне более точных зарубежных аналогов</p>	<p>боток позволят закупать платы в оптовом размере, к тому же по более низким ценам.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса.</p> <p>У2. Улучшение качества экструдеров</p> <p>У3. Ограничение на экспорт прибора</p>	<p>Более низкая стоимость производства при простоте эксплуатации и надежности позволит завоевать отечественный рынок.</p> <p>Использование современных методик контроля позволит даже при улучшении качества экструдеров оставаться на рынке.</p>	<p>Невысокое качество аппаратной части и низкая функциональность могут спровоцировать низкий спрос.</p> <p>Невысокое качество аппаратной части может оказать сильное влияние на потребность в приборе при улучшении экструдеров.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования. В нашем случае число исполнителей равно двум.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ ра б	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Тутов И.А.
	2	Составление и утверждение ТЗ	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
	3	Разработка календарного плана	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
Теоретические исследования	4	Подбор и изучение материалов по теме	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
	5	Обсуждение литературы и написание теоретической части	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
Разработка технической документации и проектирование	6	Разработка методики тестирования датчика	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
	7	Разработка структурной схемы	Дорофеева М.Г.
	8	Разработка принципиальной схемы	Дорофеева М.Г.
	9	Разработка алгоритма для последующего написания кода	Дорофеева М.Г.
	10	Выбор и заказ деталей для проектирования устройства	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
	11	Разработка программного обеспечения для реализации устройства	Дорофеева М.Г.

	12	Проведение экспериментальных исследований	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.
Оформления отчета по НИР	13	Оценка результатов, подведение итогов и оформление работы	Дорофеева М.Г. Тутов И.А.

4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном пункте будет рассчитана продолжительность этапов. Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

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

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для выполнения работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях (T_{pi}) ведется по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.
 $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования будет использована диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

На 2018 год коэффициент календарности равен:

$$T_{\text{кал}} - 365 \text{ дней};$$

$$T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}} - 118 \text{ дней};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.478$$

В таблице 16 приведены результаты определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР-100%	2	7	4	4	–	5	-
Составление и утверждение ТЗ	НР-80%, И-20%	5	7	6	5	1	6	1
Разработка календарного плана	НР-70%, И-30%	1	3	2	1	1	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	НР-10%, И-90%	15	21	17	2	15	2	18

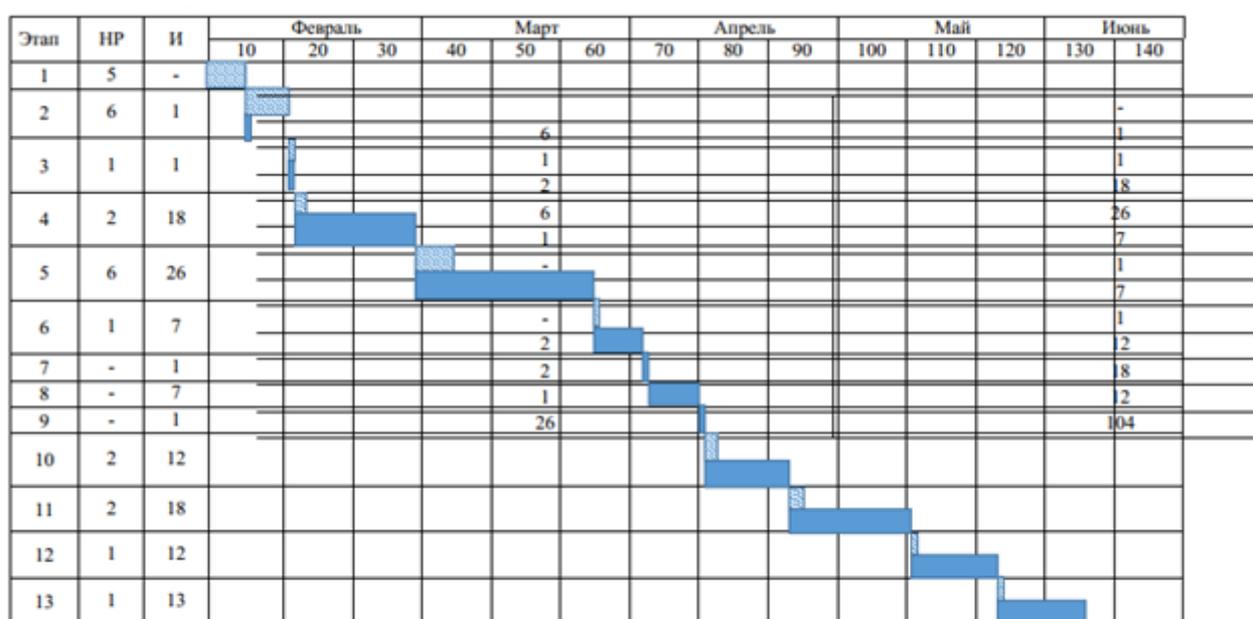
Обсуждение литературы и написание теоретической части	НР-20%, И-80%	21	35	27	5	22	6	26
Разработка методики тестирования датчика	НР-20%, И-80%	5	10	7	1	6	1	7
Разработка структурной схемы	И-100%	1	2	1	–	1	-	1
Разработка принципиальной схемы	И-100%	5	7	6	–	6	-	7
Разработка алгоритма для последующего написания кода	И-100%	1	2	1	–	1	-	1
Выбор и заказ деталей для проектирования устройства	НР-20%, И-80%	10	14	12	2	10	2	12
Разработка программного обеспечения для реализации устройства	НР-20%, И-80%	15	20	17	2	15	2	18
Проведение экспериментальных исследований	НР-10%, И-90%	8	15	11	1	10	1	12

Оценка результатов, подведение итогов и оформление работы	НР-10%, И-90%	10	15	12	1	11	1	13
Итого		99	158	123	24	99	27	117

Научный руководитель (НР) – Тутов И.А., старший преподаватель
отделения ОАР ИШИТР

Инженер (И) – Дорофеева М.Г., студент ТПУ

Таблица 17 – Линейный график работ



Дата начала выполнения ВКР – 1.02.2018. Ожидаемая дата окончания работ над ВКР – 06.06.2018

Научный руководитель - ■
Инженер - ■

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В состав затрат, необходимых для реализации проекта включены:

- Материальные затраты;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей;
- Затраты на специальное оборудование для НИ;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 18 - Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	300	1 уп.	300
Плата с STM микроконтроллером	1340	1 шт.	1340
Датчики	787	2 шт.	1574
Монтажная плата	390	1 шт.	390
Соединительные провода (набор)	350	1 шт.	350
Итого:	3954		

4.2.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает расчет оплаты труда научному руководителю и инженеру, а также ежемесячно выплачиваемой премии в размере 12-20% от оклада.

Согласно приказу ректора ТПУ от 20.05.2016 ежемесячный оклад для ассистента составляет 17000 рублей без районного коэффициента (ПК=1.3).

Таким образом заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 рабочих дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени -отпуск - невыходы по болезни	24 10	48 20

Действительный годовой фонд рабочего времени	213	179
--	-----	-----

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;
 $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});
 k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,12 – 0,15;
 k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	Z_{tc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	СП	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1395,8	27	37686,6
Инженер	-	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1486	117	173866
Итого $Z_{осн}$	211552,6								

4.2.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Для расчетов примем $k_{доп}=0,12$.

$$Z_{доп-НР} = 4522,4 \text{ руб.}, Z_{доп-И} = 20863,9 \text{ руб.}$$

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) = 30%.

Таблица 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды
Научный руководитель	37686,6	4522,4	12662,7
Инженер	173866	20863,9	58419

4.2.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = 311974.6 \cdot 0.16 = 49915.9 \text{ руб}$$

4.2.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
1. Материальные затраты НТИ	3954	1,09
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	211552,6	58,46
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25386,3	7,02
4. Отчисления во внебюджетные фонды	71041,7	19,64
5. Накладные расходы	49915,9	13,79
6. Бюджет затрат НТИ	361850,5	100

Итого, общий бюджет затрат составляет 361850,5 рублей. Основную его долю составили затраты по основной з/п (~60%) и отчисления во внебюджетные фонды (~20%). Наименьшую долю затрат составили материальные затраты НТИ (~1%).

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

На сегодняшний день, на российском рынке не представлено производство устройств, предназначенных именно для контроля диаметра полимерных нитей. Тем не менее, большие концерны могут позволить себе

установку дорогих приборов, предназначенных для контроля диаметров в кабельной промышленности.

Разработанный прибор позволит производить качественные расходные материалы для 3D принтеров не только большим компаниям, но и мелким предпринимателям, а также любителям 3D моделирования. Основной упор при разработке сделан на бюджетность и простоту использования устройства.

Результаты анализа показали, что перспективность разработки устройства для контроля диаметра композитных нитей выше среднего и стремится к высокой. По оценкам внутренних и внешних факторов (SWOT-матрицы) проекта видно, что данный прибор будет конкурентоспособным как на отечественном, так и на зарубежном рынке в силу своей низкой стоимости.

Также был составлен план научного исследования, произведена оценка трудоёмкости, разработан календарный план, и составлен расчёт бюджета научного исследования. При относительно невысоких временных и финансовых затратах на разработку прибора, материальные затраты и затраты на специальное оборудование также невелики.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Е41	Дорофеева Мария Геннадьевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объектом исследования является устройство для управления скоростью привода намотчика мобильной экструзионной установки при отклонении диаметра полимерной нити. Система управления состоит из фотодиодной линейки, рассеивающей линзы, микроконтроллера, точечного источника света. Рабочей зоной является место за персональным компьютером и доступом к осциллографу и паяльной станции. А также в ООО «Современные технологии», где располагается собранная экспериментальная установка. Данное устройство предполагается использовать на предприятии, занимающемся изготовлением полимерной нити для 3D-печати.</i></p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • уровень шума; • показания микроклимата; • выделение вредных веществ; • нервно-психические перегрузки. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • механические опасности (источником является двигатель постоянного тока); • термические опасности (повышенная температура поверхностей); • электробезопасность (источником является ПК, микроконтроллер, двигатель постоянного тока);
---	---

<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие объекта на атмосферу: экструзионная установка выделяет токсичные газы при плавлении пластмассы, но сама система управления вредного воздействия не оказывает. Воздействия объекта на гидросферу также не происходит.</p> <p>Воздействие объекта на литосферу: образование отходов при пайке, при утилизации микроконтроллера и комплектующих ПК, а также бытовые офисные отходы, люминесцентные лампы.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем месте, является возникновение пожара.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Требования и мероприятия к организации рабочего места в условиях работы с ПЭВМ, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна	-		01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е41	Дорофеева Мария Геннадьевна		01.03.2018

5 Социальная ответственность

5.1 Производственная безопасность

Исследуя объект, рассматриваются производственные условия на рабочем месте, которое характеризуется наличием некоторых опасных и вредных факторов (ГОСТ 12.0.002-2014 «ССБТ. Термины и определения»), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизиологические (ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»):

Таблица 23 – Опасные и вредные факторы при управлении параметром экструзионной установки

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Управление параметром экструзионной установки	1. Выделение вредных веществ; 2. Повышенный уровень шума; 3. Отклонение показаний микроклимата; 4. Нервно-психические перегрузки	1. Механическая опасность 2. Повышенная температура поверхностей оборудования; 3. Поражение электрическим током.	1. СанПиН 2.2.4-548-96; 2. СНиП 23-05-95; 3. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ; 4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ.

Вредные факторы

1. Выделение вредных веществ

При комнатной температуре ABS не представляет угрозы здоровью, при нагревании пластика выделяются пары акрилонитрила – ядовитого соединения, способного вызвать раздражение слизистых оболочек и отравление. Хотя объемы производимого акрилонитрата при маломасштабном производстве полимерной нити незначительны, рекомендуется заниматься производством

пластиковой нити в хорошо проветриваемых помещениях или предусмотреть вытяжку. Что касается нашей работы, то при экструзии материала, независимо от того, что воздействие на материал происходит при более низкой температуре, порядка 250-260°C, все равно выделяется небольшое количество вредных веществ. Они не токсичны, однако их вдыхание тошноту или головокружение, а вот постоянное вдыхание может привести к серьезным последствиям, поэтому в любом случае работу с данным материалом необходимо проводить в хорошо проветриваемом помещении с хорошими вытяжками. Полная безопасность материала наступает через 30 минут после остывания.

По ГН 2.2.5.1313–03 для акрилонитрила (С3Н3N), которые входит в состав ABS пластика:

- Величина предельно допустимая концентрация: 5 мг/м³;
- Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства: а - аэрозоль;
- Класс опасности: неопасное.

2. Повышенный уровень шума

Основным источником шума на производстве являются вентилятор блока питания экструзионной установки, электромотор шнекового экструдера, электромотор намотчика. Уровень шума при производстве полимерной нити составляет 76 дБА (измерено с помощью программы Audacity), что не превышает допустимого уровня шума для помещения с шумным оборудованием (по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 предельный уровень шума при легкой физической нагрузке и легкой напряженности трудового процесса не должен превышать 80 дБА. Зоны с уровнем звука выше 85 дБ следует обозначать знаками безопасности. Работающих в этой зоне администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты).

3. Отклонение показаний микроклимата

Экструзионная установка является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В СанПиН 2.2.4-548-96 установлены

величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (см. табл. 2).

Таблица 24 - Оптимальные параметры микроклимата для помещений, где установлена экструзионная установка

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении	22...24 °С
	Относительная влажность	40...60 %
	Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23...25 °С
	Относительная влажность	40...60 %
	Скорость движения воздуха	0,1...0,2 м/с

Объем помещений, в которых размещены работники вычислительных центров, не должен быть меньше 19,5 м³/человека с учетом максимального числа одновременно работающих в смену. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположена экструзионная установка, приведены в табл. 3.

Таблица 25 - Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположена экструзионная установка

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20...40 м ³ на человека	Не менее 20

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства (вентиляция, кондиционирование воздуха, отопительная система).

4. Нервно-психические перегрузки

«Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибки» - указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или целого коллектива, что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

Студент несет ответственность только за выполнение своей работы, но в случае ошибки дополнительные усилия производятся как с его стороны, так и со стороны научного руководителя. Таким образом, по данному критерию нагрузка относится к классу 2.

«Степень риска для собственной жизни». Мерой риска является вероятность наступления нежелательного события, которую с достаточной точностью можно выявить из статистических данных производственного травматизма на данном предприятии и аналогичных предприятиях отрасли. Степень риска невелика, так как все установки в лаборатории заземлены, а кроме того имеется УЗО (устройство защитного отключения). Класс 1.

«Ответственность за безопасность других лиц». Студент не несет прямой ответственности за безопасность других лиц, поэтому класс 1.

«Количество конфликтных производственных ситуаций за смену». Конфликтные ситуации отсутствуют – класс 1.

Опасные факторы

1. Механическая опасность

Предотвращение механической опасности – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и животных от опасного механического воздействия агрегата.

Экспериментальная установка при разработке имеет открытую вращающуюся часть — валы двигателей. Подобные конструкции несут дополнительную опасность травматизма, по этой причине была разработана памятка, которой следует придерживаться при работе за стандом:

1. Пространство, где стоит установка, должно быть свободно от посторонних предметов (сумок, верхней одежды и прочего).

2. Запрещается склоняться над работающей установкой.

3. Запрещается пользоваться стандом в верхней одежде, шарфе, платке на шее, наушниках и в других вещах, которые могут быть намотаны на вращающийся вал двигателей;

4. Обладателям длинных причёсок предписано следить за волосами, не допускать их попадания на вал.

5. Нахождение детей и животных вблизи установки категорически запрещено;

6. Запрещается останавливать вращающийся вал руками.

Т.к. двигатель обладает малой мощностью и моментом, сравнительно небольшой скоростью вращения, а круг лиц, использующих станд жестко ограничен, то установки защитного кожуха на вал не потребовалось. При необходимости увеличить механическую безопасность — после завершения разработки и введении установки в рабочий режим, вал следует закрыть для доступа.

Еще одними элементами станда, обладающими повышенной механической опасностью, являются вентиляторы принудительного охлаждения двигателей. Для устранения возможности получения травм на них установлены защитные металлические кожухи.

2. Повышенная температура поверхностей

Так как в конструкции присутствует нагреваемая рабочая поверхность и процесс экструзии происходит при температурах более 200°C, то это может привести к негативному воздействию на человека, в том числе и в виде ожогов.

Таким образом, данный фактор можно отнести к пункту 5.6 ГОСТ 12.0.003 – 2015 «Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека». Для того, чтобы избежать опасного воздействия, следует следить за показанием датчика температуры на экране шнекового экструдера и взаимодействовать с ним только при температуре ниже 40°C.

3. Поражение электрическим током

Для питания платы STM32F303VC и соответственно двигателя постоянного тока и фотодиодной линейки. Созданный источник постоянного тока подключается к источнику напряжения 5 В. Таким образом, неумышленное прикосновение к контактам, на которых имеется соответствующая разность потенциалов, при сопротивлении тела человека около 10 кОм, приведет к протеканию тока, равного 0,5 мА, что является пороговым ощутимым и может испугать человека и причинить механические травмы.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.
- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;

5.2 Экологическая безопасность

Защита атмосферы. Экструзионная установка сама по себе является источником выделения ядовитых паров акрилонитрила в атмосферу, но проектируемая система управления вредного воздействия на атмосферу не оказывает. Более того, система управления призвана улучшить качество производства экструзионной нити, а значит уменьшить количество повторной переработки пластика.

Защита литосферы. В ходе выполнения данной работы негативное воздействие оказывается на литосферу. В процессе деятельности предприятия образуются отходы, которыми являются устаревшее или неисправное оборудование, а также твердые бытовые отходы. То есть перегоревшие люминесцентные лампы, отходы от офисных помещений, бытовые отходы, смет с территории, товарная упаковка, комплектующие ПК и др.), для которых по действующему законодательству необходимо разрабатывать паспорта отходов. Самые распространенные способы ликвидации отходов:

- 1) Складирование на полигоне
- 2) Сжигание на мусоросжигающих заводах
- 3) Аэробное биотермическое компостирование
- 4) Утилизация

Немаловажным является продуманная утилизация неисправного и устаревшего оборудования или деталей установки для исключения вреда окружающей среде.

Процедура утилизации состоит из следующих этапов:

- 1) Снятие оборудования с бухгалтерского баланса учреждения
- 2) Передача списанной техники в компанию по утилизации
- 3) Формирование пакета документов на утилизацию оборудования

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации делятся на конфликтные и бесконфликтные. К конфликтным ЧС относятся войны, экономические кризисы, террористические акты и др. К бесконфликтным можно отнести техногенные и природные явления, вызывающие ЧС.

Наиболее вероятная техногенная ситуация – пожар. Пожар на производстве может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся:

- 1) Неисправность производственного оборудования и нарушение технологического процесса;

2) Халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);

3) Неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;

4) самовоспламенение или самовозгорание веществ.

К причинам электрического характера относятся:

1) Короткое замыкание;

2) Перегрузка проводов;

3) Большое переходное сопротивление;

4) Искрение;

5) Статическое электричество.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. В рабочем помещении присутствуют материалы, содержащие твердые волокнистые горючие вещества, не выделяющие горючую пыль или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Таким образом, данное помещение относится к категории Д.

Для уменьшения вероятности возникновения пожара на рабочем месте необходимо проводить следующие комплексы противопожарной защиты:

1) Повышать огнестойкость здания.

2) Использовать негорючие материалы при работе.

3) Оснащение эвакуационных путей в соответствии с требованиями.

4) Проведение инструктажей по пожарной безопасности.

5) Использование исправного оборудования.

6) Наличие средств пожаротушения.

7) Наличие огнетушителей.

Требования к системам предотвращения пожара, а также организационно-технические мероприятия описываются ГОСТ 12.1.004-91.

К организационно-техническим мероприятиям относятся:

1) Организация пожарной охраны.

2) Привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной

безопасности.

3) Разработка норм и инструкций.

4) Нормирование численности людей по условиям пожаробезопасности.

В качестве системы оповещения на рабочем месте используется речевая система оповещения. Так же в аудитории находится огнетушитель типа ОУ-8 для ликвидации возгораний, инструкция при возникновении пожара. План эвакуации представлен на рисунке 28:

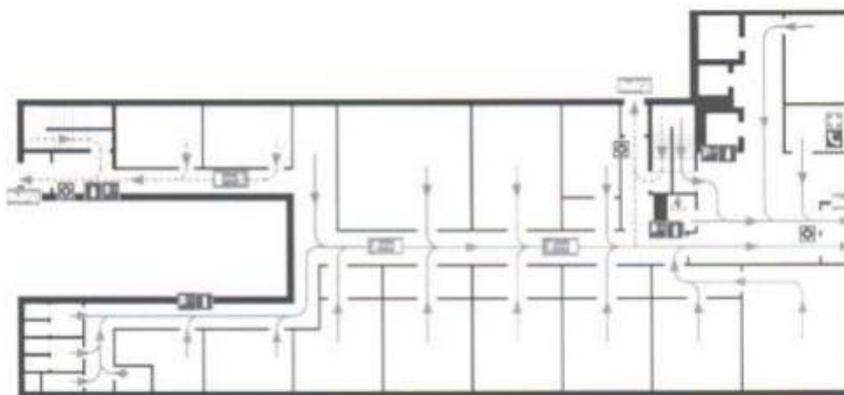


Рисунок 28 – План эвакуации

При возникновении пожара или признаков горения работник должен немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по номеру «01», сообщив адрес, место возникновения возгорания и свою фамилию.

Отключить от сети электрооборудование. Приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения. При общем сигнале опасности сотрудник должен покинуть здание, согласно эвакуационному плану.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организация и оборудование рабочего места согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03:

1. При размещении рабочих мест с ПЭВМ (персональной электронно-вычислительной машиной) расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и

экран другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

2. Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

3. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

4. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

5. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

6. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

7. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

8. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

9. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует

считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

10. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

11. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и

углов

наклона вперед до 15° и назад до 5° ;

– высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;

– угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;

– регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 – 400 мм;

– стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50 - 70 мм;

– регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

12. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20° . Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

13. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Заключение

В результате выполненной работы была разработана система управления скоростью привода намотчика, обеспечивающая контроль и поддержание заданного диаметра пластиковой нити.

Была описана конструкция исследуемой системы и ее характеристики. Также была разработана функциональная и структурная схема устройства, осуществлен обоснованный выбор компонентов этой схемы и анализ их совместимости, разработана электрическая принципиальная схема. Для измерения и регистрации диаметра пластиковой нити, и провисания ее относительно центра фотодиодной линейки была осуществлена разработка алгоритма управления устройством. Также была получена математическая модель объекта, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB&SIMULINK для анализа САП, проведен синтез системы, настроен ПИД-регулятор и фильтрация сигнала методом простого скользящего среднего.

Список использованной литературы

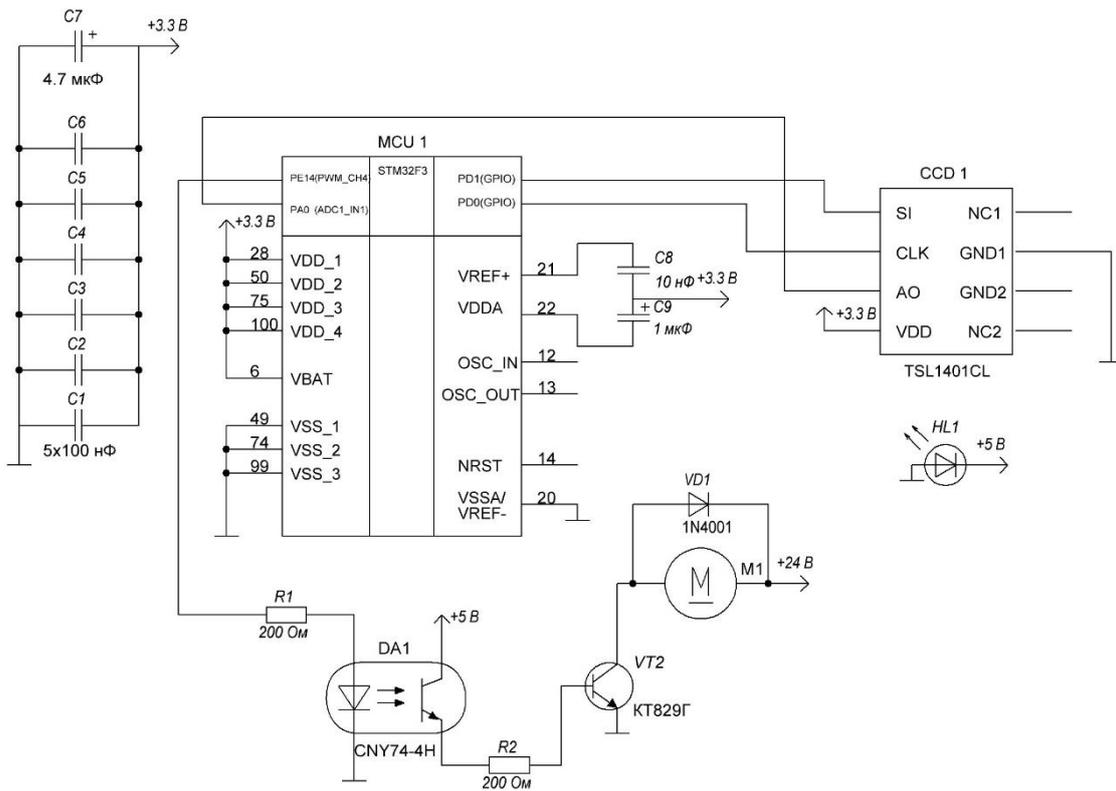
1. Gerrit Coetzee. Filament thickness sensors, what are they and what are they good for? [Электронный ресурс]. URL: <https://hackaday.com/2016/02/05/filament-thickness-sensors-what-are-they-and-what-are-they-good-for>. (Дата обращения: 8.12.2017).
2. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. М.: "Горячая линия-Телеком", 2004, 143 с.
3. ГОСТ 30041-93 Сигареты и фильтры. Определение номинального диаметра. Пневматический метод
4. Гаврильев А.Л., Берчук Д.Ю., Журавлев Д.В. Автоматизированная система управления экструзионной установкой. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
5. ENCE GmbH. Экструзия. Экструдеры. Экструзионные линии: [Электронный ресурс]. URL: http://ence-gmbh.ru/polymer_description_and_processing/extruding_machines. (Дата обращения: 11.01.2018).
6. Электропривод. Мотор-редуктор SF6551: [Электронный ресурс]. URL: <http://electroprivod.ru/sf6551.htm>. (Дата обращения: 11.12.2017).
7. AMS. TSL1401 Linear Array Sensor: [Электронный ресурс]. URL: <http://ams.com/eng/Products/Light-Sensors/Linear-Array/TSL1401CL>. (Дата обращения: 8.11.2017).
8. Управление мощной нагрузкой: [Электронный ресурс]. URL: <https://velikodniy.github.io/2017/01/06/power-control>. (Дата обращения: 10.05.2018).
9. DIGITRODE.RU. Двигатели постоянного тока и управление ими с помощью широтно-импульсной модуляции. Часть 1: [Электронный ресурс]. URL: <http://digitrode.ru/articles/19-dvigateli-postoyannogo-toka-i->

[upravlenie-imi-s-pomoschyu-shirotno-impulsnoy-modulyacii-chast-1.html](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f2/1f/e1/41/ef/59/4d/50/DM00058181.pdf).

(Дата обращения: 11.04.2018).

10. Спецификация микроконтроллера STM32F3 [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f2/1f/e1/41/ef/59/4d/50/DM00058181.pdf> (Дата обращения: 25.04.2017)
11. ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения.
12. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.
13. ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем
14. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
15. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
16. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
17. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
18. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров
19. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Приложение А



					ФЮРА.421445.001 ЭЗ		
					Схема электрическая принципиальная ПМЭУ		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Дорофеева М.Г.			Э		
Провер.		Тупов И.А.					
Т. контр.					Лист 1		Листов 1
Реценз.					ТПУ		ИШИТР
Н. контр.					Группа		8Е41
Утверд.							

Приложение В

Листинг программы

```
1. import processing.serial.*;
2. import java.io.BufferedWriter;
3. import java.io.FileWriter;
4. float [] PixelArray = new float[128] ;
5. String outFilename = "out.txt";
6. int i = 0;
7. Serial myPort;
8. void setup() {
9. size(128, 70);
10.println(Serial.list());
11.myPort = new Serial(this, "COM5", 115200);
12.myPort.bufferUntil('\n');
13.}
14.void draw() {
15.for (i = 0; i < 128; i ++) {
16.stroke(PixelArray[i]);
17.line(i, 0, i, 70);
18.}
19.}
20.void serialEvent(Serial myPort) {
21.String inString = myPort.readStringUntil('\n');
22.if (inString != null) {
23.inString = trim(inString);
24.float[] colors = float(split(inString, " "));
25.if (colors.length >=129) {
26.for (i = 0; i < 128; i ++) {
27.PixelArray[i] = map(colors[i], 0, 255, 0, 255);
28.}
29.String [] list =str(float(split(inString, " ")));
30.for(i = 0; i < 129; i++){
31.appendTextToFile("numbers.txt", list[i]);
32.}
33.println(colors[128]);
34.}
35.}
36.}
37.void appendTextToFile(String filename, String text){
38.File f = new File(dataPath(filename));
39.if(!f.exists()){
40.createFile(f);
41.}
42.try {
43.PrintWriter out = new PrintWriter(new BufferedWriter(new FileWriter(f, true)));
44.out.println(text);
45.out.close();
46.}catch (IOException e){
47.e.printStackTrace();
48.}
49.}
50.void createFile(File f){
51.File parentDir = f.getParentFile();
52.try{
53.parentDir.mkdirs();
54.f.createNewFile();
55.}catch(Exception e){
56.e.printStackTrace();
57.}
58.}
```

Приложение Г

Блок-схема работы программы

