

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование и разработка устройства контроля диаметра композитной нити на выходе экструдера

УДК 678.073:678.057

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д31	Генке Елизавета Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Щаденко С.В.	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Ю.И.	—		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Губарев Ф.А.	к.ф.-м.н.		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте биомедицинской и экологической техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности

P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Ф.А. Губарев
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Д31	Генке Елизавете Андреевне

Тема работы:

Разработка и проектирование устройства контроля диаметра композитной нити на выходе экструдера	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	799/с от 09.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом проектирования является устройство контроля диаметра композитных нитей с использованием метода затенения. Режим работы — периодический; Напряжение питания — 5 В. В качестве датчика изображения использовать линейную ПЗС матрицу TSL1401. Для управления датчиком использовать микроконтроллер AVR328 (система Arduino UNO). Обеспечить точность измерения нити в 50 мкм. Условия эксплуатации — производственные. Вес лабораторного макета — не более 10 кг.</i></p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<p><i>Литературный обзор; Разработка структурной схемы устройства; Разработка принципиальной схемы устройства; Написание программы для микроконтроллера; Полученные результаты; В качестве дополнительных разделов: - социальная ответственность; - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Заключение;</i></p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Чертёж обций принципиальной схемы Перечень элементов Презентация</i></p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шулинина Ю.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Щаденко С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д31	Генке Е.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 с., 12 рис., 20 табл., 30 источников, 2 прил.

Ключевые слова: экструзия полимерных нитей, 3D печать методом послойного наплавления, ПЗС матрица, контроль.

Объектом исследования является устройство контроля композитных нитей на выходе экструдера.

Цель работы – разработка бесконтактного устройства контроля диаметра композитной нити на выходе экструдера на основе линейной ПЗС матрицы.

В процессе исследования проводились литературный обзор, разработка принципиальной схемы устройства для управления датчиком, написание программы для управления датчиком с микроконтроллера.

В результате исследования внедрение устройства на производстве.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: условия эксплуатации – лабораторные; Режим работы — периодический; Напряжение питания — 5 В. В качестве датчика изображения использовать линейную ПЗС матрицу TSL1401. Для управления датчиком использовать микроконтроллер AVR328 (система Arduino UNO). Обеспечить точность измерения нити в 50 мкм. Условия эксплуатации — производственные. Вес лабораторного макета — не более 10 кг.

Степень внедрения: лабораторный макет.

Область применения: экструзия полимерных нитей

Экономическая эффективность/значимость работы Экономическая эффективность/значимость работы: конкуренция среди российских производителей отсутствует, существующие зарубежные аналоги имеют высокую стоимость.

В будущем планируется увеличить точность измерения диаметра нити, усовершенствовать механизм подбора параметров экструзии.

Оглавление

Введение	12
1. Обзор литературы	13
1.1 3D биопринтинг	13
1.2 Разработка устройства для контроля диаметра нити	14
1.3 Обзор подходов к контролю диаметра нити	15
2. Объект и методы исследования	21
2.1 Датчик TSL1401	21
2.2 Лазер	23
2.3 Микроконтроллер	24
3. Расчеты и аналитика	25
3.1 Влияние нестабильности диаметра нити на качество 3D печати	25
3.2 Влияние нестабильности параметров экструзии на диаметр нити	27
4 Результаты разработки	31
4.1 Алгоритм	31
4.2 Программа обработки данных с сенсора	35
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	45
6. Социальная ответственность	60
Заключение	71
Список использованных источников	72
Приложение А. Перечень элементов	76
Приложение Б. Принципиальная схема	77

Введение

Полимеры являются перспективными материалами для использования во многих сферах деятельности человека. Они находят своё применение в производстве предметов быта и электронных компонентов, в медицине и т.д.. Одним из методов производства изделий из полимеров является 3D печать. Наиболее распространенным методом 3D печати является FFF (Fused Filament Fabrication) – метод послойного наплавления, где используется пластиковая нить, от свойств которой зависит качество конечного продукта.

При некачественном расходном материале ухудшается качество модели и также 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. Известные зарубежные приборы для контроля процесса экструзии, как правило, имеют очень высокую цену, либо не обеспечивают заданной точности.

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.

1. Обзор литературы

1.1 3D биопринтинг

Тканевая инженерия является одним из наиболее бурно развивающихся направлений биоинженерии. Во многом, такое развитие связано с появлением технологии 3D биопринтинга. Эта технология заключается в использовании технологий 3D печати для получения матриц для выращивания клеток, систем доставки лекарств, тканей и органов.

Различные методы 3D печати могут быть использованы в 3D биопринтинге. Их краткое описание, достоинства и недостатки описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Описание видов 3D печати [1]

Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
Inkjet/binder 3D печать	Раствор связывающего вещества распределяют из сопла на порошковый слой, связывая порошок вместе в определенных местах	Возможна печать при комнатной температуре; Не нужны опоры	Низкое разрешение; Связывающий раствор может оказаться цитотоксичным
Селективное лазерное спекание	Спекание порошкового материала производится лазером в определенных местах	Высокое разрешение; Не нужны опоры	Из-за лазера происходит локальное разогревание
Экструзия расплава (послойное наплавление нитей)	Расплавленный термопластик подается через сопло на платформу	Высокое разрешение; Простой и самый распространенный метод; Большой выбор материалов для печати	Нужны искусственные опоры (для нависающих структур) Печать требует высоких температур

Ключевыми преимуществами послойного наплавления являются высокая пористость и хорошая механическая прочность, что особенно важно при создании матриц. При создании клеточных матриц огромное значение имеет структура на макро-, микро- и наноуровне [2]. Макроструктура представляет собой общую форму матрикса, которая может быть сложной (учитывая специфичность пациента и органа, анатомические особенности). Микроархитектура отражает структуру ткани (например, размер пор, их форма,

общая пористость, пространственное распределение и взаимосвязь пор). Наноархитектура представляет собой модификацию поверхности (что может влиять, например, на адгезию клеток, их пролиферацию и дифференцировку).

3D биопринтинг в перспективе делает возможным производство сложных биомедицинских устройств в соответствии с компьютерным дизайном с использованием анатомических данных пациента [2]. Рост общественного интереса и доступа к недорогим 3D принтерам может дать толчок для персонализированной регенеративной медицины. Но для регенерации сложных тканей (например, кости, хряща, мышц, сосудов) и сложных органов с сложной трехмерной структурой (например, печени), несколько технологических проблем должны быть решены. Одной из таких проблем является нестабильность и появление погрешностей при печати.

1.2 Разработка устройства для контроля диаметра нити

Экструзия (от лат. *extrusio* – выталкивание) – технологический процесс, который применяют для непрерывного производства изделий высокого качества, точных размеров, с требуемой точностью [3]. Обычно используется при формовке полимеров, ферритовых изделий, а также в пищевой промышленности, путём продавливания формуемого вещества через формующее 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-принтерам используется экструдер, устройство которого приведено на рисунке 1.

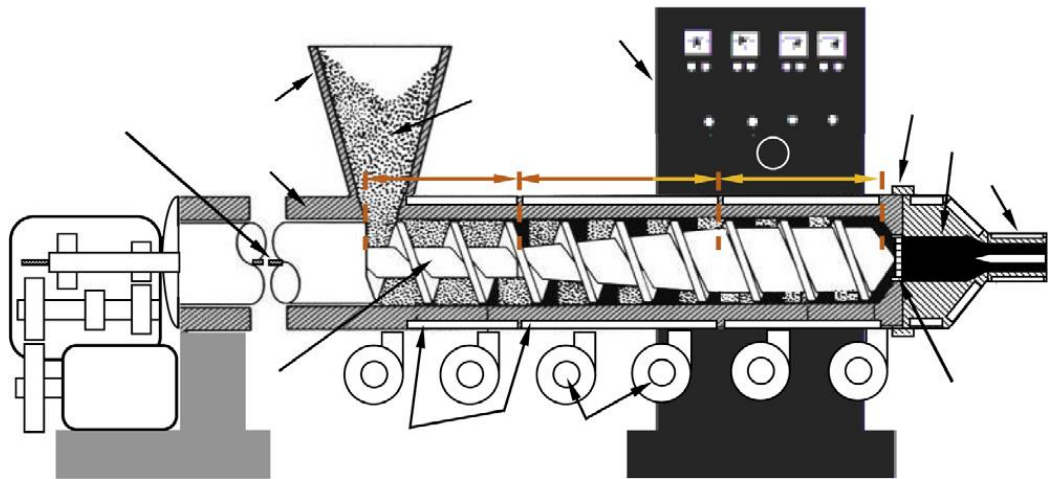


Рисунок 1 – Установка экструдера [4]

Он состоит из электродвигателя, редуктора, подшипникового узла, загрузочного устройства, корпуса, нагревательного элемента, шнека и экструзионной головки.

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 [5].

1.3 Обзор подходов к контролю диаметра нити

В связи с возникающими сложностями при наблюдении за характеристиками выходного материала в реальном времени зачастую контролируются температура и давление. Контроль температуры позволяет избежать флуктуаций свойств экструдированного материала. Причём возможно многочисленные варианты построения контроллеров. Общая схема устройства по контролю процесса приведена на рисунке 2.

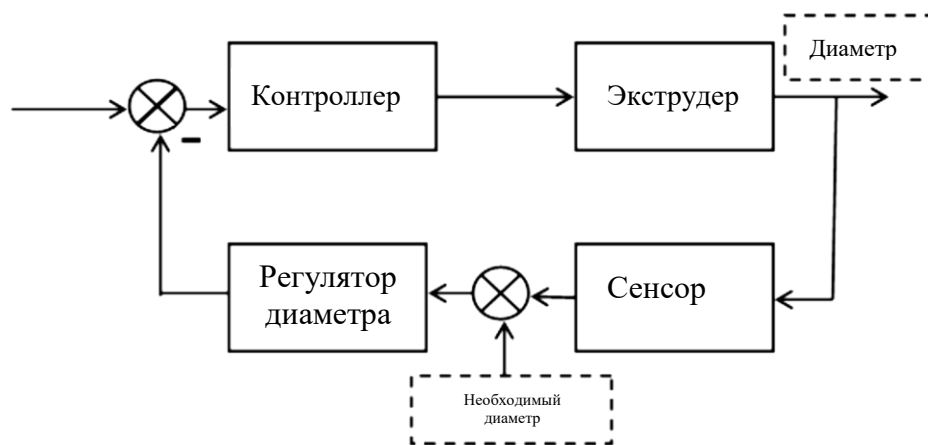


Рисунок 2 – Схема контроля диаметра нити

Можно выделить следующие типа регулирования:

1) Дискретное управление

Реакция системы является периодической (например, попеременное включение/выключение нагревателя). Потребляемая мощность может быть значительно снижена при использовании такого метода [6].

2) Контроль с помощью преобразования Лапласа и временных рядов

В основном, для регуляции процесса экструзии в производстве применяются ПИ- и ПИД-регуляторы [7]. Эти регуляторы позволяют изменять реакцию системы на ступенчатое воздействие, уменьшая колебательность процесса и влияя на устойчивость системы. Существенным недостатком является необходимость определения передаточной функции для построения передаточной функции регулятора.

3) Использование нечёткой логики

Нечёткая логика базируется на понятии нечетких множеств, введенном Лютфи Заде в 1965 году [8]. 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 [9]. 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) Машинное обучение

Машинное обучение включает в себя множество техник, имеющих цель в конечном счёте решить проблему классификации, регрессии, подбора оптимального алгоритма и т.п. Различают обучение с учителем, без учителя, а также обучение с подкреплением (Reinforcement learning). Данная группа методов позволяет строить регуляторы без знания точной модели системы, что является их неоспоримым преимуществом.

5) Нейронные сети

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.

б) 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 (дискретные 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. Исследования также показали, что комбинированные системы показывают очень хорошие результаты [10].

Методы измерения диаметра

Все методы измерения диаметра можно разделить на две подгруппы: контактные и бесконтактные методы. В первую подгруппу входят методы,

измеряющие механические, пневматические или электромеханические свойства. Они требуют контакта с измеряемым объектом, а потому в некоторых случаях неприменимы.

Виды контактных измерений:

- Измерение с помощью калибров
- Измерение с помощью механических микрометров
- Измерение с помощью электронных микрометров

Виды бесконтактных измерений:

- Измерение с помощью емкостных датчиков
- Измерение с помощью индуктивных датчиков
- Измерение с помощью оптических датчиков
- Пневматический метод

Экструзия полимерных нитей предполагает, что сразу на выходе температура нити приблизительно равна 120 градусам, 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. Рассмотрим далее некоторые из них.

1) Пневматический метод

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.

2) Оптические датчики

Одним из самых обширных и перспективных методов является использование оптических датчиков для приборов измерения диаметра. Довольно большое разнообразие техник позволяет проектировать устройства, которые подходят для широкого класса задач.

В качестве светочувствительного элемента возможно использование ПЗС-матриц. ПЗС-матрица состоит из светочувствительных пикселей, имеющих размер микрометровых единиц [11]. Они имеют высокую частоту работы, что позволяет использовать их даже для измерения параметров объектов, которые движутся на высокой скорости. Возможны несколько вариантов работы, но наиболее подходящий метод для экструзионной линии производства 3D нитей - метод затенения.

Один датчик состоит из излучателя и приемника в отдельных корпусах. В излучателе лазерный луч сталкивается с вращающимся зеркалом. Отраженный луч периодически обегает зону измерения, создавая виртуальную световую полосу. В приемнике параллельно движущийся луч фокусируется на светочувствительном диоде. Любой предмет в поле измерения частично затеняет приемник. Промежуток времени, в течение которого длится затенение, точнейшим образом соответствует размеру этого предмета. К недостаткам этого метода относятся высокие требования к источнику света (необходимо обеспечить постоянную мощность на протяжении всего времени измерения), а также - к элементу датчика.

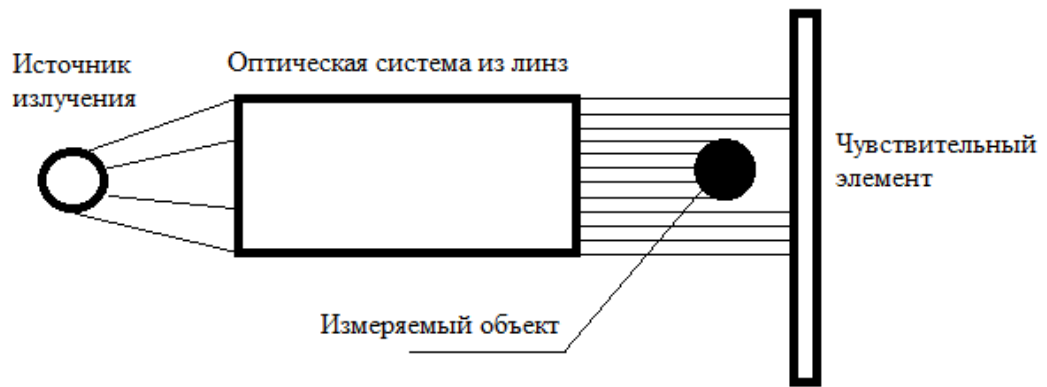


Рисунок 3 – Метод затенения [12]

Из-за высокой когерентности источника света на границе объекта будет возникать явление дифракции. Можно предложить возможных решений этой проблемы:

- 1) Создание фильтра для снижения искажений из-за дифракции;
- 2) Разработка алгоритма для нахождения истинного размера цилиндра, на основании ее дифракционной картины.

Мы полагаем, второй вариант обеспечит более точные результаты. Но использование математической модели явления дифракции должно будет дополняться некоторыми эмпирически подобранными коэффициентами, и появляются более высокие требования к источнику излучения.

2. Объект и методы исследования

2.1 Датчик TSL1401

Датчик состоит из 128 фотодиодов, расположенных в линейном массиве. Световая энергия, падающая на фотодиод, генерирует фототок, который интегрируется с помощью схемы интегратора на ОУ, связанной с этим пикселем.

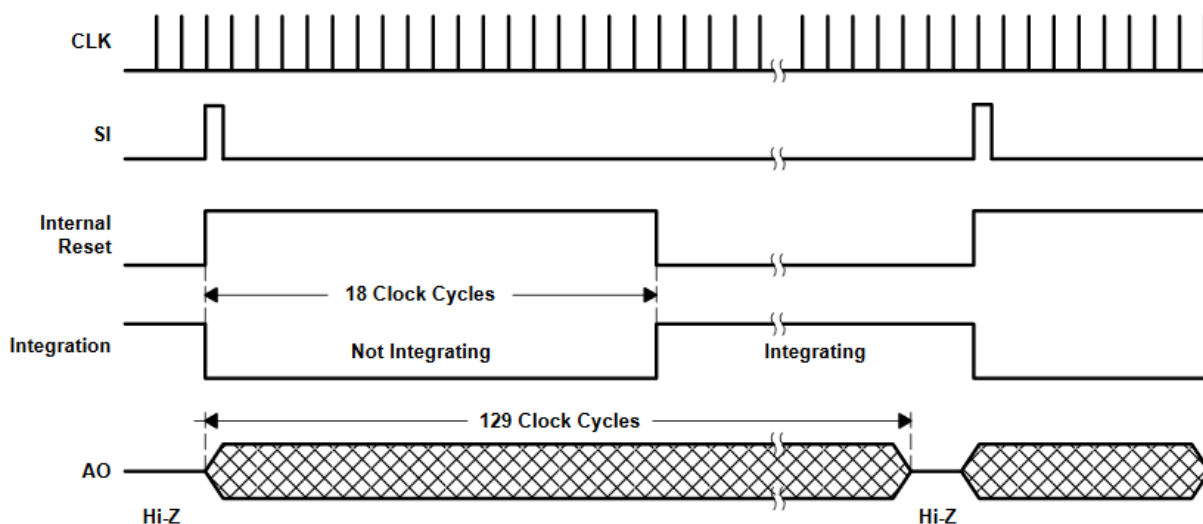


Рисунок 4 – Диаграммы работы датчика [13]

В течение периода интеграции конденсатор подключается к выходу интегратора через коммутатор. Количество заряда, накапливаемого в каждом пикселе, прямо пропорционально интенсивности света и времени интегрирования.

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. Последующий импульс СИ может быть представлен еще в 130-м тактовом импульсе, тем самым иницируя другой выходной цикл.

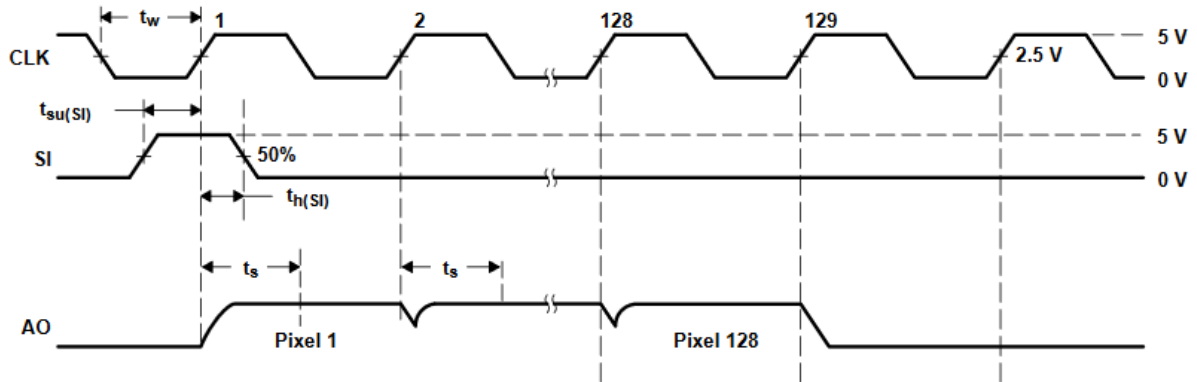


Рисунок 5 – Диаграмма работы ПЗС линейного датчика [13]

Аналоговый выход управляется от источника, для которого требуется внешний резистор. Когда на выход не подаются напряжения с интеграторов, он находится в состоянии с высоким импедансом. На выходе должно быть 0 В без света и 2 В для сигнала белого цвета с номинальным полным (насыщающим) напряжением 3 В.

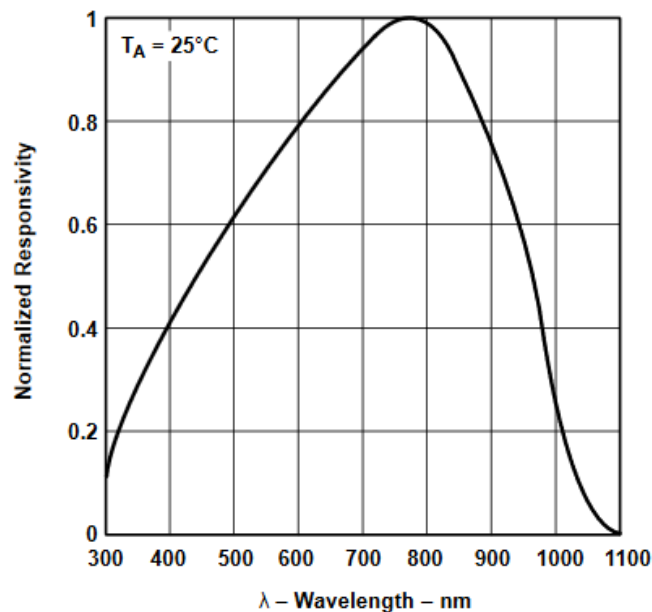


Рисунок 6 – Спектральная характеристика датчика [13]

Максимум спектральной характеристики TSL1401 приходится на длину волны 770 нм. Датчик предназначен для использования в самых разных приложениях, в том числе: сканирование изображений, считывание меток и кодов, оптическое распознавание символов (OCR), обнаружение края и позиционирование, а также оптическое кодирование.

2.2 Лазер

Так как максимум спектральной характеристики TSL1401 приходится на длину волны 770 нм, решено было использовать лазер с длиной волны, находящейся в красном диапазоне. Помимо этого критерием выбора лазера является его выходная мощность и диаметр пятна. Он должен полностью перекрывать толщину нити, и желательно освещать всю ПЗС-матрицу. Была выбрана модель M-22B660-130-G с длиной волны 660 нм. Ниже в таблице 2 приведены характеристики.

Таблица 2 – Характеристики лазера

Модель	M-22B660-130-G
Длина волны	660 нм
Выходная мощность	130 мВт
Питание	DC 3,6-4,2 В
Диаметр пятна	14-16 мм
Размер	22*55 мм
Рабочий ток	130 мА

Лазер является довольно мощным (130 мВт), поэтому предполагается использование фильтров. Для того, чтобы значения освещенности были постоянными во времени необходимо использование драйвера.

LM2596S понижает (до 40 В) входное напряжение, работает в импульсном режиме, частота преобразования — 150кГц.

2.3 Микроконтроллер

Устройство контроля диаметра нити построено на микроконтроллере ATmega328. Платформа с микроконтроллером имеет 14 цифровых вход/выходов (шесть из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, разъем ICSP и кнопку перезагрузки «RESET». В таблице 3 представлены основные характеристики.

Таблица 3 – Характеристики микроконтроллера [14]

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Flash-память	32 Кб
ОЗУ	2 Кб
EEPROM	1 Кб
Тактовая частота	16 МГц

Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера или батареи. Возможна передача данных с использованием UART.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

5.1.1 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.

5.1.2 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 [20].

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
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
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
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
Итого	1				0,7375

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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.

5.1.3 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 7).

Таблица 7 – 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 3D печати</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 8 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4
Возможности проекта	В1	+	0	0	+
	В2	+	+	+	+
	В3	0	+	0	0
	В4	+	+	0	0

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	-	0	+
	В2	-	-	-
	В3	0	0	0
	В4	0	0	0

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4
Угрозы проекта	У1	+	+	+	0
	У2	-	-	+	+
	У3	-	-	0	0

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	-	0	0
	У3	-	-	0

Анализ интерактивных таблиц 1.3 – 1.6 в виде коррелирующих сторон проекта представлен в итоговой SWOT-матрице (Таблица 1.7).

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота эксплуатации С2. Более низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами С3. Использование современных методик контроля С4. Высокая надежность</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невысокое качество аппаратной части Сл2. Точность ниже, чем у зарубежных аналогов Сл3. Низкая функциональность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Добавление функций регулирования процесса 3D печати В2. Выход на международный рынок В3. Снижение стоимости комплектующих, используемых при научных исследованиях. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Низкая стоимость прибора позволит выйти на международный рынок и вкуче с простотой эксплуатации и надежностью позволят завоевать расположение потребителей. Повышение стоимости конкурентных разработок ещё больше укрепит положение на рынке. Использование современных методик контроля выгодно выделяет разработку даже на фоне более точных зарубежных аналогов</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 разработок позволят закупать платы в оптовом размере, к тому же по более низким ценам.</p>

<p style="text-align: center;">Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса. У2. Улучшение качества экструдеров 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>
---	---	--

5.2 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 13.

Таблица 13 – 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	Щаденко С.В.
	2	Составление и утверждение ТЗ	Щаденко С.В., Генке Е.А.
	3	Разработка календарного плана	Щаденко С.В., Генке Е.А.
Теоретические исследования	4	Подбор и изучение материалов по теме	Генке Е.А.
	5	Обсуждение литературы и написание теоретической части	Щаденко С.В., Генке Е.А.

Разработка технической документации и проектирование	6	Разработка методики тестирования датчика	Щаденко С.В., Генке Е.А.
	7	Разработка структурной схемы	Генке Е.А.
	8	Разработка принципиальной схемы	Генке Е.А.
	9	Разработка алгоритма для последующего написания кода	Генке Е.А.
	10	Выбор и заказ деталей для проектирования устройства	Генке Е.А., Щаденко С.В.
	11	Разработка программного обеспечения для реализации устройства	Генке Е.А.
	12	Проведение экспериментальных исследований	Генке Е.А., Щаденко С.В.
Оформления отчета по НИР	13	Оценка результатов, подведение итогов и оформление работы	Генке Е.А., Щаденко С.В.

5.2.1 Определение трудоёмкости выполнения работ

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

Трудоёмкость 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 трудоёмкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5},$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{\max} – максимальная продолжительность работы, 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:

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

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

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

5.2.2 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. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{Ki} = T_{Pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{Pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (52);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (13).

На 2017 год коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 13} = 1,2$$

В таблице 14 приведены результаты определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоёмкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					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-10%, И-90%	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-10%, И-90%	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) – Щаденко С.В., ассистент каф. ПМЭ

Инженер (И) – Генке Е.А., студент ТПУ

Таблица 15 – Линейный график работ

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	5	-	1													
2	6	1		1												-
3	1	1					6									1
4	2	18					1									1
5	6	26					2									18
6	2	18					6									26
7	6	26					1									7
8	1	7					-									1
9	1	7					2									12
10	-	1					2									18
11	-	7					1									12
12	-	1					26									104
13	2	12														
14	2	18														
15	1	12														
16	1	13														

Дата начала выполнения ВКР – 1.02.2017. Ожидаемая дата окончания работ над ВКР – 06.06.2017

Научный руководитель - 
 Инженер - 

5.3 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.

5.3.1 Материальные затраты

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 16 - 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 AVR 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

5.3.2 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 (РК=1.3).

Таким образом заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}},$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 рабочих дня $М = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	13	13
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезни	10	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	266	232

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{м} = З_{гс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р},$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,12 – 0,15;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	КН	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

5.3.3 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 $k_{доп}=0,12$

$$Z_{допНР} = 4522,4 \text{ руб.}, Z_{допИ} = 20863,9 \text{ руб.}$$

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Таблица 19 – 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

5.3.5 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл НР}} = 311974,6 * 0,16 = 49915,9 \text{ руб.}$$

5.3.6 Формирование бюджета затрат НИР (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 20 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
1. Материальные затраты НИР	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 384475,9 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%).

5.4 Оценка 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.