

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



Институт кибернетики
Направление подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»
Кафедра интегрированных компьютерных систем управления

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проектирование и разработка устройства контроля диаметра полимерных нитей УДК 667.4.05-036:531.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ41	Иванов Сергей Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ООО «ХоумСтайл»	Берчук Д.Ю.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М. И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Лиепиньш А. В.	к.т.н.		

Запланированные результаты обучения по основной образовательной программе направления «мехатроника и робототехника»

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	Интегрировать и применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке и проектировании современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием достижений и 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	Применять полученные знания для решения инженерных задач при производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических 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 необходимые 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике, знать области их применения, в том числе в гибких 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<i>Универсальные</i>		
P7	Эффективно работать в профессиональной сфере 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 безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.	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), 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 обучения в течение всей жизни, уметь самостоятельно учиться и повышать свою 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> .
P12	Эффективно работать в профессиональной сфере 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>

	проектируемого устройства и ее проверка на практике.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схемы подключения Atmega 328 и датчиков LFL1402, алгоритмы управления датчиками в Microsoft Visio; чертеж корпуса устройства в КОМПАС-3D V16.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Пустовойтова Марина Игоревна
Раздел, выполненный на иностранном языке	Старший преподаватель кафедры иностранных языков института кибернетики Бутакова Татьяна Ивановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.10.2015 г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ООО «ХоумСтайл»	Берчук Д.Ю.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM41	Иванов С.О.		

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



Институт кибернетики
 Направление подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»
 Кафедра интегрированных компьютерных систем управления
 Уровень образования – магистр
 Период выполнения – весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.16
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.11.2015 г.	Обзор литературных источников по теме работы	10
26.01.2015 г.	Обзор и анализ методов измерения диаметров	10
05.02.2016 г.	Разработка алгоритмов управления, проверка их на практике, разработка метода повышения точности	30
27.04.2016 г.	Проектирование корпуса устройства	10
01.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
12.05.2016 г.	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Директор ООО «ХоумСтайл»	Берчук Д.Ю.			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
ИКСУ	Лиепиньш А.В.	К.Т.Н.		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа содержит 111 страниц текста, 43 рисунка, 24 таблицы, 13 приложений, 47 источников литературы.

Ключевые слова: измерение, диаметр, полимерные нити, линейная ПЗС матрица, теневой метод, дифракция от цилиндра.

Объектом исследования являются бесконтактные устройства контроля диаметра объектов.

Цель работы: разработать бесконтактное устройство контроля диаметра на основе линейной ПЗС матрицы.

В процессе исследования проводились обзор и анализ существующих разработок и выявление их недостатков. Рассматривались основные методы контроля диаметра; делалось описание выбранных компонентов для реализации устройства. Так же рассматривались ресурсоэффективность и ресурсообеспечение работы и параметры социальной ответственности.

В результате исследования было спроектировано устройство контроля диаметра, написана управляющая программа и предложен способ повышения точности измерения диаметров, используя явление дифракции от цилиндров.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: размеры устройства $81.28 \times 70.15 \times 104.77$ мм; точность 54 мкм; напряжение питания 5В.

Область применения: изготовление расходных материалов для 3Д принтеров, кабельное производство, машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы_ заключается в значительном снижении цены готового устройства по сравнению с зарубежными аналогами.

В будущем планируется замена линейной ПЗС на ПЗС матрицу, использование датчиков с меньшими размерами светочувствительных элементов, создание приложения оконных форм для операционной системы Microsoft Windows.

Определения, обозначения, нормативные ссылки

В представляемой работе использовались следующие термины с соответствующими определениями:

Микроконтроллер – микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами.

Стробирующий сигнал – сигнал, предназначенный для периодического разрешения или запрета процессов.

Аналого-цифровой преобразователь — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код.

Дифракция света – явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий.

Дифракционная картина – система чередующихся светлых и темных колец.

В данной выпускной квалификационной работе были применены следующие сокращения:

ПК – персональный компьютер;

СИ – средства измерения;

ПО – программное обеспечение;

ПЗС – прибор с зарядовой связью;

CCD – charge-coupled device;

DPI – dots per inch;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;

При выполнении данной выпускной квалификационной работы была использована следующая нормативно-техническая документация:

1. ГОСТ Р 8.596-2002 Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения
2. ГОСТ 2.102-68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов
3. ГОСТ Р 12.1.009-2009 Электробезопасность. Термины и определения.
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электро-вычислительным машинам и организации работы.
5. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
6. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
7. СН2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
8. ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение.
9. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
10. ГОСТ Р 12.1.019-2009. «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». - М.: Госстандарт России, 2010.
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
12. СН-245-71 Санитарные нормы проектирования предприятий.
13. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
14. СНиП 23-05 Естественное и искусственное освещение.
15. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
16. СНиП 11-2-80 Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций

Оглавление

Введение.....	10
1 Literature review	12
2 Object and Methods	14
2.1 Basic information about methods and measuring instruments	14
2.1.1 Contact measurement methods	15
2.1.2 Non-contact measurement methods	25
2.2 The use of diffraction effects in the measurement means.....	31
3 Расчеты и аналитика	34
3.1 Описание компонентов устройства.....	35
3.1.1 Описание контроллера.....	35
3.1.2 Описание ПЗС матрицы	39
3.1.3 Выбор источника излучения	40
3.2 Разработка алгоритма тестирования датчика.....	45
3.3 Разработка кода управляющей программы	48
3.4 Проектирование корпуса устройства	63
3.5 Метод увеличения точности	66
3.6 Результаты исследования	70
4 Техничко – экономическое обоснование работы	71
4.1 Организация и планирование работ	72
4.1.1 Продолжительность этапов работ	73
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	78
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	79
4.2.1 Расчет затрат на материалы	80
4.2.2 Расчет заработной платы.....	81
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	81
4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию	82
4.2.5 Расчет амортизационных расходов	83
4.2.6 Расчет расходов на основе платежных документов	84
4.2.7 Расчет прочих расходов.....	85

4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки	85
4.2.9 Расчет прибыли	86
4.2.10 Расчет НДС	86
4.2.11 Цена разработки НИР	87
4.3 Оценка экономической эффективности проекта	87
4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР.....	87
5 Социальная ответственность	91
5.1 Техногенная безопасность.....	91
5.2 Региональная безопасность.....	97
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	98
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	101
5.5 Пожарная безопасность	103
5.6 Вывод по разделу социальная ответственность.....	105
Список используемых источников.....	108

Введение

В начале 90-х годов прошлого тысячелетия на рынке постепенно началась складываться тенденция ухода от больших серийных партий и переходу к мелкосерийному производству. В связи с этим, у мелкосерийных фирм возникла необходимость изготовления собственных форм и прототипов изделий, которые раньше производились только на крупных заводах. Для изготовления необходимых форм очень удобно было использовать небольшие станки с ЧПУ.

Следующим шагом «эволюции» станков для изготовления различных форм, стало появление устройств, способных создавать 3Д модели путем их послойного наращивания.

На данный момент 3Д печать очень широко известна и применяется не только на мелких производствах. Существует большое разнообразие моделей, которые позволяют пользователю печатать 3Д прототипы своих макетов и разработок. Качество печати складывается из нескольких факторов, таких как выбор конструкции принтера, обдув, фиксация детали на столе и т.д. Для получения деталей высокого качества далеко не последнюю роль играет качество материала для печати. От материала для 3Д печати зависят температурные настройки для нагревательного стола и сопла экструдера. Так, при некачественном расходном материале производитель рискует потратить ресурсы (электроэнергию и время) на печать изделия впустую, получив в результате некачественный продукт или продукт с низкими характеристиками.

Если постепенно на Российском рынке появляются компании, производящие 3Д принтеры, то с производством материала для 3Д печати все обстоит намного хуже. Большинство фирм, занимающихся 3Д печатью, покупают пластик, у иностранных производителей. В связи с этим наблюдается высокая цена на продукцию печати и на расходные материалы в целом.

Фирмы, которые производят пластик самостоятельно сталкиваются с проблемами, решение которых позволило бы им выйти на рынок с товаром, цена которого будет намного ниже зарубежных аналогов, при том же качестве.

Одной из таких проблем является контроль диаметра пластиковой нити при ее изготовлении. Готовые приборы и решения в данной области, как правило, имеют очень высокую цену (порядка 100.000 рублей), либо не обеспечивают заданной точности (требуемая погрешность должна быть около $\pm 0,03$ мм).

На данный момент известно несколько основных методов измерения диаметров, с использованием различных СИ. При этом прослеживается тенденция ухода от чисто механических устройств и введения в цепь измерений микроконтроллеров или программируемых ЭВМ. Усовершенствование современных средств измерений, в большей степени, происходит за счет интеграции программной и аппаратных частей приборов, при этом, особое внимание уделяют ПО.

К сожалению, большинство методов измерения диаметров, за редким исключением не подходят для измерения неметаллических изделий, в частности, полимерных нитей, с высокой точностью. Те методы, которые обеспечивают необходимую точность либо требуют больших материальных затрат, либо довольно сложны для реализации мелкими предприятиями.

1 Literature review

The review of the specialist literature on the subject of Master dissertation paper has led to the conclusion that at the moment on the market there are no devices being developed to measure and control the diameter of polymer filaments in manufacturing consumables for 3D printing. For this purpose, some manufacturers use instruments that were designed to control the diameter of cable or tubes, but we can apply the technique with some restrictions. In most cases, the measuring and controlling devices are used in steel industry or in tube manufacturing, or in cable industry. Devices designed to measure the diameter of a metal pipe can not be used in manufacturing of plastic filaments, as they often use methods that are not applicable to the measurement of non-metallic objects, or require conditions which can not be achieved in the production of polymer filaments [1, 2, 3].

Currently the available devices have been designed for home or small business usage. Most of them have large weight and size parameters that do not allow them to be established compactly at the exit of the extruder [4,5,6], contributing to plastic filaments production. Exactly a little distance from the tip of the extruder to the measuring instrument can improve the quality of a plastic thread.

Prices for the above sets of measurement devices are several times more than the average price of modern 3D printers, so, for most ordinary users, who want to save on the purchase of consumables for printing, are unavailable.

In July 2014, in Russia plastic material for 3D printers was produced only in three companies. «REC» is a Russian Extrusion Company, which has been manufacturing PLA, ABS, HIPS, FLEX filament plastic types (1,75 and 2,85 mm) since 2012. «SEM», a Moscow company, has been producing plastics since 2013. And, of course, Tomsk company «BestFilament», which has developed a completely new method for the extrusion of plastic filaments [7,8,9].

The review information from the web showed that since 2012s, many enthusiasts of 3D prototyping have tried to create an installation for the production of consumables for their own needs. Most designs were of the same type and differ only

in some irrelevant details. In most cases, the creators rested on the problem of too much dispersion diameter values obtained plastic wire [10,11]. In exceptional cases, the creators have continued to improve their design, and even set up the production of devices. For example, Marek Senicky began to create such a device in 2013. Now he is developing a model, as well as selling specially designed grinders (shredders) for plastic waste and failed products for 3D printing [12]. Unfortunately, the developers did not consider the possibility of additional control of plastic filament diameter after leaving the extruder content, in the best case, the (proportional integral differential) PID control for smooth rotation of the screws.

There are better versions of devices to create a polymer filaments of granules and plastic recyclables. The most famous, perhaps, company FILABOT, represented line extruders and for plastic crusher. [13] The company claims that its products can create a plastic wire with a tolerance of $\pm 0.05\text{mm}$, which is not really an outstanding achievement at the stated price of the latest version of the extruder -2149 euros.

We have not found any documented sources to confirm the use in the construction of measuring and monitoring the diameter, we can make a conclusion that this has happened due to commercial orientation of the company products.

2 Object and Methods

2.1 Basic information about methods and measuring instruments

The transition from a simple means of measurement to more complex and technologically practical systems can be described by the following sequence:

- 1) electro-mechanical measuring mechanisms;
- 2) measuring mechanisms with additional devices;
- 3) electronic measuring instruments;
- 4) digital measuring devices;
- 5) information-measuring systems;
- 6) measurement and computing complexes;
- 7) processor measuring means;
- 8) intellectual information and measuring systems [14].

We can trace in the sequence an apparent increase of software significance. Thus, in most cases, it is necessary to carry out the transformation under consideration of the measured parameter into a corresponding electrical signal. After converting, the value obtained with relative ease can be used by a computer, and a smaller-sized microprocessor.

To receive information prior to its conversion into an electrical signal, sensors or primary converters are used. Transducer is the converter, the input of which receives influence or signals from the control object or from the external environment and its output impact or signals are fed to the control object. Typically, the output signals or the impact primary transducers are presented in a form suitable for subsequent transmission and processing [15].

The data from the sensor information transmitted through transmission lines, which together with the remaining switching means, as well as algorithms, is called measuring channel. Measuring channel is a set of technical means of the measuring system, which performs the complete function of a perception measured value to obtain a measurement result expressed by number or corresponding code [16].

All measurement methods can be divided into 2 subgroups. The first subgroup should include contact measurement methods based on mechanical, pneumatic or electro-mechanical properties. This requires contact the primary device with the measured object, this can make a significant error in the measurement process, and in some cases - generally unacceptable due to the nature of production technology. Production of consumables for 3D prototyping and printing contact measurement methods are not very applicable, as at the outlet of the extruder plastic rod has a temperature between 120 ° and not fully-formed structure. Thus, any mechanical contact of the plastic rod at this point may disrupt its shape. To apply contact method for measuring polymer filaments is possible only after the final solidification of the filament material after leaving the extruder. As a rule, this takes some time. Actually, in this case, the measurement will serve as the final product to control the size, without the ability to implement the feedback for correction.

2.1.1 Contact measurement methods

Initially, the automatic control of the diameters of products was produced with the help of various calibres, as shown in Figure 1. It may be cone gauges (1а), gauges-ring (1б), gauges-clamps one and two limit (1в, 1г). Moving part 1 (1ж) is located between bearing surface 4, which is immobile and mobile parallel to surface 3, which moves together with plunger 2. In the event of a predetermined value, face element 3 closes the contact, signaling the resizing. Object (1и) illustrates the application of the lever device having signal contacts.

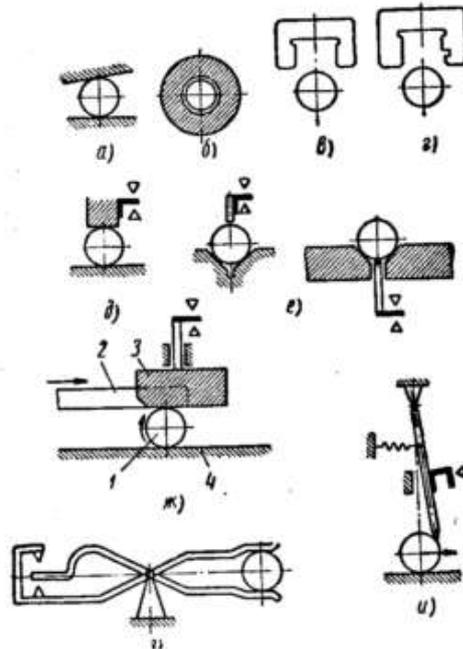


Figure 1 – Types of calibers

The accuracy of the above methods is low and depends on the accuracy of manufacture of dimensional brackets and calibres. Some sources claim that the method of monitoring with the help of cone-gauge can be accurate to 1 micron.

Contact methods using micrometers or displacement sensors are more convenient to use than the above-considered ways. Most often, such devices can be described by the general structure shown in Figure 2.

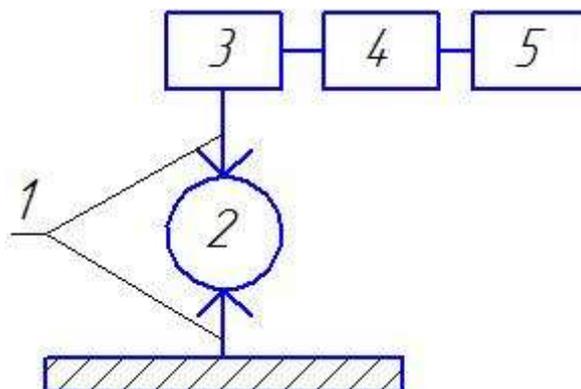


Figure 2 – Structure of electric means of measuring

Here: 1 - probe (sensor), 2 - measured object, 3 - converter 4 - a secondary electrical appliance, 5 - display (another device for outputting or registration information).

The most obvious disadvantage of the considered methods of measurement should include an increase in the measurement error over time, frequent calibration of

the measuring devices (certain operations that are necessary in order to identify - appropriate means of measurement stated metrological requirements or not), a significant effect of external mechanical factors (the presence of the vibration device, dust on the dipstick etc.)

Some encoders can be used as primary devices for diameter measurement device.

For example, since can be used the capacitive displacement sensors with variable clearance between the electrodes and electrode area variable. The principle of operation of this type displays capacitor formula sensors:

$$C = \frac{S}{d} \varepsilon \varepsilon_0 \quad (1)$$

where C is electrical capacitance of the capacitor, the S - area of the plates, d - the distance between the plates ε - the relative permittivity of the material, $\varepsilon_0 = 8,8541 \times 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$ - the dielectric constant in the SI system.

In the first case, small movements are measured with an accuracy of a few microns, in the second is more significant. To do this, we connect the measuring head (or probe), which will be in direct contact with the measured product, the core of the capacitor. If you change the diameter, the core will change its position between the plates, thereby changing the area of the capacitor plates (see Figure 3.)

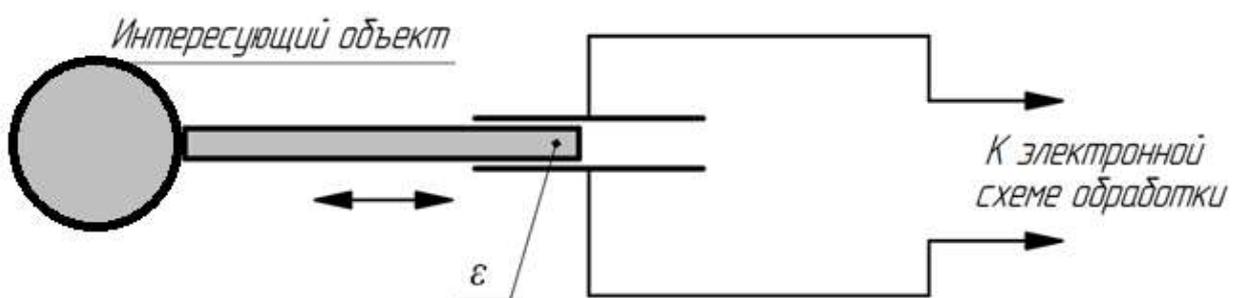


Figure 3 – Usage of sensor capacitor with modification area of the capacitor plates

When connecting the probe to the condenser plate of a dependence of change of distance between the plates by changing diameter (Figure 4).

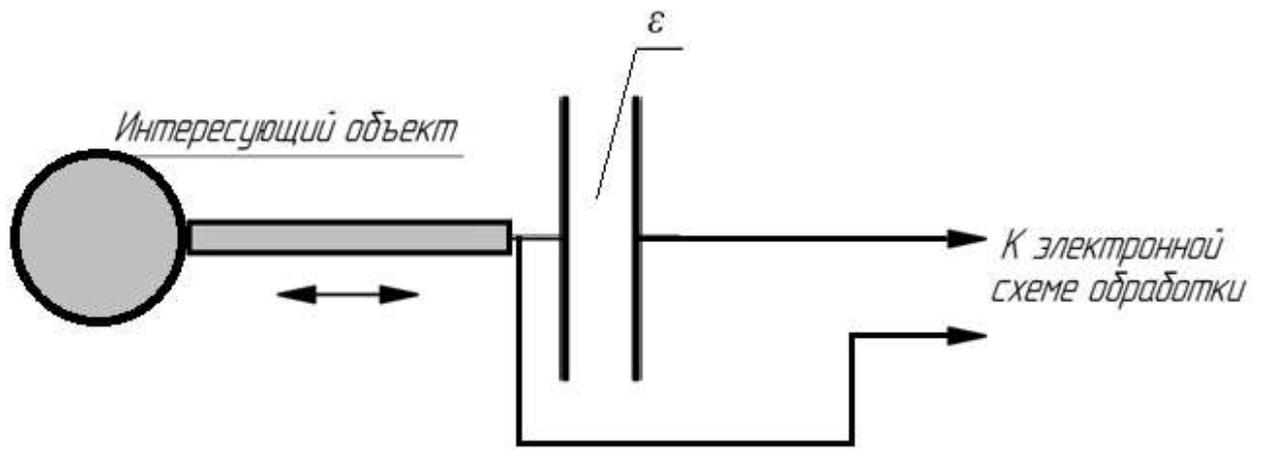


Figure 4 – Usage of sensor capacitor with modification distance between the capacitor plates

The peculiarities of application of capacitive sensors is their linearity at small displacement measurement, which is just suitable for the measurement of parameters with an accuracy of hundredths of a millimeter. (see Figure 5)

Optical displacement sensors may also be used for measuring the diameters of the contact method. In particular, the double a lattice structure, as well as the radiation source and the photosensitive element (Figure 5.) used to record small changes in diameter. One of the two lattice structures - stationary, the second movable and mechanically attached to the measured object.

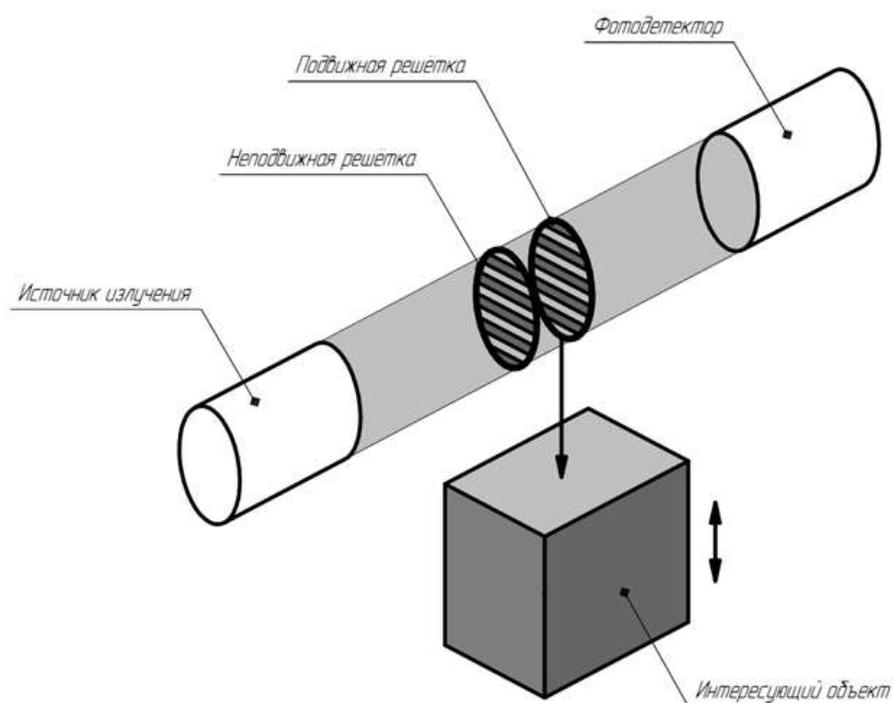


Figure 5 – Usage diffraction grating

Small displacement of the mobile lattice leads to a change in the intensity of light, recorded by a photodetector, and with the decrease in lattice period increases the accuracy of the sensor, but it narrows the dynamic range. This method is called diffraction.

When coherent monochromatic beam passing through the slot opening in the lattice formed her spatial redistribution of the light intensity. The distance between peaks is a function of several factors, including slit widths. The diffraction pattern is supplied to the electro-optical transmitter whose signals are analyzed by a computer.

Inductive displacement sensor can also be used to measure the sizes of products. As with the capacitive sensors, two possible options exist for their use. One of them - due to movement of the object, and another - by moving the coils relative to each other or the object. The sensors of this type are widely used linear - adjustable differential transformers (Figure 6.)

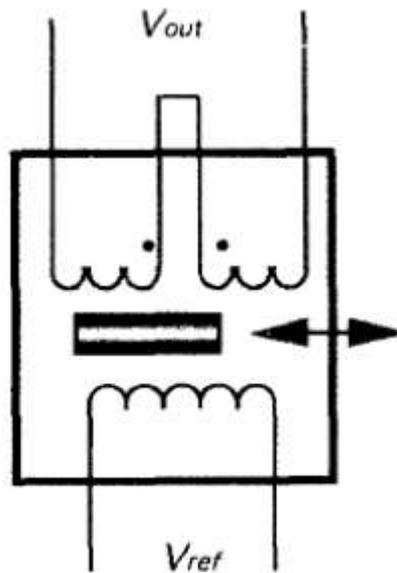


Figure 6 – Usage linear - adjustable compensator

Since the amplitude of the signal in the secondary winding depends on the flux, the magnitude of the amplitude of the secondary winding can judge the position of the core, and hence the position of the external object. The core is associated with the measured object mechanically.

To achieve high accuracy is necessary that the oscillator frequency is higher than the maximum frequency of possible fluctuations of the measured object (preferably, at least 2-3 times).

The second option is the use of inductive sensors used in the probe, coupled with the ferromagnetic yoke. Changing diameter a small amount, is accompanied by a change in the position of the magnetic circuit, as a result, the inductance of the coil changes (Figure 7).

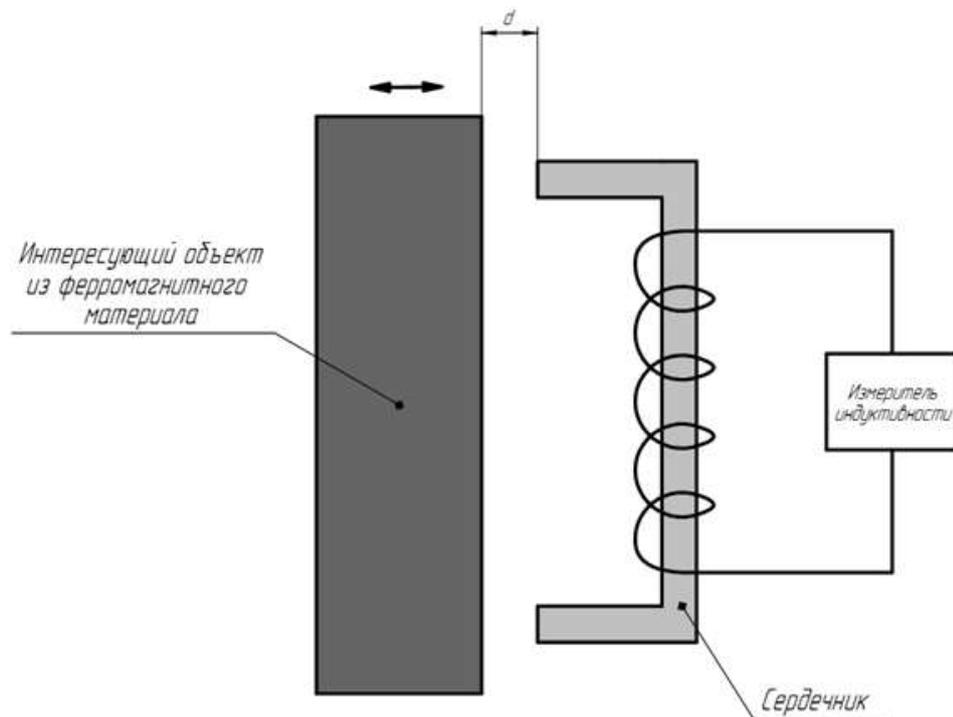


Figure 7 – Usage inductive sensor

The main disadvantage of the use of inductive sensors is their non-linearity. It is an average of 3-5% of the measured value.

To reduce the rate of non-linearity in the sensors, some manufacturers define the output of the sensor signal as a polynomial function, mathematically describing the signal. Thus, it is possible to fine-tune the measurement algorithm using microcontroller technology.

Problems with non-linearity can be solved with the use of a microprocessor integrated in the sensor. This method allows you to produce the sensor output linearization performance and significantly reduce the non-linearity. For example, an

inductive sensor with a diameter of 12 mm and measuring distance 0 - 4 mm, with built-in microprocessor has a nonlinearity of less than 0.4% [14].

We should also consider the LVDT sensors (Linear Variable Differential Transformer). Contemplated sensors are also contact and diameter measurement object is converted into an electrical signal. The sensors are highly accurate (tens of microns). You can see this on Figure 8.

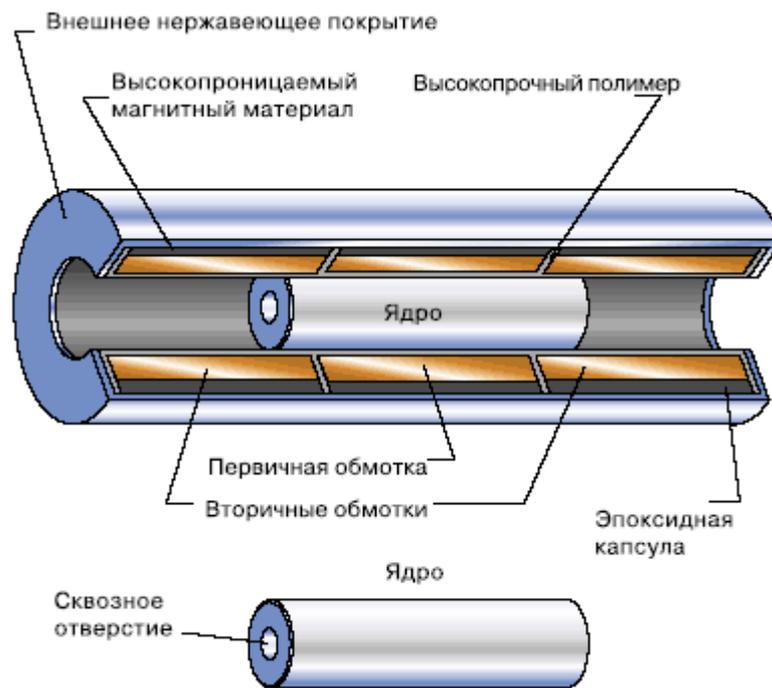


Figure 8 – Usage LVDT sensors

The figure above shows schematically LVDT-sensor design, which has one primary and two secondary windings, which are often located on the stationary core. Inside the sensor is movable core. The primary winding is placed symmetrically between two identical secondary windings. The coils are arranged on a rigid reinforced thermostable polymer and enclosed in a sealed envelope, a protective function against moisture and corrosive environments. The movable core is made of a material having high magnetic permeability, and moves freely along the inner cavity of the sensor.

The principle of the sensor action is associated with a change in magnetic flux by changing the position of the sensor core. When finding sensor core in the center (so-called zero point), the magnetic field of the primary winding are symmetrically

therefore the EMF induced in the secondary windings - are equal. By moving the core away from the zero point of the secondary windings EMF will vary. By measuring the difference between the EMF is determined by the movement of the object relative to the zero point. Note that the zero point from the sensor is very stable and does not change with changes in temperature in a sufficiently large range.

Magnetoresistive sensors can measure the diameter of the object linkages through induction magnitude of external magnetic field and the electric resistance of the plates, made of a magnetoresistive material. The structure of the sensor is typically includes a constant voltage source and the permanent magnet. Magnetoresistive plate is included in a bridge circuit (Figure 9). Measuring probe can be made from a ferromagnetic material, then changing diameter the object being measured, the probe is moved in a magnetic field, changing the resistance of the magnetoresistive plates, which will register the bridge circuit. Next, the microcontroller is necessary to link the resistance change and the position of the probe. Thereafter the deviation from the target product diameter is determined.

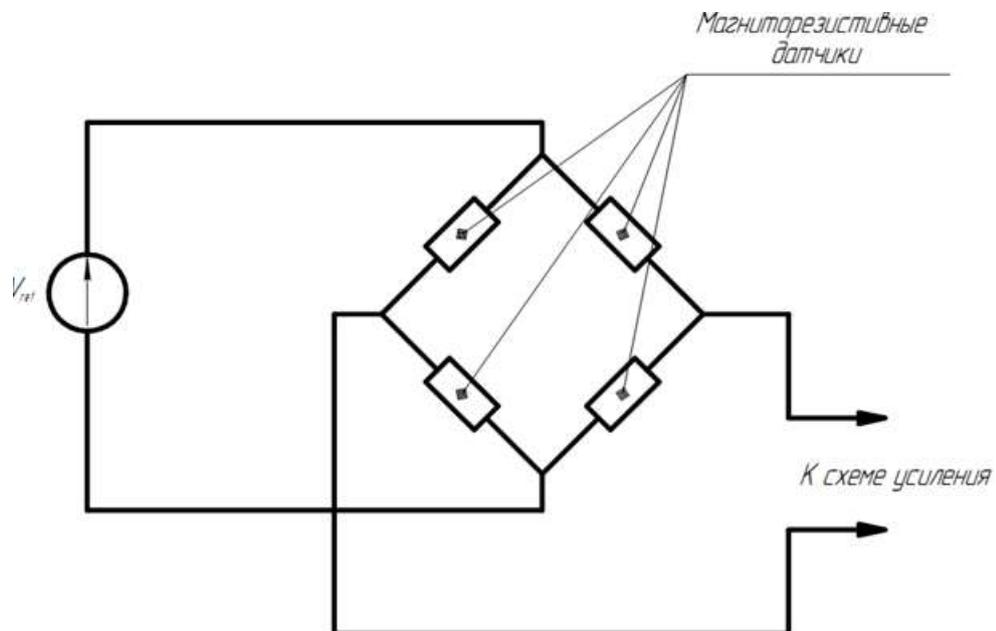


Figure 9 – Connection magnetoresistive sensors

Sensors are used to determine the movement of the object the phenomenon of magnetostriction is called magnitostriktsionny sensors. Magnetostriction is called the result of manifestations of the interaction in the magnetic bodies. Specifically, the

result of the interaction is reflected in the change of shapes and sizes of the interacting bodies. In ferromagnetic and ferrimagnetic (Fe, Ni, Co, Gd, Tb, and the other, a number of alloys, ferrites) M . reaches a considerable value (elongation $\Delta l / l \approx 10^{-6}$ - 10^{-2}).

In non ferromagnets material, paramagnetic and diamagnets magnetostriction value is very small. The reverse with respect to the phenomenon under consideration - to change the magnetization of the ferromagnetic sample under strain - called magnetoelastic effect. When making a ferromagnet in the region where the magnetic field is distributed, it begins to affect the object introduced at the molecular level, changing it. In turn, deformation of the molecular structure deformation changes properties of a ferromagnetic material. It is possible to explain the existence of a large number of elementary magnets, which together form a ferromagnetic object. They will seek to establish in parallel to each other within a limited space areas, without the external magnetic field. In these so-called domains, all the elementary magnets have the same direction. However, the initial allocation of domain randomly and outside the ferromagnetic body seems to be non-magnetic. By applying a magnetic field, the domains line up in the direction of the field and are aligned parallel to each other. Thus, obtained their own magnetic fields, which may exceed the external magnetic field hundreds of times. For example, if the rod of a ferromagnetic alloy placed in a magnetic field parallel to its axis, the rod will experience mechanical deformation and receive linear extension. But in reality, lengthening through the magnetostrictive effect is very small.

Work magnetostrictive sensor probes to consider the example, MTS Temposonics company sensor. They use the Wiedemann effect and the Villari effect [19,20].

"The core" measuring system is the ferromagnetic measuring element (figure 10) is used as a waveguide in which a torsion ultrasonic wave extension to the pulse converter. The measured position is determined by the position of the permanent magnet, which surrounds the waveguide. The permanent magnet creates a magnetic field in the waveguide and is connected to the measurement object. Here it is

necessary to emphasize that between the positioner (magnet) and the measuring element (waveguide), completely absent mechanical connection. When measuring a short pulse current is sent from the electronic part of the sensor with a waveguide. When you move the impulse there is a radial magnetic field around the waveguide. At the intersection with the magnetic field of the permanent magnet-positioner occurs according to the Wiedemann effect, plastic deformation of the magnetostrictive waveguide, which is a highly dynamic process, so a current pulse rate. Because of this, appears torsional ultrasonic wave, which spreads from the place of origin in both ends of the waveguide, however, at one end of it is completely extinguished, and thus, interference and distortion are eliminated.

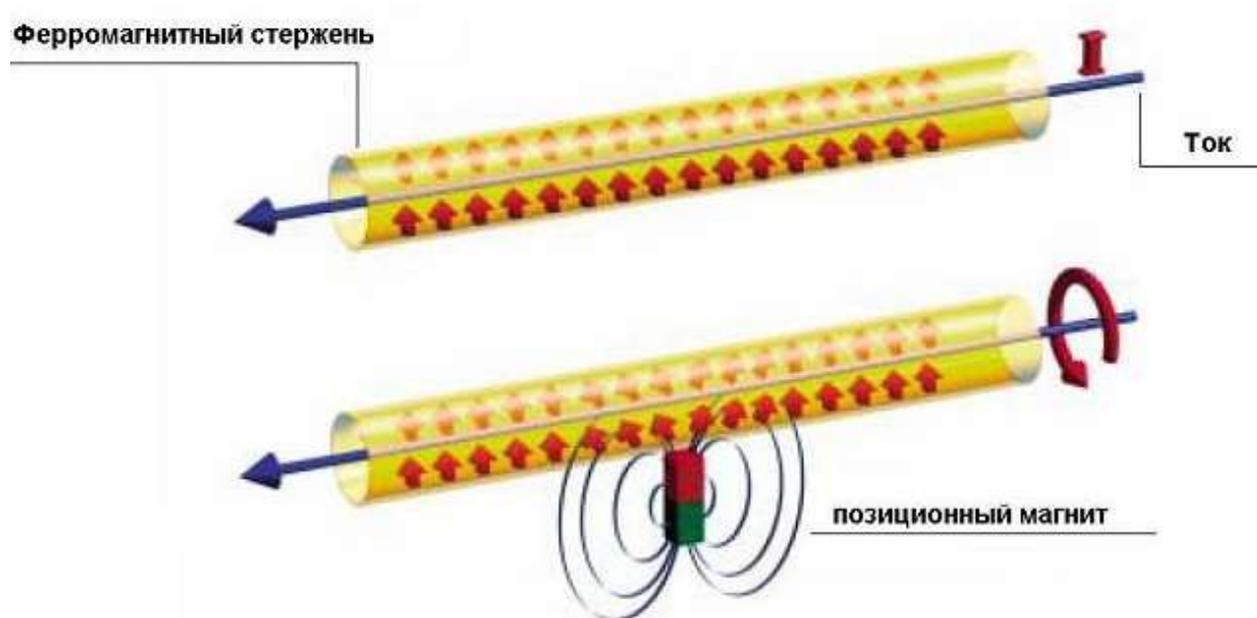


Figure 10 – The principle of the magnetostrictive sensor

Detection and processing of the torsion impulse occurs at the other end of the waveguide in a special transducer. The converter of a torsion moment consists of a transverse to the waveguide and rigidly associated strip of magnetostrictive metal; the detecting coils and one permanent magnet fixed. Removal of the signal from the waveguide can be performed in several ways. The most common are considered to be the removal of the signal from the coil around the waveguide, the removal of the signal by means of a plate with a winding and removal momentum with the help of the piezoelectric element at the end of the waveguide.

Magnetostrictive transducers may be accurate up to 1 micron. They have a very low sensitivity to external vibration, shock, insensitive to dirt and aggressive environment. In addition, they have high linearity readings. Most sensors output the absolute output signal, that is not necessarily the positioner back to the starting point in the new dimension.

As applied to the production of wire magnetostrictive sensors are not suitable for the 3D printer, since the measurement range of this type of sensor is an average of 25 mm.

2.1.2 Non-contact measurement methods

The presence of the probe in contact with the measured object greatly limits the use of products based on techniques that have been considered in paragraph 2.2. Modern production realizations are such that more stringent requirements for the reliability of the products, to the production speed, etc. Contact methods are often simply not physically able to meet them. Therefore, it is a logical development of measuring instruments has been the transition from contact to contactless methods.

Contactless methods have a number of advantages over contact methods, and this is due to their widespread use at the present time. Further work will be considered the basic methods that you can use to create a diameter control devices without physical contact with the object being measured.

Let's start with an overview of the pneumatic method. Pneumatic measuring systems are based on the principle of registration of pressure changes. Apparatus determine the volume of air that comes out of the small holes (Figure 11), which is at a pneumatic fitting (measuring holes) or pneumatic ring (for measurement of diameter).

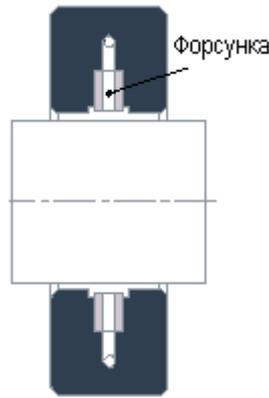


Figure 11 – Structure of pneumatic ring

Pneumatic diameter measuring rings may have several nozzles. This is to ensure that there would be an opportunity to measure the roundness or a deviation from the desired shape of the product. According to the measurements, which were carried out at several points as it is possible to determine position deviation and average diameter at each point. The proper functioning of the pneumatic system it is necessary that the clearance between the object to be measured and pneumatic ring was not more than one fourth of the nozzle openings. The gap is one of the main characteristics that affect the measurement accuracy. The smaller, the more precisely you can measure the diameter.

Modern pneumatic measuring instruments allow to obtain data with high accuracy (20 microns). In addition, through the use of compressed air measuring surface is cleaned of fine impurities. Perhaps the measurement items that were previously processed polishing paste, oil, etc.

The disadvantages pneumatic measuring instruments should include measuring integrally pneumatic rings, a narrow range of measured values, which depends on the gap between the work part and the sensor.

Non-contact eddy current measuring method is to use an alternating magnetic field with a very high frequency, which is created by the coil. Measurement object is entered in this field. After making the magnetic field of the coil induces eddy currents which are concentrated at the surface of the article. Induced currents will create magnetic flux which is counter-directed main stream (flow coil). As a result, it will change the resulting magnetic flux. Therefore, change active and reactive coil

resistance. The magnitude of this change will depend on the parameters measured by the product: the geometric size, shape, presence of voids and irregularities in resistivity.

The eddy current measuring method is suitable only for sufficiently large and bulky objects. Also, this method is very sensitive to the position of the cylindrical measured object relative to the center of the solenoid. Figure 12

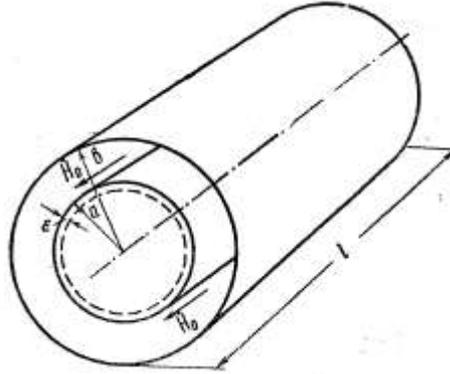


Figure 12 – Solenoid scheme

The expression for the total resistance of the solenoid, with the introduction of the object being measured it received Dwight [17]:

$$\bar{Z} = R_c + \frac{2\pi\mu_0\omega aW^2}{ml} \cdot \frac{ber(ma)ber'(ma) + bei(ma)bei'(ma)}{ber^2(ma) + bei^2(ma)} + j \left[\frac{2\pi\mu_0\omega aW^2}{ml} \cdot \frac{ber(ma)bei'(ma) - bei(ma)ber'(ma)}{ber^2(ma) + bei^2(ma)} + \frac{\pi\mu_0\omega W^2}{l} \cdot (b^2 - a^2) \right] \quad (2)$$

Where R_c - own solenoid resistance (active), $\mu_0 = 0,4\pi \cdot 10^{-8}$ Ohm * s / cm - magnetic permeability, a - the radius of the object to be measured, b - the radius of the solenoid, l - length of the solenoid, the W - the number of turns, $m = \sqrt{\mu_0\omega\gamma}$ where γ - the conductivity of the object, ber , bei - real and imaginary parts of the Bessel function: $I_0(ma\sqrt{i})$, ber' , bei' - derivatives of ma ber and bei .

After transformation [18], we obtain the dependence of the radius of the object from the solenoid parameters:

$$a = \frac{1}{W} \sqrt{\frac{(\Delta R - \Delta X)l}{\pi\mu_0\omega}} \quad (3)$$

For the object of cylindrical shape necessary condition for obtaining results with a small error is coaxial (alignment) of the measured sample and coil, which in real terms is quite difficult to obtain, especially in the measurement of moving objects.

Ultrasonic meters diameter are not used. This is due to the use of ultrasonic distance sensors. However, ultrasonic distance sensors have received very widespread in other industries because of their versatility. The diameter measuring ultrasonic methods are not so common.

Actions ultrasonic sensors is based on the radiation momenta of ultrasonic waves, and determining the time during which the the momentum sent to come back. The first sensors are combined in a housing and an emitter and a receiver of ultrasonic pulses. With the advent of piezoelectric elements managed to combine the functions of transmitter and ultrasound receiver on a single element, thus greatly save space. The piezoelectric transducer emits momentum and then, starts the timer built into the sensor. Once the momentum is reflected by an object and returned, the timer stops. The microcontroller calculates the elapsed time between starting and stopping the timer and knowing the speed of the ultrasonic wave in the air, converts it into the distance.

The ultrasonic distance sensors have a number of shortcomings, which do not allow them to be widely used for measuring diameters. The main disadvantage is the increase in measurement errors on highly curved surfaces, as part of the ultrasonic wave in this case is simply dissipated. Ultrasonic sensors are spreading the momentum in the form of a cone (drawing), which also limits their application for measuring small objects. The latest models of ultrasonic sensors can have a sound pulse propagating over a cone with an angle of 5 degrees. However, some sources claimed that on the basis of ultrasonic sensors methods can be used to measure the diameter of the cable, which, in my opinion, is quite controversial. [21] Figure 13

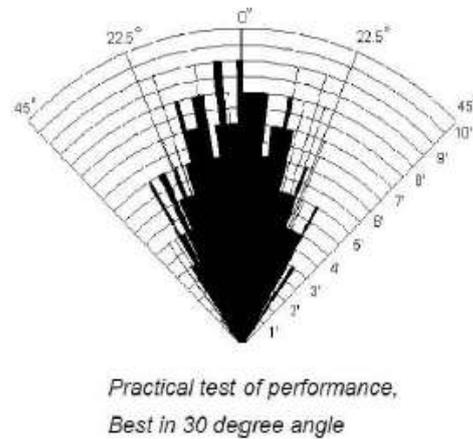


Figure 13 – Ultrasonic wave sensor spreading

Finally, one of the most extensive and promising is the use of optical sensors for measuring diameters devices. Quite a large variety of techniques allows you to design devices that are suitable for a broad class of problems. To measure the diameter can be used as distance sensors and displacement composition comprising a light-sensitive elements, and the elements themselves individually.

Measure the distance to an object, you can use sensors with diffuse reflection of light, different interferometers radar type sensors. Each of the sensors and instruments discussed above have their strengths and weaknesses, but to use them as part of diameter measuring device is not suitable as ready-made solutions are a significant cost, which will increase the final cost of the product diameter control.

The most promising direction is to use light-sensitive elements. Modern CCD array composed of photosensitive pixels having a size of nanometer units. They also have a high frequency of operation, which allows their use for measuring parameters of the objects that are moving at high speed

The most common methods of using the optical sensors light-sensitive elements are shadow methods, methods of determining the power of the radiation diffraction methods and computer vision techniques.

Shadow methods are divided into methods using a parallel beam of radiation and divergent. The principal difference between the two methods lies in the type of radiation source. When we using a parallel beam it can be used as point light sources, and distributed, because after the light source must be an optical lens system,

designed to make a parallel beam of light. Due to the presence of aberrations in the lenses produced errors which affect the beam parallelism, and as a consequence - on the accuracy of the measurement result. Schematically, the method presented in the figure. Figure 14

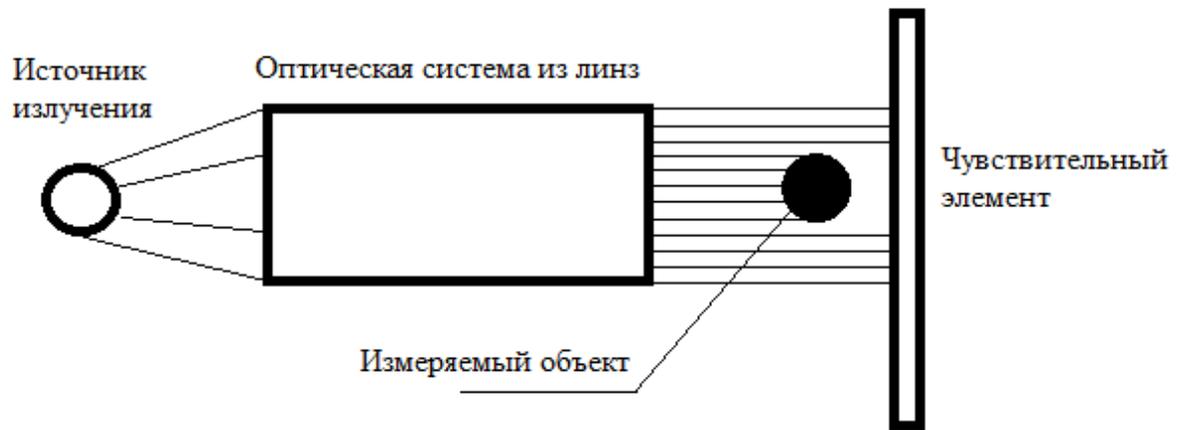


Figure 14 – The shadow method using a quasi parallel beam

Listed disadvantages associated with the presence of distortions in the lenses are deprived of methods based on the use of a divergent beam. In these methods, the radiation sources are semiconductor lasers. Determination of diameter takes place on a fairly complex algorithms, binding position polymer fiber or cable in space. In this connection, the method is used in the 2-coordinate measuring devices (figure 3).

The disadvantages of this method include limiting the size of the measured object, which is determined by the length of the active sensing element (CCD array). Processing algorithm produces a microcontroller, which is part of the device. [22]

Figure 15

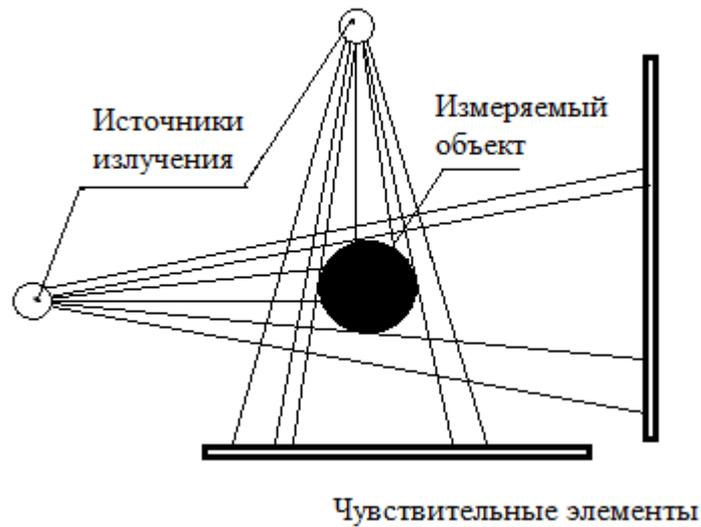


Figure 15 – The shadow method using convergent beam

The measuring method. In this method the diameter of the cable is determined based on the power of the light radiation incident on the sensor. Driving method similar to Figure 2, noting that the power measurement after the measurement object necessary to collect the light beam to a point. Most often used for this collecting lens with a small focal length.

The disadvantages of this method are high demands on the light source (it should provide constant power throughout the measurement time), as well as - to the sensor element, which is to ensure a constant sensitivity that under the conditions of production is difficult to achieve

2.2 The use of diffraction effects in the measurement means

Information about domestic developments diameter one-coordinate control devices that would use the features of the diffraction phenomena to improve the accuracy determines the size is extremely small. Foreign companies are using this feature in the design of measuring instruments [23].

The use of laser emitters introduces features in the development of optical sensors control algorithms. Due to the high coherence of the emitters it is possible to produce diffraction and interference patterns in high definition, which does not occur when using incoherent sources.

To simplify the rod part of the polymer to be measured can be represented as a cylindrical object. Thus, it is necessary to consider the diffraction from the cylinder. Experiments to determine the diffraction of the laser radiation repeatedly carried out, so it's worth a little bit about the outcome [24].

The most common mathematical diffraction pattern is defined as a set of waves from the edge of obstacles and uniform intensity distribution along the front of the laser radiation. Some methods allow you to avoid this and are like the surface of the laser front ellipses, hyperboles, etc. (Ie the surface with different phases).

In general, the diffraction pattern of a cylindrical object made up of diffraction patterns from the edge of the half-plane (see Figure).

On the upper part of the figure shows the diffraction pattern directly from the edge of the half-plane, the lower part shows the illumination intensity between the fronts of the diffraction pattern. Figure 16.

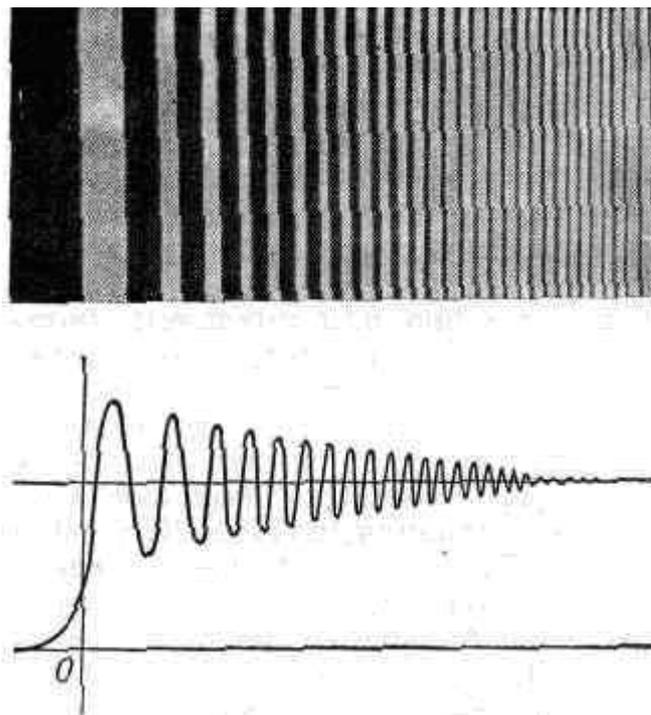


Figure 16 – The diffraction pattern from the edge of obstacles

In the case of the cylinder to obtain a diffraction pattern shown in Figure 17.

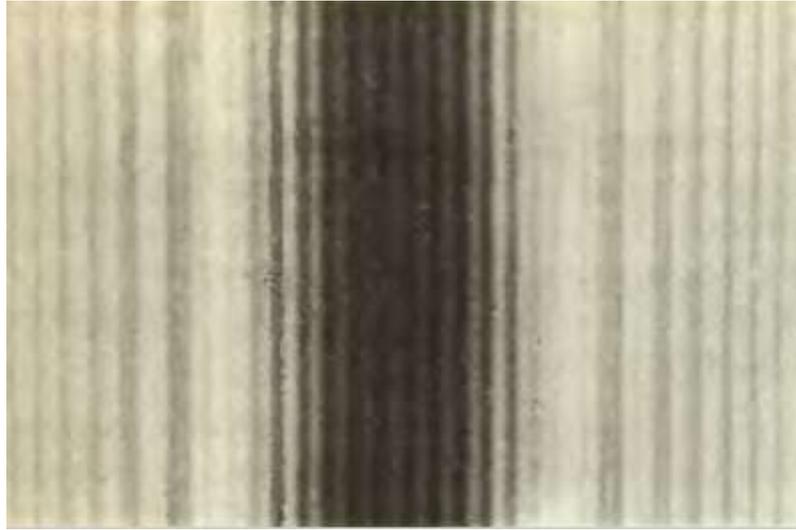


Figure 17 – The diffraction pattern of the cylinder

It is impossible to uniquely determine clear boundary shade from the cylinder. Analyzing the situation, we can conclude about the potential solutions to this problem:

- 1) Create a filter that cleaned the distortion given by diffraction;
- 2) The development of an algorithm for finding the true size of the cylinder, on the basis of its diffraction pattern.

Presumably, the second option would provide more accurate results. But the above-described diffraction mathematical model has serious approximation related to the simplification of the type of the primary radiation field. In most cases, the laser light seen by a spherical wave or a plane wave, which have a uniform distribution of light intensity. Naturally, the radiation has a different and more complex form of the primary field, similar to the Gaussian distribution [25].

So, one of the main factors that affect the measurement error of diffraction methods, the emission will be instability and volatility sensitivity of the receiver of this radiation. By eliminating the instabilities of the data can be expected to improve the accuracy of measurements.

3 Расчеты и аналитика

Как было сказано во второй главе данной работы, контактные методы на данный момент не актуальны для измерения размеров изделий.

Целью данной работы является разработка устройства контроля диаметра. В качестве основного вектора разработки было выбрано использование ПЗС матрицы в качестве активного светочувствительного элемента. Подавляющее большинство современных измерителей диаметра работают именно с такими типами датчиков.

Многоэлементные ПЗС матрицы представляют собой датчики, работающие по принципу считывания потенциала при помощи сдвигового регистра от элемента к элементу. Существуют однострочные (ПЗС-линейки) и многострочные (ПЗС-матрицы) датчики. В ПЗС-линейках заряд усиливается выходными каскадами датчика, а после усиления преобразуется в выходное напряжение в аналоговой форме. ПЗС матрицы добавляют к себе дополнительный (вертикальный) регистр сдвига. Принцип действия остается тем же. Разница в линейных и многострочных датчиках, кроме количества элементов, сдвиговых регистров и т.д. заключается в более высокой частоте функционирования последних.

Точность измерения в таких измерителях зависит от наличия оптических систем для создания параллельного пучка излучения и от разрешающей способности самого датчика. Эти две составляющие оказывают наибольший вклад в итоговый результат.

Для того, что бы уменьшить ошибку измерения, было принято решения по возможности не использовать любые линзовые системы, тем самым, мы исключаем появление ошибок, связанных с дефектами линз. Кроме этого, снижается стоимость устройства, так как изготовление качественных линз с заданными параметрами требует существенных материальных затрат.

Второй особенностью разрабатываемого прибора является повышение точности, учитывая явление дифракции светового излучения от измеряемого объекта.

3.1 Описание компонентов устройства

3.1.1 Описание контроллера

В качестве рабочего контроллера была выбрана плата семейства Arduino. Под этой маркой выпускается несколько различных типов плат и дополнительных плат расширения (shields). Плата имеет набор компонентов, необходимый для работы встроенного в нее микроконтроллера, в том числе – стабилизатор питания платы, подтягивающие резисторы, разъем подключения к ПК и т.д.

Загрузка программы в плату происходит без подключения дополнительного программатора, так как в плате жестко зашит стандартный загрузчик, который соединяется с ПК по USB-разъему или же UART-разъему, в зависимости от модели платы.

Наиболее распространенными микроконтроллерами на платах являются решения фирмы Atmel, семейства восьмибитных AVR с гарвардской архитектурой: ATtiny85, ATmega32U4, ATmega2560, ATmega168, ATmega328.

В данной работе исследования проводились на плате Arduino UNO с микроконтроллером Atmega 328P-PU.

На плате предусмотрена кнопка перезагрузки, которая перезапускает программу на микроконтроллере. Так же присутствует разъем ICSP для внутрисхемного программирования и диоды, отвечающие за индикацию подключения платы к ПК и индикацию обмена данными с ПК по последовательному порту. Питание осуществляется при помощи адаптера AC/DC, батареи или USB кабеля. Токовая защита представлена

самовосстанавливающимся предохранителем. Рабочие характеристики платы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики Arduino UNO

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Длина и ширина печатной платы Uno составляют 6,9 и 5,3 см соответственно. Разъем USB и силовой разъем выходят за границы данных размеров. Четыре отверстия в плате позволяют закрепить ее на поверхности. Расстояние между цифровыми выводами 7 и 8 равняется 0,4 см, хотя между другими выводами оно составляет 0,25 см.

Arduino Uno может питаться как от USB подключения, так и от внешнего источника: батарейки или обычной электрической сети. Источник определяется автоматически. Рекомендуемый диапазон: 7-12 В (хорошо). При работе на предельных напряжениях 6-20 В возможен перегрев и неустойчивая работа контроллера, а при превышении выход из строя. На плате Arduino доступны следующие контакты для доступа к питанию: Vin предоставляет тот же вольтаж, что используется для питания платформы. При подключении через USB будет равен 5 В.

5V предоставляет 5 В вне зависимости от входного напряжения. На этом напряжении работает процессор. Максимальный допустимый ток, получаемый с этого контакта — 800 мА.

3.3V предоставляет 3,3 В. Максимальный допустимый ток, получаемый с этого контакта — 50 мА. GND — земля.

Платформа оснащена тремя типами памяти: flash-памяти (ПЗУ) размер 32 кб из которых 2 кб занимает bootloader — программа для загрузки контроллера через USB компьютера прошивается производителем. Оставшееся место отведено под загрузку программ управления контроллером, изменяется только при прошивке (начальной загрузке) программ и в ходе работы контроллера меняться не может. SRAM-память (ОЗУ) размер 2 кб, которые используются для хранения временных данных получаемых в процессе работы контроллера. При обесточивании теряет свое содержимое. EEPROM-памяти 1 кб для долговременного хранения данных. По своему назначению это аналог жёсткого диска для Arduino. Может использоваться для долговременного хранения значений переменных независимо от наличия питающего напряжения.

Цифровой интерфейс 14 контактов (pins) работают с напряжением 5 В, и рассчитаны на ток до 40 мА. Режим работы (ввод/вывод) определяется для каждого контакта в отдельности программно при программировании. Некоторые контакты обладают дополнительными ролями: Serial: 0-й и 1-й. Используются для приёма и передачи данных по USB. Внешнее прерывание: 2-й и 3-й. Эти контакты могут быть настроены так, что они будут провоцировать вызов заданной функции при изменении входного сигнала.

PWM: 3-й, 5-й, 6-й, 9-й, 10-й и 11-й (на плате помечены ~). Могут являться выходами с широтно-импульсной модуляцией (pulse-width modulation) с 256 градациями.

LED: 13-й. К этому контакту подключен встроенный в плату светодиод. Если на контакт выводится 5 В, светодиод зажигается; при нуле — светодиод гаснет.

Аналоговый интерфейс: 6 контактов, каждый из которых предоставляет разрешение в 1024 градации. Режим работы (ввод/вывод) определяется для каждого контакта в отдельности программно при написании программы. По умолчанию значение измеряется между землёй и 5 В. Так же есть возможность изменения верхнего предела, для чего необходимо подача напряжения нужной величины на контакт AREF.

Reset аппаратный сброс входной контакт при установке в логический ноль приводит к сбросу процессора аналогично кратковременному обесточиванию контроллера.

Arduino Uno обладает несколькими способами общения с другими Arduino, микроконтроллерами и обычными компьютерами. С платой можно установить последовательное соединение (Serial UART) через 0 и 1 контакты. Установленный на платформе микрочип ATmega16 позволяет осуществить это соединение через USB порт компьютера, при этом на компьютере становится доступен ,так называемый, виртуальный COM-порт, который необходимо указать вручную для правильной работы платы и программы. Программная часть Arduino включает оконную утилиту, которая позволяет обмениваться текстовыми сообщениями по UART каналу. Встроенные в плату светодиоды RX и TX светятся, когда идёт передача данных между чипом ATmega162U и USB компьютера. Отдельная библиотека позволяет организовать последовательное соединение с использованием любых других контактов, не ограничиваясь штатными 0-м и 1-м. С помощью плат расширения, которые так же производятся компанией Arduino и другими фирмами, становится возможна организация других способов взаимодействия, таких как Ethernet-сеть, радиоканал или же Wi-Fi соединение[26].

Выбор платы Arduino Uno в качестве отладочной обуславливался наличием опыта работы с ней, непосредственным наличием платы, дальнейшей возможностью замены платы на более компактную без изменения кода программы, возможностью замены отладочной платы непосредственно на микроконтроллер ATmega328, широкая распространенность платы.

3.1.2 Описание ПЗС матрицы

В качестве светочувствительного элемента был выбран датчик от компании iC-LFL1402. Данный датчик имеет 256 активных пикселей и разрешение 400DPI. Ширина одного активного пикселя составляет 56 микрометров, ширина корпуса датчика равна 1,7 мм, длина 16,6 мм [27].

LFL1402 является преобразователем мощности излучения в выходное напряжение. Не имеет разрывов и искажений между светочувствительными пикселями, благодаря их монолитной интеграции. Каждый пиксель состоит из фотодиода, размером 56.4 x 200 мкм, конденсатора и схемы управления. Интегрированная логика управления позволяет сделать работу со светодиодом очень простой: используя лишь сигнал синхронизации и сигнал тактирования.

После того, как было подано питание, происходит внутренний сброс всех параметров: конденсаторы разряжаются и датчик приходит в изначальное состояние. Высокий сигнал на входе SI и нарастающий фронт на CLK запускает цикл считывания, а вместе с ним новый цикл интеграции (рисунок 18). При помощи специальной процедуры все 256 пикселей можно считать за 256 тактовых импульсов.

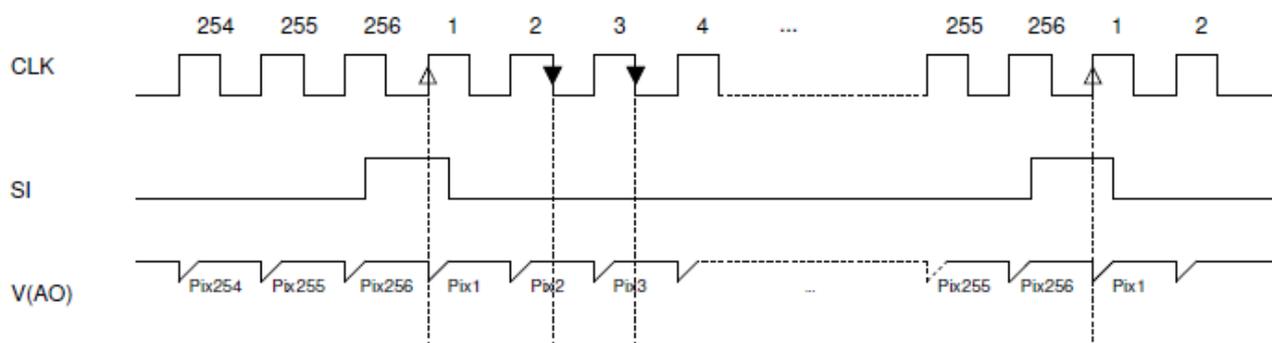


Рисунок 18 – Считывание пикселей датчика

Большинство ПЗС матриц имеют наибольшую чувствительность в диапазоне излучения 500-800нм. Такие длины волн соответствует красному спектральному свету[28]. Поэтому, чаще всего в приборах, работающих на основе ПЗС, используются когерентные монохроматические лазерные излучатели.

Датчик LFL1402 имеет светочувствительную диаграмму, показанную на рисунке 19. Максимальную чувствительность датчик имеет в диапазоне длин волн 620 – 780 нм.

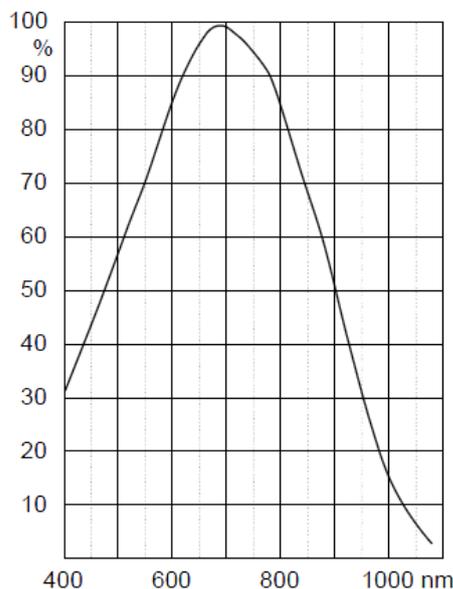


Рисунок 19 – Диаграмма светочувствительности датчика

3.1.3 Выбор источника излучения

Так как было решено отказаться от использования дополнительных оптических систем, состоящих из линз, что бы уменьшить погрешности измерения, необходим когерентный источник излучения, лучи которого не будут являться гомоцентрическими, т.е. сходящимися в одной точке пространства. Кроме этого, источник излучения должен обеспечивать чувствительность датчика, близкую к максимально возможной, т.е. излучать волны с длинами волн, описанных в пункте 3.1.2.

Существует несколько способов добиться вышеперечисленных условий. Во-первых, согласно рисунку, максимальную чувствительность выбранный датчик показывает при длине волны 700нм. Это соответствует красному цвету на границе видимого и инфракрасного излучений (рисунок 20).

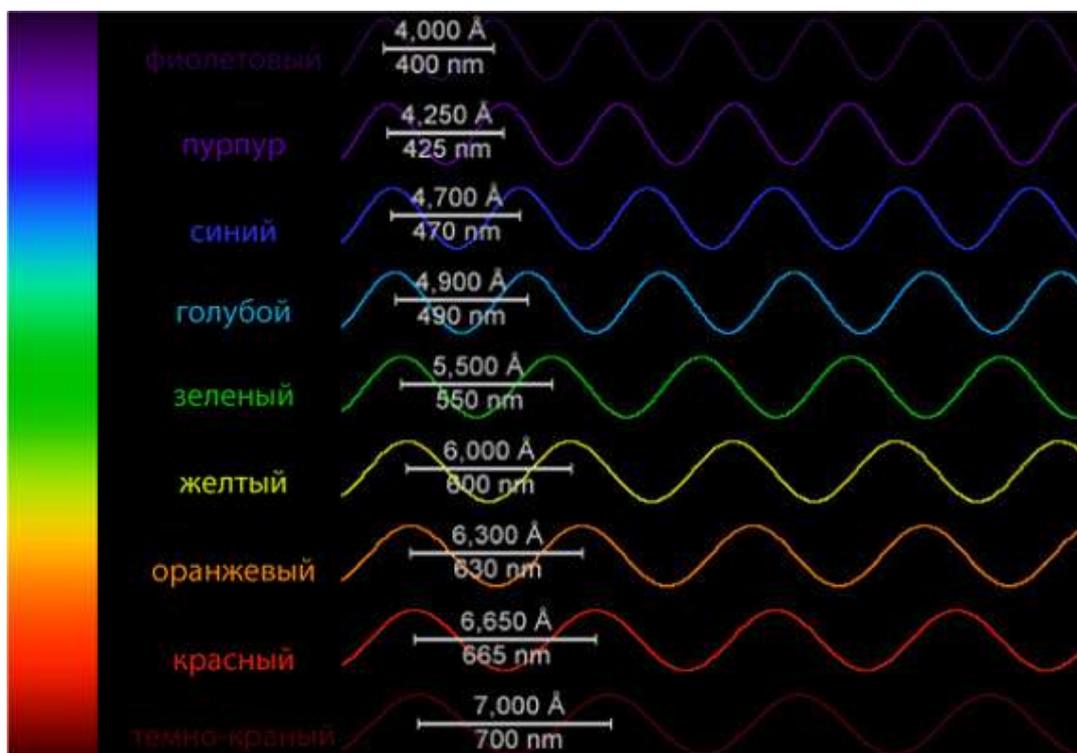


Рисунок 20 – Длины световых волн

Таким образом, источником должен быть красный лазер.

Во-вторых, большинство производимых лазеров, имеют диаметр светового пятна около 3-5 мм и цилиндрический корпус, диаметрами от 5,2 до 22мм. В связи с чем, возникает проблема полного освещения датчика при помощи лазерного излучателя.

В ходе анализа возможных решений данной проблемы было выделено 3 возможных метода ее решения.

- 1) Использование нескольких лазерных диодов, излучающих под углом к отражающему зеркалу;
- 2) Создание расширяющего коллиматора;
- 3) Поиск лазеров с большим световым пятном.

Использование нескольких лазерных диодов позволяет расширить диапазон области, засвечиваемой источником излучения, но сильно усложняет и нагромождает конструкцию. Кроме этого, лазерные излучатели очень требовательны к стабильности питания: лазерный диод боится статического электричества, микросекундных всплесков напряжения и превышения рабочего тока.

Чем больше лазерных диодов используется в устройстве – тем сложнее поддерживать стабильность тока напряжения и т.д. Поэтому для управления питанием в лазерных излучателях используются драйверы. Пример самого простейшего драйвера можно увидеть на рисунке 21.

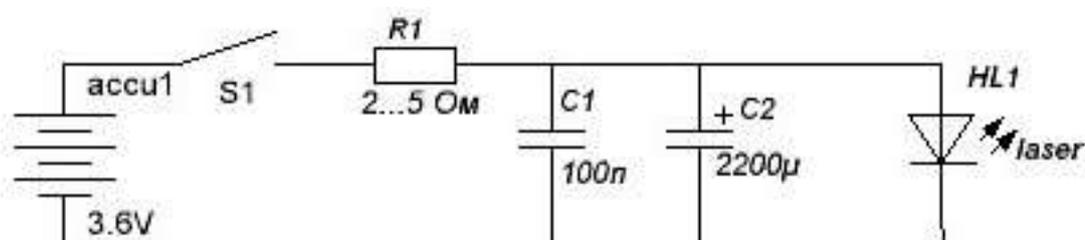


Рисунок 21 – Схема простейшего лазерного драйвера

Минус рассмотренной схемы заключается в том, что при снижении заряда на источнике питания диод будет уменьшать мощность излучения.

Примеров драйверов для лазерных диодов много в интернете. При желании можно выбрать из готовых проектов под необходимые характеристики.

На рисунке 22 представлен драйвер на микросхеме LM358.

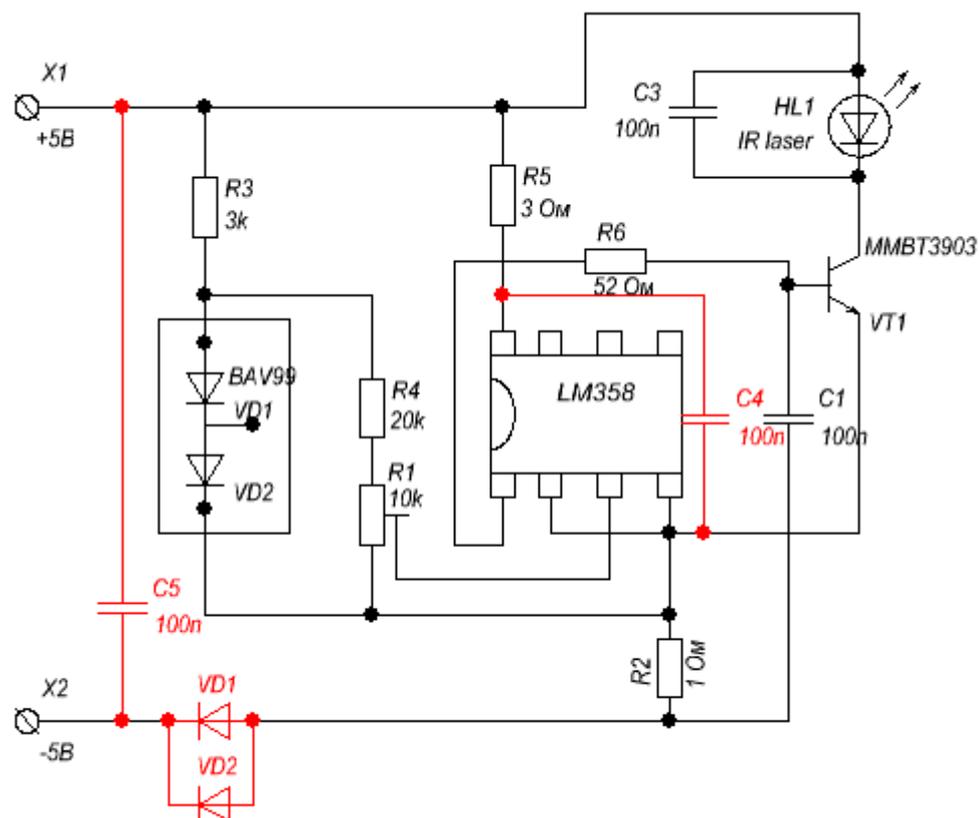


Рисунок 22 – Схема драйвера лазера на микросхеме LM 358

LM358 представляет собой операционный усилитель с двумя каналами управления. Отличительной особенностью данной микросхемы является сверхмалое энергопотребление и высокий коэффициент усиления. Микросхема имеет внутреннюю частотную коррекцию. Питание может осуществляться от однополярного источника питания с большим диапазоном напряжений от 3В до 30В. Малый ток потребления ОУ до 2мА практически не зависит от напряжения питания. Основная область применения операционного усилителя LM358 – усилитель постоянного тока, преобразовательный усилитель, а так же, усилитель общего назначения в схемах с однополярным источником питания.

Создание расширяющего коллиматора, на мой взгляд, более перспективное решение, чем описанное выше, но так же не лишено своих недостатков: включение дополнительных линз является неизбежным при этом решении проблемы. Как оказалось – на практике необходимую по параметрам линзу зачастую невозможно найти в свободном доступе, а заказывать у

производителей штучный экземпляр экономически нецелесообразно. Другое дело, если речь идет о серийном производстве крупной партии.

Тем не менее, существуют готовые изделия, позволяющиератно увеличивать световое пятно лазеров [31,32]. Цена таких изделий довольно высока относительно стоимости самого лазерного излучателя, что является минусом данного решения.

В ходе дополнительных поисков лазеров с увеличенным световым пятном была обнаружена M-22B660-130-G, внешний вид излучателя представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Внешний вид M-22B660-130-G

Данная модель производится Китайской фирмой MTO-laser и имеет диаметр светового пятна 16,5 мм. Этого как раз хватает для полного перекрытия светочувствительной зоны датчика. Цена данного излучателя составляет порядка 1000 рублей за один источник излучения.

Длина волны выбранного излучателя равна 650 нанометров, его чувствительность будет чуть ниже максимальной: около 96%.

3.2 Разработка алгоритма тестирования датчика

Так как у выбранных датчиков размеры пикселей заведомо больше необходимой точности, был рассмотрен вариант исполнения с 2 ПЗС линейками в одном корпусе. Датчики должны быть смещены друг относительно друга на половину пикселя. Современные технологии обработки вполне могут обеспечить такую точность [29, 30]. Таким образом, будет увеличена точность измерений, а так же надежность устройства.

Условно, его можно разбить на несколько частей:

- 1) Инициализация параметров и определение значений засвеченных и не засвеченных пикселей, масштабирование полученных значений;
- 2) Реализация алгоритма считывания пикселей;
- 3) Вычисление диаметра измеряемого объекта.

Для начала рассмотрим алгоритм получения значений с одного датчика LFL1402. Алгоритм считывания всех пикселей представлен на рисунке 24.

По таблице 2 необходимо выбрать соответствующие биты и задать им необходимое значение.

Таблица 2 – Значения битов предделителя

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Предделитель
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

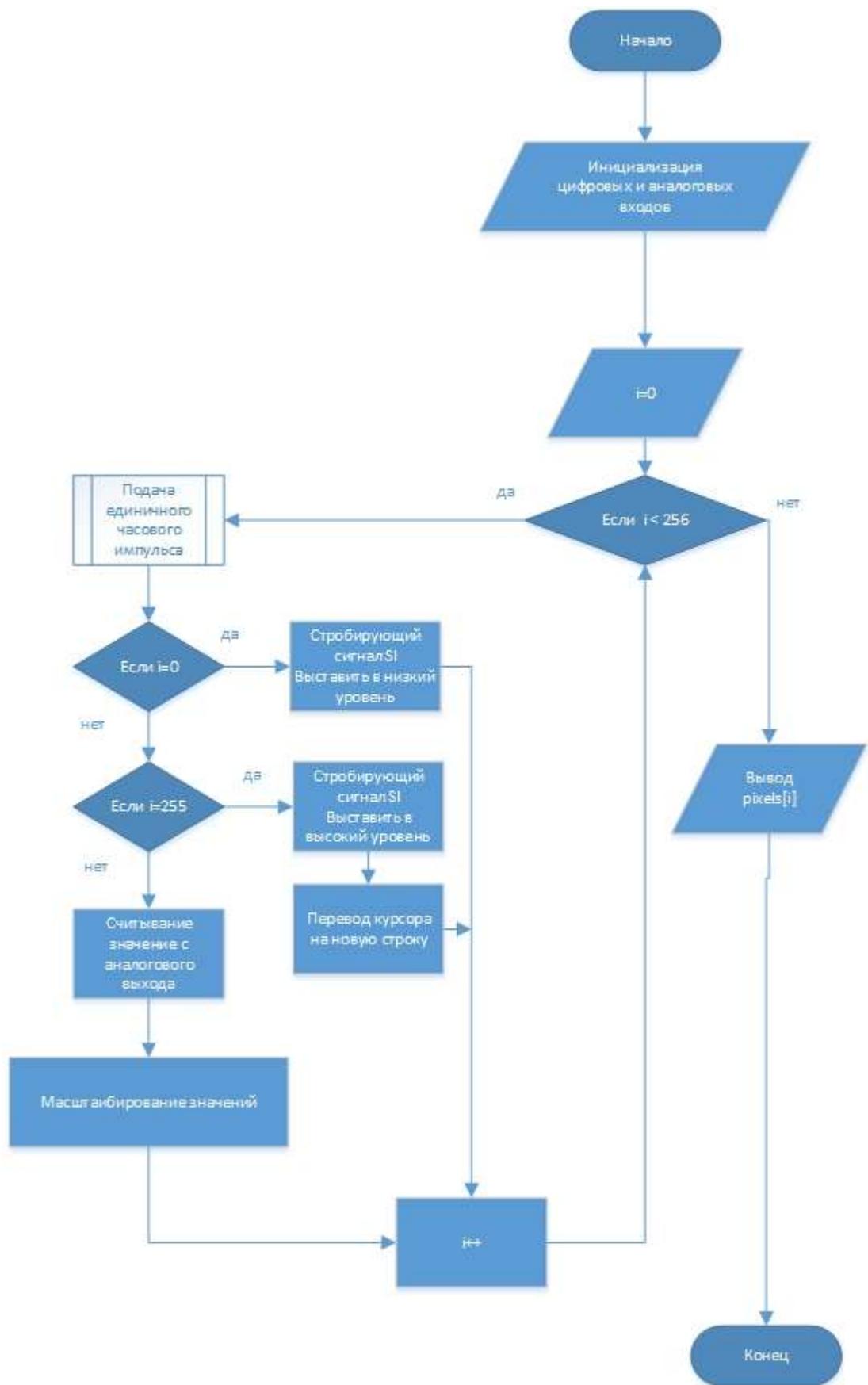


Рисунок 24 – Алгоритм управления считыванием пикселей

3.3 Разработка кода управляющей программы

Для работы с LFL1402 мной был использован пределитель частоты. Пределитель необходим для изменения частоты работы АЦП. Микроконтроллер ATmega328 имеет 8 битную архитектуру и 10 битный АЦП. Упрощеную структуру АЦП микроконтроллера можно увидеть на рисунке 26.

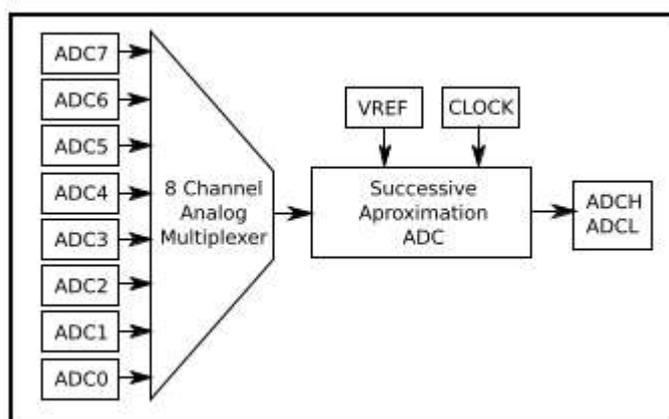


Рисунок 26 – Структура АЦП ATmega328

Из рисунка видно, что результат преобразования будет сохраняться в двух регистрах: ADCH и ADCL (высокий и низкий уровень соответственно).

Формула для вычисления значения преобразования АЦП выглядит следующим образом:

$$A = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \cdot 1023. \quad (4)$$

Если V_{IN} равен 0 вольт преобразованное значение будет 0. Если $V_{IN} = V_{REF}$ преобразованное значение будет 1023.

Так же, пределитель влияет на работу встроенного в микроконтроллер таймера. Формула зависимости:

$$f = \frac{v}{p}, \quad (5)$$

где v – частота работы микроконтроллера, p – выставленный пределитель.

Значения битов ADPS и соответствующего значение пределителя представлены в таблице 2 в разделе 3.2.

Коэффициент деления устанавливается с помощью битов ADPS в регистре ADCSRA (регистр управления состоянием). Предделитель начинает счет с момента включения АЦП установкой бита ADEN в регистре ADCSRA. Предделитель работает пока бит ADEN = 1 и сброшен, когда ADEN равен 0. Если требуется максимальная разрешающая способность (10 разрядов), то частота на входе схемы последовательного приближения должна быть в диапазоне от 50 до 200 кГц. Если достаточно разрешение менее 10 разрядов, то частоту можно установить больше 200 кГц. Нормальное аналогово-цифровое преобразование потребует 13 тактов синхронизации АЦП. Первое, после включения АЦП, преобразование (установка ADEN в ADCSRA) потребует 25 тактов синхронизации АЦП за счет необходимости инициализации аналоговой схемы. По завершении преобразования результат помещается в регистры данных АЦП и устанавливается флаг ADIF. В режиме одиночного преобразования одновременно сбрасывается бит ADSC. Программно бит ADSC может быть снова установлен и новое преобразование будет инициировано первым нарастающим фронтом тактового сигнала АЦП. В режиме автоматического перезапуска новое преобразование начинается сразу по завершении предыдущего, при этом ADSC остается в состоянии логической «1».

Таймер управляется регистром TCNT в микроконтроллере. Предделитель настраивается битами CS регистра TCCR. Значения битов и описание полученной частоты представлено в таблице 3.

Таблица 3 – значения битов CSn1

CSn12	CSn11	CSn 10	Описание
0	0	0	Нет синхронизации. Таймер-счетчик остановлен.
0	0	1	clk/1 (без предделения)
0	1	0	clk/8 (с предделением)
0	1	1	clk/64 (с предделением)
1	0	0	clk/256 (с предделением)
1	0	1	clk/1024 (с предделением)
1	1	0	Внешний тактовый источник с выв. Тп. Синхронизация по падающему фронту.
1	1	1	Внешний тактовый источник с выв. Тп. Синхронизация по нарастающему фронту.

В среде разработки Arduino IDE настройка таймера осуществляется следующей строчкой:

```
TCCR1B = (1<<CS12)/(0<<CS11)/(1<<CS10); //установка предделителя 1024.
```

Для изучения влияния предделителя на работу системы в коде программы были описаны все возможные варианты предделителей:

```
const unsigned char PS_2 = (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_4 = (1 << ADPS1);
const unsigned char PS_8 = (1 << ADPS1) / (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_16 = (1 << ADPS2);
const unsigned char PS_32 = (1 << ADPS2) / (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_64 = (1 << ADPS2) / (1 << ADPS1);
const unsigned char PS_128 = (1 << ADPS2) / (1 << ADPS1) / (1 <<
ADPS0);
```

Далее объявляются номера портов подключения датчика к микроконтроллеру, согласно рисунку. Считывание аналогового значения уровня напряжения с датчика будет осуществлять с помощью вывода A0:

```
int pixelValue_pin = A0;
```

Строблирующий сигнал, разрешающий перезапуск цикла считывания значений с A0 будет подаваться на пин под номером 7 на плате:

```
int si_pin = 7;
```

Тактирующий сигнал, отсчитывающий промежутки переключения светочувствительных пикселей будет подаваться на пин под номером 8 на плате:

```
int clk_pin = 8;
```

Результаты считывания с *pixelValue_pin* должны где то сохранятся для последующей обработки. Для этого создадим массив из 256 элементов беззнакового целочисленного типа *uint8_t*. Цифра 8 здесь показывает количество битов.

Далее необходимо указать состояние пинов 7 и 8. Они могут работать как входа и как выхода, соответственно. Так как 7 пин – это строблирующий, а 8 пин – тактирующий выхода, то настройка режимов работы будет осуществлена при помощи функции *pinMode*, которая устанавливает режим работы заданного пина как входа или как выхода. Функция имеет следующий синтаксис: *pinMode(pin, mode)*, где *pin* - номер вход/выхода(*pin*), который вы хотите установить; *mode* - режим одно из двух значение - INPUT или OUTPUT, устанавливает на вход или выход соответственно.

Таким образом, определение 7 и 8 пина как выхода описывается следующей строкой:

```
pinMode(si_pin, OUTPUT);
```

```
pinMode(clk_pin, OUTPUT);
```

Так как для правильного функционирования датчика необходимо подобрать нужный пределитель, необходимо удалить биты, отвечающие за настройку пределителя по умолчанию:

```
ADCSRA &= ~PS_128;
```

После того, как биты установлены в 0, можно записывать в регистр необходимую нам комбинацию битов, которые были определены в самом начале программы. Для нашего случая это будет пределитель 8:

ADCSRA /= PS_8;

Для того, что бы четко отслеживать правильность работы подключенного сенсора, необходимо мониторить данные с выхода А0 в реальном времени. Наиболее простой способ – это посылать снятые с аналогового выхода значения на компьютер при помощи параллельного порта.

Arduino IDE имеет в своем наборе встроенные инструменты для мониторинга последовательного интерфейса. За связь с платы ПК по параллельному соединению отвечает набор функций Serial. Кроме этого, он служит для связи устройства Ардуино с другими устройствами, поддерживающими последовательный интерфейс обмена данными, о котором было рассказано в разделе 3.1.1. Следует отметить особенность использования последовательного соединения Arduino: если используется функция Serial, то невозможно одновременно с этим использовать порты 0 и 1 для других целей [33].

Набор команд Serial включает в себя 9 функций, предназначенных для инициализации, завершения соединения, проверки его доступности и передачи данных в различных формах.

Рассмотрим функции, которые использовались при написании кода подробнее.

Serial.begin() – проводит инициализацию последовательного соединения. Имеет следующий синтаксис: Serial.begin(speed), в скобках указывается частота работы порта. При разной частоте на ПК и на отладочной плате данные будут передаваться с искажением. Поэтому очень важно выставить одинаковые значения.

Существует несколько стандартных значений частот, которые измеряются в бит/с или бодах. Ардуино поддерживает частоты 9600, 19200, 38400, 57600, 74880, 115200, 230400 и 250000 бод.

Окно выбора частоты на ПК показано на рисунке

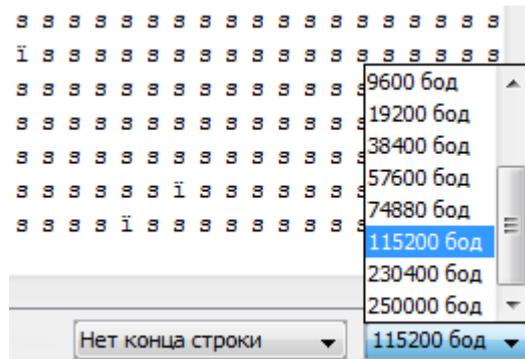


Рисунок 27 – Форма выбора частоты обмена данными на ПК

`Serial.write()` - отвечает за передачу данных в битовой форме (в форме бинарного кода). Данные могут передаваться как один или как несколько байтов. Имеет следующий синтаксис: `Serial.write(a)`, `Serial.write(a,b)` где `a` может принимать значения одного байта, строки (серия байтов), массива байтов (в данном случае необходимо указывать длину массива `b`).

`Serial.print()` – так же отвечает за передачу данных, но уже в кодировке ASCII. Функция может работать с разными типами данных: целые числа выводятся соответствующими им символами ASCII. Вещественные выводятся с помощью двух ASCII символов, для целой и дробной части. Байты передаются как символ с соответствующим номером. Символы и строки отсылаются как есть. Имеет следующий синтаксис: `Serial.print(val, format)`, где `val` – передаваемые данные, `format` – формат передаваемых данных. Формат данных представлен в таблице 4. В качестве примера рассмотрим передачу через последовательный порт числа «78» в различных форматах.

Таблица 4 – Форматы данных

format	Обозначение	Что выводится
BYTE	Байтовый	N
BIN	Бинарный	1001110
OCT	Восьмиричный	116
DEC	Десятиричный	78
HEX	Шестнадцатиричный	4E

Если оставить параметр `format` незаполненным, то по умолчанию компилятором будет использоваться десятиричный формат данных.

Для выполнения обмена данными с датчика был инициализирован последовательный порт передачи данных на скорости 11500 бод/с:

```
Serial.begin(115200);
```

После всех выполненных определений и инициализаций переменных приступаем непосредственно к реализации разработанного алгоритма. Весь алгоритм будет выполняться в бесконечном цикле, который запускается строкой `void loop(){}.` Код основной программы должен выполняться в фигурных скобках.

Так как количество пикселей датчика равно 256 – необходимо организовать цикл, внутри которого будут подаваться импульсы с выходов `si` и `clk`. Согласно даташиту, импульс `si` необходимо подать, когда будет считываться 256 пиксель. После подачи импульса, необходимо дождаться нарастающего фронта `clk` импульса для 1 пикселя, и после этого, установить `si` в низкий уровень. Графически взаимное расположение фронтов импульсов показано на рисунке 28.

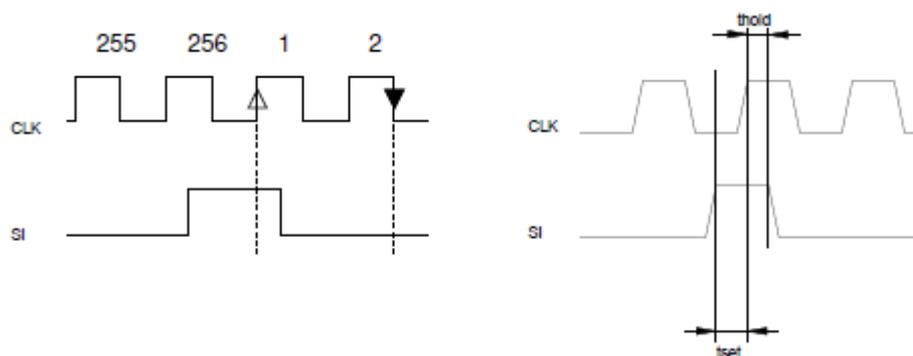


Рисунок 28 – Расположение фронтов управляющих импульсов

Из рисунка так же видно, что для стабильности стробирующего импульса после установления `clk` в высокий уровень необходимо не менее 50 наносекунд. Таким образом, длина импульса `si` должна быть больше чем 1 микросекунда. При проверке длительности импульсов на осциллографе с предделителем частоты `ADCSRA /= PS_8` длительность импульсов составила чуть больше 100

микросекунд, что удовлетворяет условию из рисунка 28. Результаты проверки длительности импульсов представлены на рисунках 29 и 30.

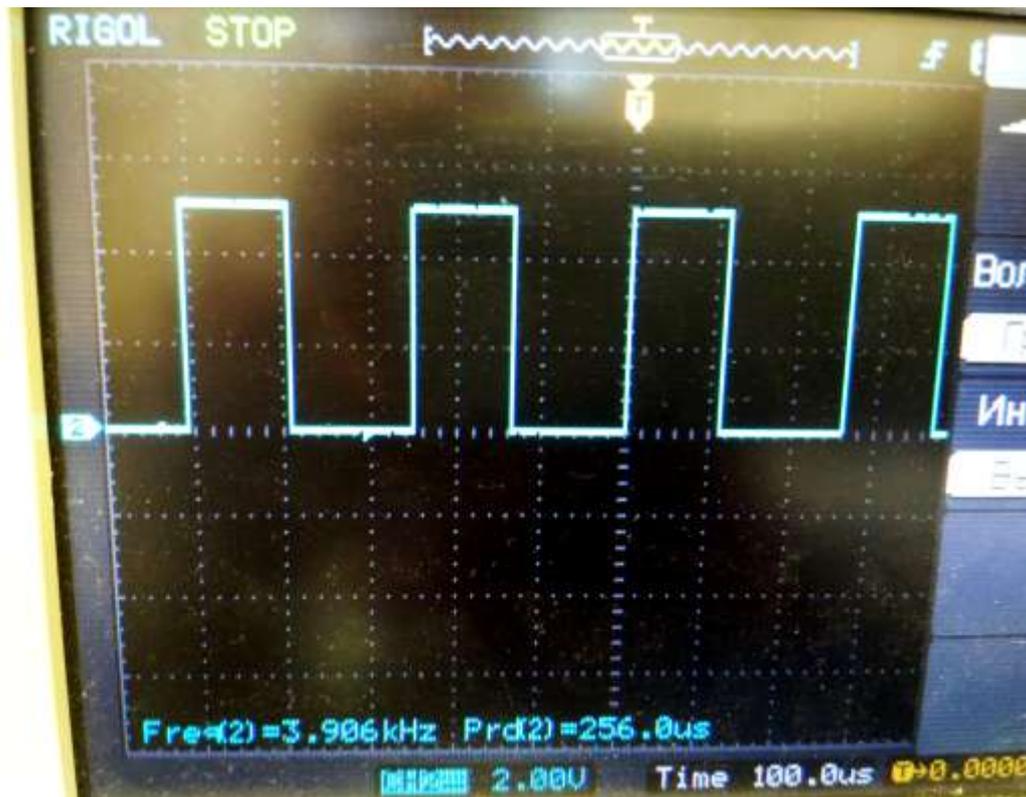


Рисунок 29 – Показания с осциллографа для сигнала с выхода s_k .

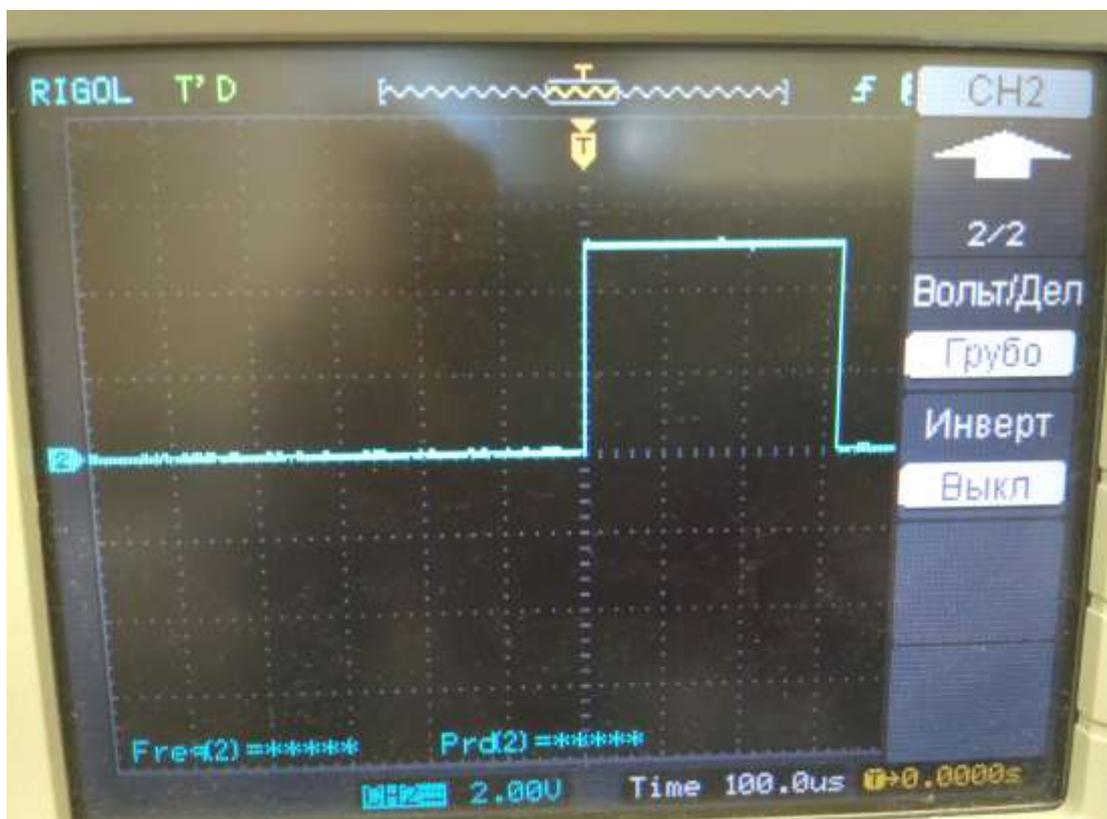


Рисунок 30 – Показания с осциллографа для сигнала с выхода s_i

Для создания цикла будем использовать конструкцию с предусловием:

```
for (i = 0; i < 256; i++) {}
```

Внутри тела цикла будем управлять пинами *si clk*. Так же, необходимо проверять условия перезапуска цикла считывания напряжения с аналогового выхода:

```
if (i == 0) {  
    digitalWrite(si_pin, LOW);  
    }  
else if (i == 255) {  
    digitalWrite(si_pin, HIGH);  
    }
```

При таком алгоритме считывания пикселей необходимо пропустить самую первую строчку значений, так как с большой вероятностью она будет содержать не 256 записей, а больше.

Считывание значения интенсивности излучения, переведенного в получаемое напряжение происходит при помощи функции *analogRead()*. Как уже было сказано выше, микроконтроллер имеет 10-битный АЦП частоту которого можно изменять.

После того, как пиксель был считан строкой

```
value = analogRead(pixelValue_pin);
```

в переменную *value* записывается считанное значение. И счетчик цикла *i* прибавляет единицу. Цикл повторяется до тех пор, пока не достигается условие *i<256*.

Вывод массива значений осуществляется строкой

```
Serial.write((uint8_t*)pixels, (size_t)256);
```

```
Serial.println();
```

Результат работы программы представлен на рисунке 31.

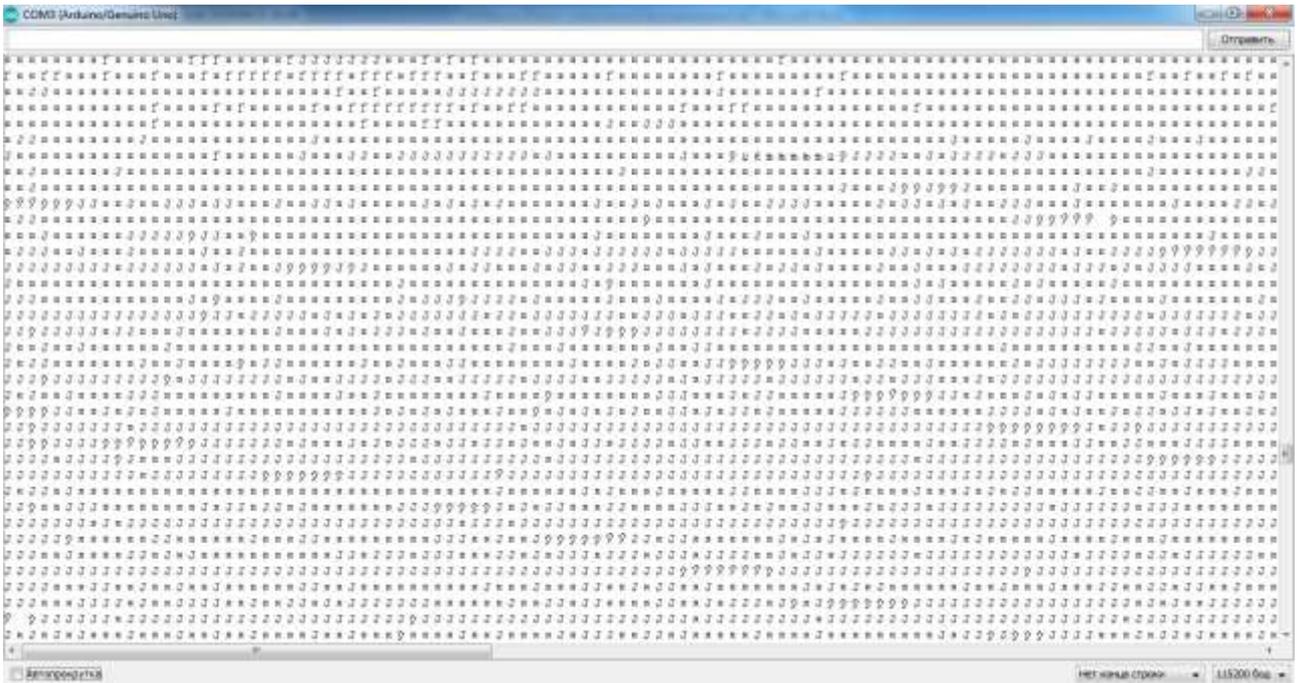


Рисунок 31 – Вывод данных через последовательное соединение

Как было описано ранее, команда *Serial.write()* работает с битовыми данными. То есть на рисунке мы видим значение напряжения в милливольтках, переведенное в ASCII кодировку.

Для наглядности можно изменить программу, используя функцию *Serial.print()*. Тогда значения будут выводиться непосредственно в милливольтках. Результат изменения программы показан на рисунке 32.

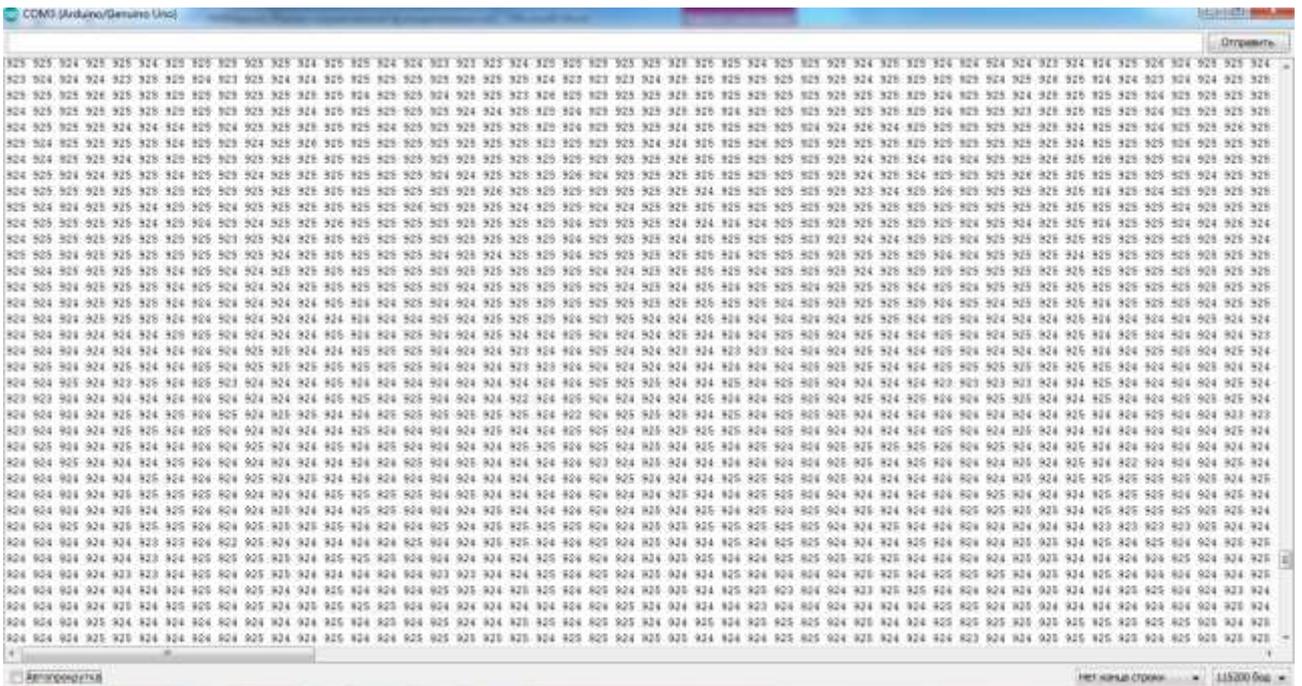


Рисунок 32 – Вывод данных в числовом формате

Показания 900-960 соответствуют неактивному состоянию единичного светочувствительного элемента. То есть свет не падает на элемент. Показания меньше 40 соответствуют максимальной мощности зарегистрированного излучения.

На рисунке 33 видна реакция датчика на смещения светового пятна лазерного излучения вдоль линии расположения светочувствительных элементов.

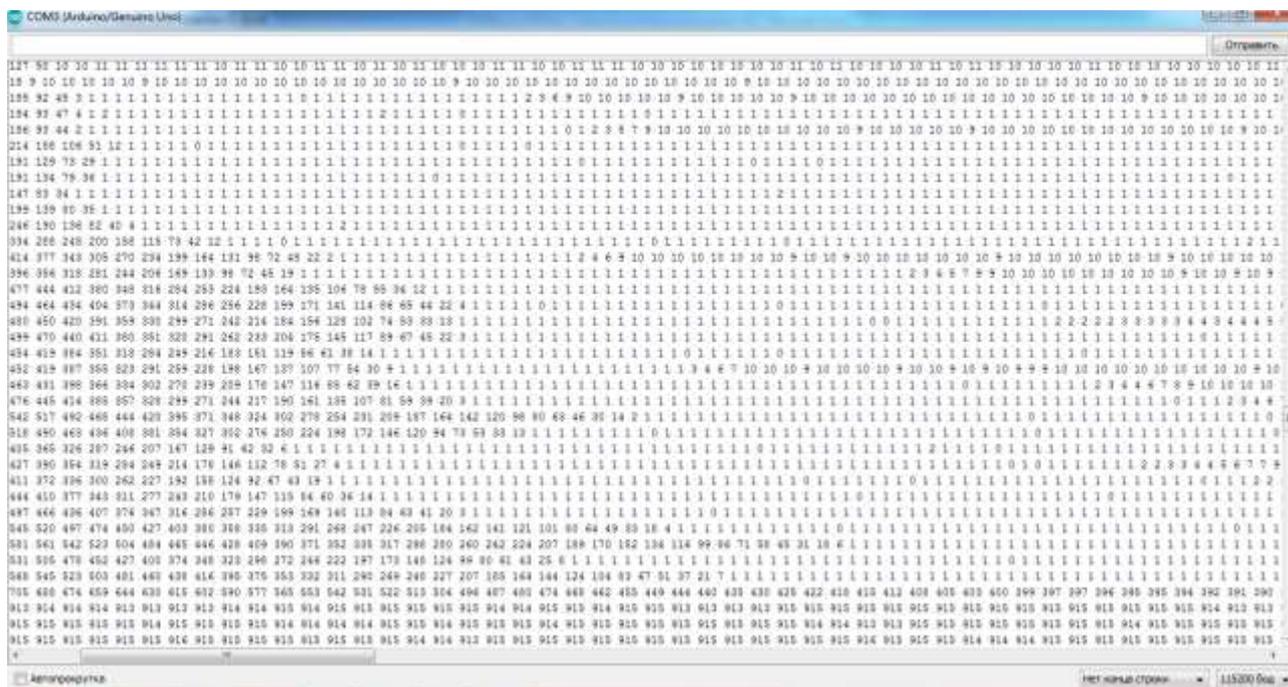


Рисунок 33 – Изменение показаний при освещении датчика

После того, как был подключен первый датчик необходимо по аналогии подключить к отладочной плате второй и написать программу для подсчета количества пикселей, на которые попала тень от измеряемого объекта. После этого, умножив количество на размер пикселя мы получим ширину отбрасываемой тени.

При этом возникает проблема фиксирования измеряемого объекта на неизменном расстоянии от светочувствительных ПЗС-линеек. Даже несмотря на то, что в качестве источника был выбран лазерный излучатель, не удалось полностью отказаться от использования линз в разрабатываемом устройстве.

Абсолютно все лазерные излучатели, которые излучают узконаправленный пучок света имеют в своей конструкции коллиматор – специальное оптическое устройство для получения параллельных пучков лучей света.

Оптический коллиматор включает в себя объектив, в фокальной плоскости которого расположен источник излучения малого диаметра. Один из наиболее распространенных вариантов – отверстие малого диаметра или щель. Лучи, которые не параллельны главной оптической оси, поглощаются стенками корпуса, для исключения их дальнейшего влияния. После отверстия, луч попадает на линзу, у которой будут присутствовать aberrации. В дополнение к aberrациям самой линзы существует погрешность установки линзы относительно источника излучения, корпуса и т.д. Из-за этого после линзы луч будет не строго параллельным, что показано на рисунке 34.

Поэтому, для уменьшения влияния aberrаций в линзе коллиматора и неточностей установки в корпус, измеряемый пластиковый пруток следует стабилизировать. Наиболее простой способ – поставить ролик, который будет направлять и поддерживать пруток.

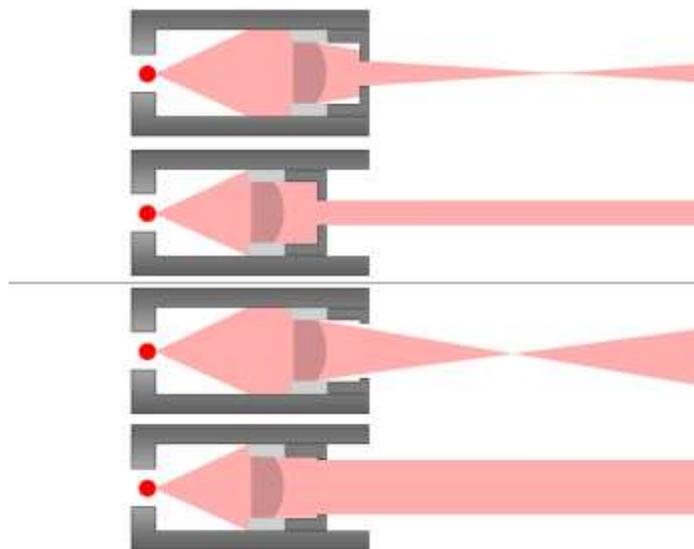


Рисунок 34 – Причины отклонения лучей на выходе коллиматора

Для подсчитывания количества пикселей, на которые попала тень, в начале программы необходимо откалибровать датчик таким образом, что бы знать максимальные и минимальные значения с выхода освещенности.

Для этого, подключим к драйверу лазера реле, которое будет управлять подачей питания 5В на излучатель. Схема реле представлена на рисунке 35.

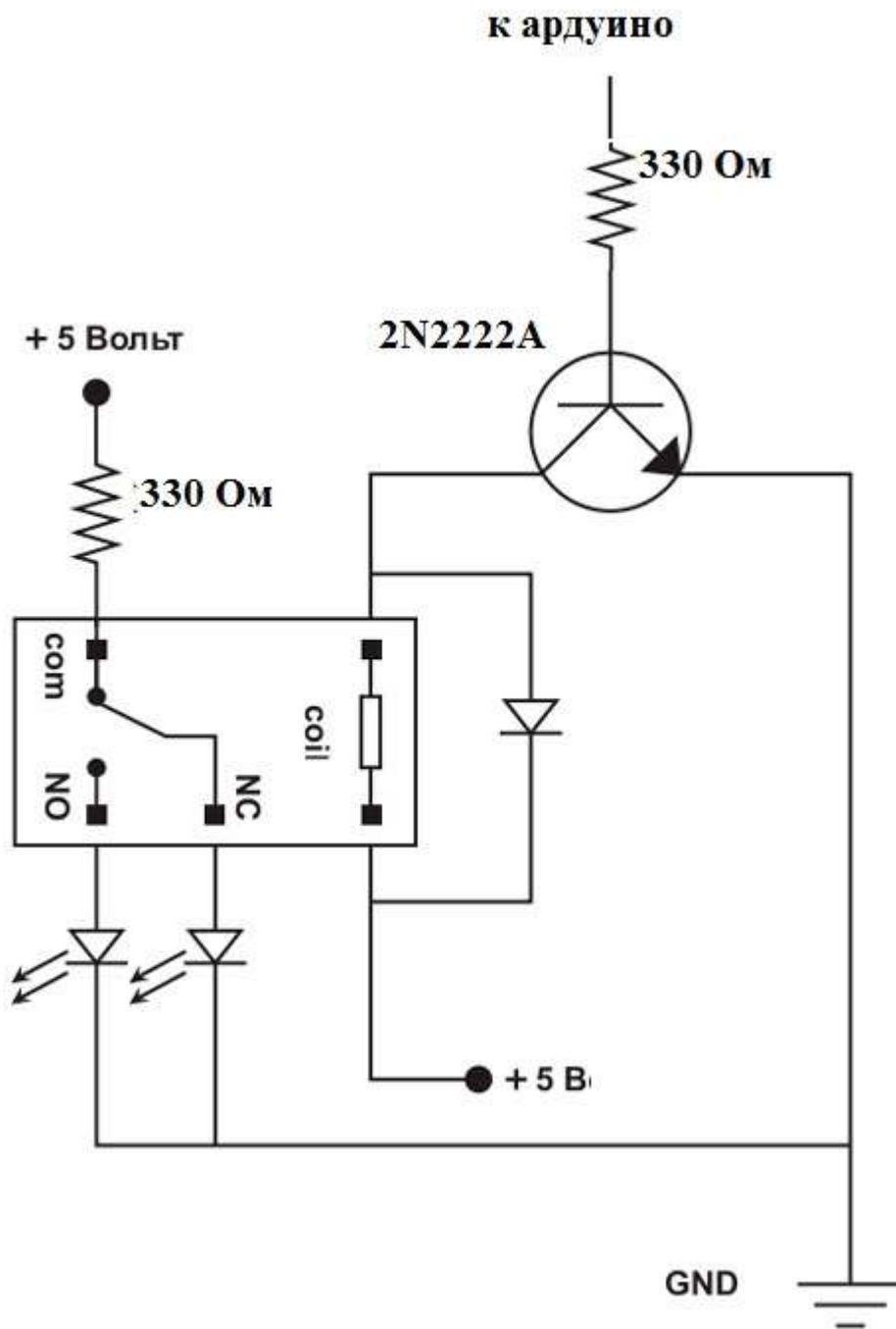


Рисунок 35 – Принципиальная схема реле

Теперь в начале программы необходимо записать значения с аналогового выхода датчика LFL1402 без включенного излучателя, а после – со включенным. Вывод, управляющий реле подключаем ко второму цифровому выводу платы. Ждем, пока пройдет 10 циклов считывания, и записываем сумму получившихся значений при считывании 10 цикла в переменную *black*, поделив при этом получившуюся сумму на количество пикселей в линейке. После подаем высокий уровень на 2 пин и так же производим 10 циклов, с записью значений последнего цикла, деленных на 256 в переменную *white*.

Теперь рассчитаем пределы в которых меняются значения активности пикселя при помощи функции *map()*.

Данная функция имеет следующий синтаксис: *map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh)*, где *value* является значением, которое надо пропорционально преобразовать, из диапазона (*fromLow, fromHigh*) в диапазон значений (*toLow, toHigh*).

Согласно рисунку (), нижний диапазон *fromLow* будет равен 450, а верхний диапазон *fromHigh* будет равен 2400, нижняя граница *toLow* будет равна значению переменной *black*, верхняя граница *toHigh* приравняется *white*. Таким образом, мы сопоставили АЦП преобразование с контрольными уровнями аналогового выхода датчика.

Проверка амплитуды сигнала при попадании излучения на датчик показана на рисунке 36 и равна около 1,9 В.

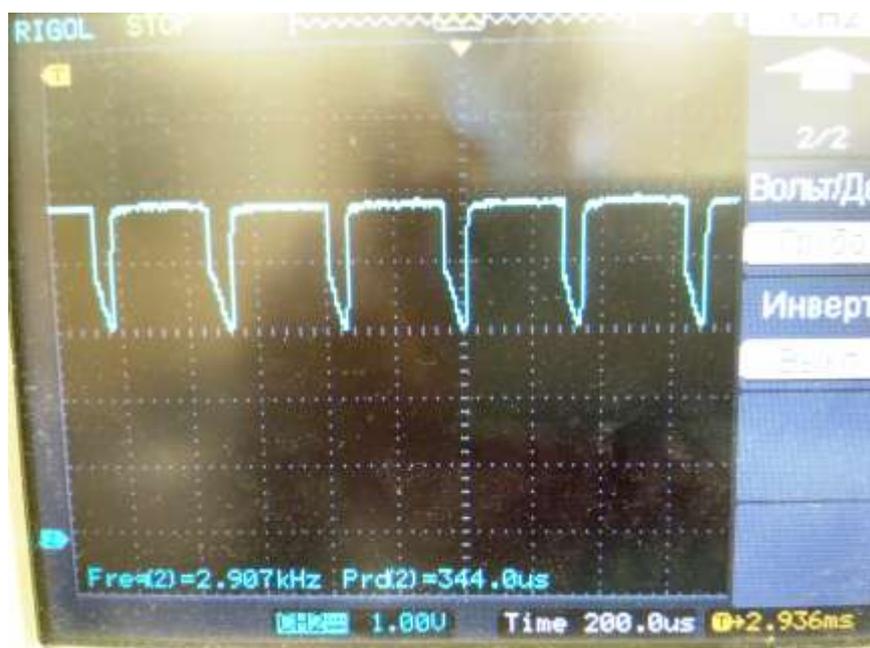


Рисунок 36 – Показания осциллографа для аналогового выхода АО

Теперь, для упрощения вычислений представим напряжение, в цифровой форме, при этом согласно рисунку 28, примем значения больше 0,8 мВ за высокий уровень, а значения меньше 0,8 мВ – за низкий. После этого необходимо просуммировать получившиеся значения и умножить их на 56. Результатом станет длина тени, падающей на ПЗС линейку в микрометрах. Для удобства восприятия можно перевести значения в миллиметры, разделив получившуюся сумму на 1000.

Результат работы программы показан на рисунке 37. Листинг программы представлен в приложении Б.

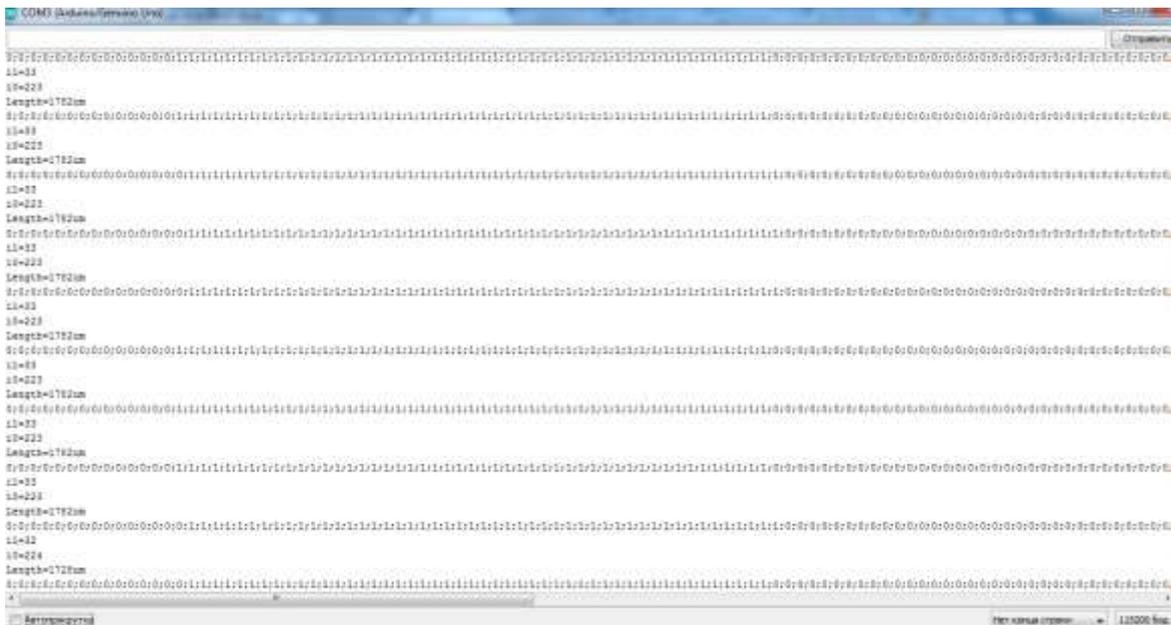


Рисунок 37 – Вычисление диаметра и вывод на компьютер

Погрешность измерения составила 1 светочувствительный элемент. Рассчитанный диаметр оказался равен 1782 мкм, что на 3 мкм меньше чем значение, измеренное вручную при помощи штангенциркуля.

3.4 Проектирование корпуса устройства

Корпус устройства должен отвечать следующим требованиям:

- 1) компактность – то есть иметь как можно меньшие размеры;
- 2) модульность – состоять из отдельных деталей, каждую из которых легко изготовить и заменить в случае надобности;
- 3) простота изготовления – корпус должен быть выполнен из материалов, которые доступны для мелкосерийного и частного производства. Так же подразумевается создание корпуса без использования редких и дорогих технологий;
- 4) удобство сборки и монтажа элементов.

Исходя из вышеперечисленных условий, было решено использовать в качестве основного материала корпуса листовую сталь, толщиной 1мм. Данный выбор обосновывался тем, что листовые материалы широко распространены.

Выбор в пользу стали перед алюминием обосновывается большей ценой и меньшими прочностными характеристиками последнего.

Размеры корпуса решено было сделать по габаритам отладочной платы Arduino UNO, добавив небольшой запас для удобства монтажа платы, проводов соединения и датчиков.

Модульность разрабатываемого корпуса необходима, во-первых, для удобства монтажа внутрикорпусных элементов, во-вторых, для замены отдельных частей корпуса при необходимости.

Производство элементов корпуса будет осуществляться из листа металла, путем лазерной резки по разработанной документации. Чертежи изделий представлены в приложениях В-Л.

Лазерная резка в качестве способа производства деталей корпуса выбрана из-за высокой точности (десятые доли мм) и высокой скорости обработки. К плюсам лазерной резки так же следует отнести то, что в данном случае, практически отсутствует необходимость постобработки абразивными средствами.

Соединение частей корпуса производится с помощью винтов и гаек. Основной диаметр использованных крепежных изделий составляет 3мм, кроме этого, используются 4 винта, диаметром 4мм для крепления гнезда для штатива и 4 винта диаметром 2 мм для крепления датчика. Более подробная информация приведена в спецификации изделия в приложении М.

Внешний вид корпуса устройства приведен на рисунках 38-39.

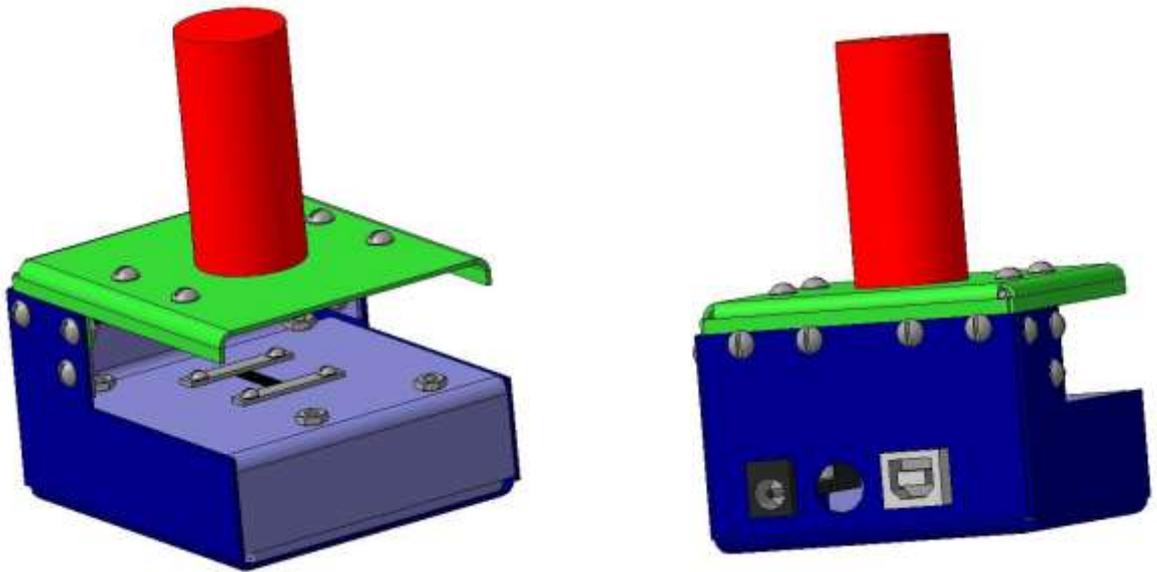


Рисунок 38 – Внешний вид корпуса устройства

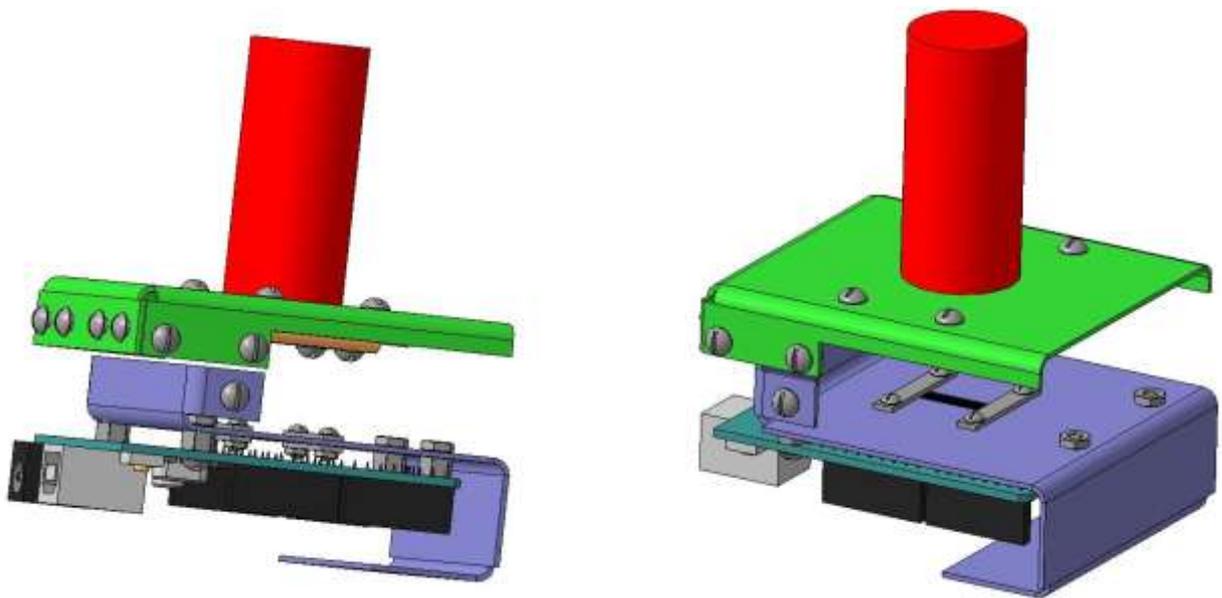


Рисунок 39 – Внутреннее крепление платы в корпусе

Корпус состоит из 3 основных частей: основания, крышки и центральной пластины. В задней части основания расположены отверстия для разъемов питания и USB отладочной платы. Там же располагается отверстие для подключения лазера к плате.

Крепление лазера осуществляется при помощи пластин с отверстиями под корпус лазера. Нижняя пластина крепления лазера имеет диаметр, меньший, чем диаметр корпуса лазера и служит упором для него. Крепление

нижней пластины осуществляется к крышке при помощи 4 винтов М3. Малая пластина крепления лазера соединяется с нижней пластиной таким же образом. После чего, получившаяся конструкция соединяется с крышкой.

Размеры корпуса в собранном состоянии составили $81.28 \times 70.15 \times 104.77$ мм.

3.5 Метод увеличения точности

Явление дифракции очень часто применяется в технике для различных целей. Например, существуют дифракционные методы, позволяющие определять состав различных сплавов, их свойств. Дифракция так же применяется для определения геометрических размеров тел.

Явление дифракции было описано в пункте 2.2. данной работы. Разрабатываемое устройство использует теневой метод в параллельном пучке излучения. Диаметр высчитывается как произведение количества светочувствительных пикселей, на которые падает тень от лазерного излучателя, на ширину пикселя. Данный алгоритм не учитывает влияние дифракции на результат измерения. Схематично, это показано на рисунках 40 и 41.

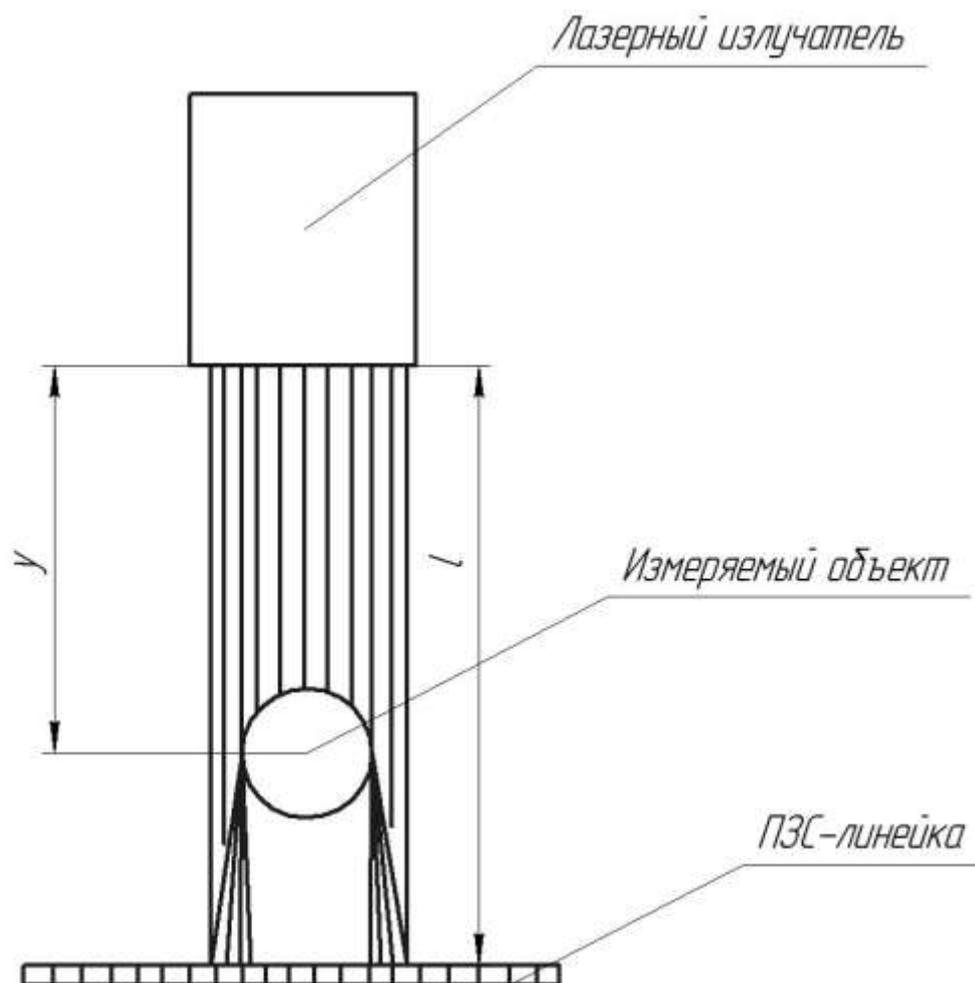


Рисунок 40– Схематичное изображение влияния дифракции

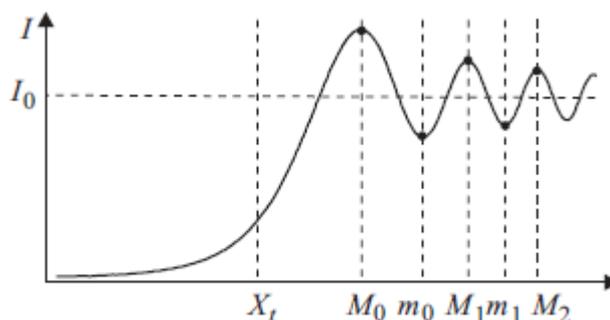


Рисунок 41– Дифракционная картина

Из рисунка видно, что после падения лучей на край измеряемого объекта их ход меняется, тем самым, меняя длину тени на ПЗС-линейке.

Математические выражения, которые описывают дифракцию волн на цилиндрической объекте, в строгом виде представляют собой очень громоздкие выражения. К примеру, для индикатрисы (воображаемой поверхности, которая состоит из множества точек, имеющих радиус-вектор, направленный по

направлению колебаний света. Радиус-вектор численно равен показателю преломления для соответствующих лучей и проведён к ним из геометрического центра фигуры) выражения будут иметь вид:

$$F(\varphi) = |T(\varphi)|^2,$$

где

$$T(\varphi) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} b_l \cos l\varphi,$$

$$b_l = \frac{mJ'_l(m\rho)J_l(\rho) - J_l(m\rho)J'_l(\rho)}{mJ'_l(m\rho)H_l^{(2)'}(\rho) - J_l(m\rho)H_l^{(2)'}(\rho)}, \quad (6)$$

На рисунке 38 показано, что лазерное излучение частично попадает на область геометрической тени от измеряемого объекта. В данной области формируется дифракционная картина, состоящая из максимумов и минимумов освещенности. Различие между пиковыми значениями дифракционных экстремумов постепенно уменьшаются, при увеличении расстояния от границ геометрической тени. В итоге освещенность становится одинаковой и достигает значения начальной интенсивности источника излучения.

Так как при проектировании устройства был выбран источник излучения, который испускает параллельные лучи, то расстояние от i -того максимума дифракционной картины до точки на ПЗС, определяющей реальную геометрическую тень может быть найдено по формуле:

$$X_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y} \left(4i + \frac{3}{2}\right)}, \quad (7)$$

где i – порядковый номер рассматриваемого дифракционного максимума, L – расстояние от ПЗС-линейки до лазера, y – расстояние от лазера до границы измеряемого объекта.

Расстояние от начала геометрической тени, до i -того минимума рассчитывается по формуле:

$$x_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y} \left(4i + \frac{7}{2}\right)}, \quad (8)$$

Зная расстояние от геометрической тени до максимумов и минимумов дифракционной картины можно вычислить истинное значение положения начала геометрической тени на ПЗС приемнике. Для этого необходимо рассчитать длину отрезка между двумя первыми точками максимумов (или минимумов). Сравнив формулы (6) и (7) можно сделать вывод, что расстояние между максимумами (минимумами) зависят от расстояния от источника излучения до ПЗС приемника (l) и расстояния от источника излучения до границы измеряемого объекта (y), так как у обеих формул присутствует общий множитель $\sqrt{\lambda L(L-y)/2y}$. Отношения расстояний между экстремумами остаются неизменными, поэтому их можно заменить коэффициентами k_m и k_M которые можно найти из отношения отрезков $X_i M_0$ и $M_0 M_1$ (коэффициент k_M) и отрезков $X_i m_0$ и $m_0 m_1$ (коэффициент k_m) [34].

Вычисляя коэффициенты, получим следующие значения:

$$k_m = 2.154; k_M = 1.093;$$

после этого, находим выражения для определения границ геометрической тени:

$$X_f = 1.093(M_0 - M_1) + M_0 = 2.154(m_0 - m_1) + m_0. \quad (9)$$

где X_f – положение границы тени, M_0 и M_1 – дифракционные максимумы нулевого и первого порядка, m_0 и m_1 – дифракционные минимумы нулевого и первого порядка.

Для второй границы тени выражение будет похожем:

$$X_b = M_0 - 1.093(M_1 - M_0) = m_0 - 2.154(m_1 - m_0). \quad (10)$$

К сожалению, для проверки результатов теоретических выкладок данного пункта на практике необходимы ПЗС датчики с более маленькими размерами светочувствительных элементов, так как только в этом случае будет отчетливо видна дифракционная картина. Таким образом, проверить формулы (10) и (9) пока не представляется возможным.

3.6 Результаты исследования

В ходе выполнения магистерской работы были проанализированы существующие методы и средства измерения цилиндрических объектов. Было отмечено, что на данный момент отсутствуют устройства, предназначенные для контроля диаметра полимерных нитей для 3Д принтеров. Наиболее близкими по выполняемым функциям и параметрам, являются устройства контроля диаметров кабелей, выпускаемые Российскими и иностранными фирмами.

Некоторые устройства контроля диаметра кабелей возможно применять для измерения диаметра полимерных нитей, но зачастую они имеют дополнительные функции, требуемые для контроля эксцентricности кабеля, проверки изоляции и т.д. Все это сильно повышает стоимость как самого устройства, так и стоимость пластиковой проволоки. Кроме этого, большинство измерителей диаметров кабелей рассчитаны на работу с большими диаметрами, чем этого требуется для производства пластиковой нити для 3Д принтеров.

Исходя из полученной информации был разработан алгоритм нахождения диаметра с использованием линейной ПЗС. Алгоритм был проверен на практике, после чего был спроектирован корпус для прибора контроля диаметра полимерных нитей. Особенности спроектированного корпуса являются его малые размеры, модульность и удобство монтажа внутренних элементов.

Наиболее перспективным направлением развития средств измерения диаметра является использование многоэлементных приборов с зарядовой связью, которые реагируют на интенсивность излучения. В совокупности с методом, рассмотренным в пункте 3.5, существует возможность увеличения точности измерения диаметра до единиц микрометра.

4 Технико – экономическое обоснование работы

При проведении любого научного исследования большое внимание следует уделять ресурсоэффективности данной работы. Большинство ресурсов, которые используются при исследованиях и разработках относятся к исчерпаемым. Поэтому перед исследователем в настоящее время ставится задача не только найти определенное техническое решение предложенной проблемы, но и сделать это максимально эффективно с точки зрения использования имеющихся ресурсов.

Целью данной работы является проектирование и разработка устройства контроля диаметра полимерных нитей. Для реализации поставленной цели необходимо верно оценить затраты на разработку данного устройства.

В данном разделе производится расчет экономической оценки проектирования и создания макета устройства, а также затраты на комплектующие элементы. Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

- оценка трудоемкости выполнения работы;
- разработка календарного плана работы;
- расчет материальных затрат;
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет затрат на электроэнергию;
- расчет амортизационных расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет себестоимости разработки математической модели;
- определение затрат на реализацию физической модели;
- оценка экономической эффективности разработанной модели.

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 5 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка проблемы	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 30%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 0% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 30% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 10% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 50% И – 100%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 40% И – 100%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Существует 2 метода расчета продолжительности этапов работ:

- 1) технико-экономический;
- 2) опытно-статистический.

Первый метод применяется когда существует сильно развитая нормативная базы трудоемкости планируемых работ, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в неизменной, можно сказать, стандартной обстановке. Так как у исполнителя работы часто соответствующие нормативные акты, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- 1) аналоговый;
- 2) экспертный.

Первый привлекает внешней простотой и с околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Второй способ предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (11)$$

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

t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для выполнения перечисленных в таблице 6 работ необходим научный руководитель проекта и исполнитель.

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 ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (12)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется согласно выражению (13):

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} \quad (13)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (14)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365-52-10} = 1,205 \quad (15)$$

В таблице 6 показаны продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (26), при использовании формулы (27) необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob} . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента КД = 1,2. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot \text{КД}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на ТК (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта, показан в таблице 6.

Таблица 6 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	4	6	4,8	5,8	0,0	8,5	0,0
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	10	15	12	14,4	4,3	21,3	6,4
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	20	33	25,2	0,0	30,2	0,0	44,7
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	1,0	3,4	1,5	5,0
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	0,5	5,0	0,7	7,4
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	20	25	22	13,2	26,4	19,5	39,0
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	16	22	18,4	8,8	22,1	13,1	32,6
Расчет принципиальной схемы устройства	И	15	25	27	0,0	32,4	0,0	47,9
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	10	20	27	0,0	32,4	0,0	47,9
Оформление графического материала	И	2	3	2,4	1,7	2,9	2,6	4,3
Подведение итогов	НР, И	4	6	4,8	5,8	0,0	8,5	0,0
Итого:				145,8	45,4	159,1	67,1	235,1

Таблица 7 – Трудозаграты на выполнение проекта

Этап	НР	И	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
1	8,5	0	8,5							
2	21,3	6,4	14,9	6,4						
3	0	44,7		44,7						
4	1,5	5,0		3,5	1,5					
5	0,7	7,4		6,7	0,7					
6	37,2	74,5		37,2	37,2					
7	12,3	30,9		18,6	12,3		12,3			
8	0,0	60,3		60,3			60,3			
9	0,0	24,8		24,8			24,8			
10	2,6	4,3		1,7	2,6		2,6			
11	8,5	0,0								8,5

4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Данный пункт необходим, прежде всего, для оценки текущих результатов проекта. Величина накопления характеризует, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

$TR_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;

TR_i (TR_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

TR_{iH} – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

TR_{ij} (TR_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5.5)

$$CG_i = \frac{TR_{iH}}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TR_k}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TR_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TR_{km}}. \quad (16)$$

Применительно к таблице (5.2) величины TR_{ij} (TR_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TR_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TR_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице 8.

Таблица 8 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого типа

Этап	ТРi , %	СГi, %
Постановка задачи	3,8	3,8
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	4,3	7,3
Подбор и изучение материалов по тематике	7,1	10,9
Разработка календарного плана	5,2	18,7
Обсуждение литературы	3,8	21,7
Выбор структурной схемы устройства	16,4	38,8
Выбор принципиальной схемы устройства	16,7	58,3
Расчет принципиальной схемы устройства	14,2	74,0
Оформление расчетно-пояснительной записки	11,5	86,7
Оформление графического материала	10,5	96,4
Подведение итогов	4,2	100,0

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;

- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

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 $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример расчетов приведен в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	300	1 уп.	300
Картридж для принтера	1300	1 шт.	1300
Среда Arduino IDE 1.6.7	0	1 экз.	0
Плата с AVR микроконтроллером	1340	1 шт.	1340
Датчики	990	2 шт.	1980
Монтажная плата	390	1 шт.	390
Паяльная станция	740	1 шт.	740
Листовая сталь	1000	1 шт.	1000
Соединительные провода (набор)	350	1 шт.	350
Итого:			7400

Допустим, что $T_{ЗР}$ составляют 10 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{мат} = 25010 * 1,1 = 8140$ руб.

4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата (ЗПдн-т) рассчитывается по формуле:

$$\text{ЗПдн-т} = \text{МО}/24,83 \quad (17)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Для учета премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: К_{ПР} = 1,1; К_{доп.ЗП} = 1,188; К_р = 1,3. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент К_и = 1,1·1,188·1,3 = 1,699. Вышеуказанное значение К_{доп.ЗП} применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае К_и = 1,62.

Таблица 10 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	33	1,699	52532,86
И	4500	181,3	99	1,699	46512,32
Итого:					99045,18

4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское

страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $S_{соц.} = C_{зп} \cdot 0,3$. Итак, в нашем случае:

$$S_{соц.} = 99045,18 \cdot 0,3 = 29713,55 \text{ руб.}$$

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$S_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot ЦЭ \quad (18)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$ЦЭ$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $ЦЭ = 5,257 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = ТРД \cdot K_t, \quad (19)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к ТРД, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} \cdot K_C \quad (20)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 11.

Таблица 11 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты Э _{ОБ} , руб.
Персональный компьютер	$795,2 * 0,8$ $= 636,16$	0,33	1103,62
Лазерный принтер	5	0,4	10,4
Итого:			1114,02

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} * Ц_{\text{ОБ}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{Д}}}, \quad (21)$$

где $N_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{\text{АМ}}$. Например, для ПК в 2015 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_{\text{Д}} = 298 * 8 = 2384$ часа;

trф – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для ПК срок амортизации $2 \div 3$ года. Необходимо задать конкретное значение СА, например, 2,5 года. Далее определяется НА как величина обратная СА, в данном случае это $1: 2,5 = 0,4$.

Стоимость ПК 26000 руб., время использования 795,2 часа, тогда для него $САМ(ПК) = (0,4*26000*(99,4*8)*1)/2384 = 3468,99$ руб.

Стоимость принтера 5425 руб., его ФД = 500 час.; НА = 0,5; тогда его $САМ(Пр) = (0,5*5425*10*1)/500 = 84,25$ руб.

Амортизация будет рассчитана общая для оборудования, использованного в макете робота, так как используются однотипные электронные компоненты. Данные компоненты подобны элементам в ПК, поэтому срок амортизации, как и для ПК, составит 2,5 года. ФД = 2384 час.; НА = 0,5; тогда его $САМ(Платформы) = (0,5*8455*200*1)/2384 = 354,65$ руб.

Исключение составляет механическая часть робота (колесная платформа с двигателями). Срок амортизации механической части макета робота составляет 0,5 лет. ФД = 500 час.; НА = 2; время использования 50 часов, тогда $САМ(Платформы) = (2*3150*50*1)/500 = 630$ руб.

Итого начислено амортизации 3553,24 руб.

4.2.6 Расчет расходов на основе платежных документов

К данному пункту следует отнести:

- командировочные расходы, в том числе и расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;

- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

К услугам сторонних организаций следует отнести производство комплектующих для корпуса устройства с помощью лазерной резки из расчета 1000 рублей за лист.

А так же услуги связи, в размере 500 рублей.

4.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (7400 + 83015,64 + 29713,55 + 1114,02 + 3553,24) \cdot 0,1 = 12479,64 \text{ руб.}$$

4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить примерную себестоимость разрабатываемого устройства. Смета затрат на выполнение работы представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	Смат	8140
Основная заработная плата	Сзп	99045,18
Отчисления в социальные фонды	Ссоц	29713,55
Расходы на электроэнергию	Сэл.	1114,02
Амортизационные отчисления	Сам	3553,24
Непосредственно учитываемые расходы	Снр	1500
Прочие расходы	Спроч	12479,64
Итого:		155545,63

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 155545,63$ руб.

4.2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости и характера коммерциализации может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20$ % от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 15554,56 руб. (10 %) от общих расходов на разработку проекта.

4.2.10 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(155545,63 + 15554,56) * 0,18 = 30798,03$ руб.

4.2.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$Ц_{\text{КР}} = 155545,63 + 30798,03 + 15554,56 = 201898,22 \text{руб.}$$

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Оценка экономической эффективности в данном случае носит условно-прогнозный характер, так как не учитывались многие второстепенные факторы, влияющие на проект в целом.

Разработанный девайс позволит производить качественные расходные материалы для 3Д принтеров не только большим компаниям с солидным бюджетом, но и мелким предпринимателям и даже любителям 3Д моделирования. Основной упор при разработке сделан на бюджетность и простоту самостоятельной сборки устройства.

4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (22)$$

где $K_{НТУ}$ – интегральный индекс научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах. Результат расчета показателей можно наблюдать в таблице 13.

Таблица 13 - Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признаки научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР	Ri
Уровень новизны	Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,3
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,6

Таблица 18 - Оценки научно-технического уровня НИР

Значимость	Фактор НТУ	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование
0,3	Уровень новизны	Относительно новая	4	Комбинация двух известных методов для повышения точности устройства
0,1	Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	4	Разработка алгоритма для функционирования датчика.
0,6	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Быстрая реализация проекта

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для нашего проекта составляет:

$$I_{\text{НТУ}} = 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,6 \cdot 10 = 1,6 + 0,6 + 5 = 7,6$$

Таким образом, данный проект находится на границе среднего и высокого уровня научно-технического эффекта.

Потенциальными потребителями данной разработки могут быть как физические так и юридические лица, работающие в области 3Д печати.

Сегментирование было произведено по видам работ и отраслям применения.

Были выделены две основные отрасли:

- 1) производство пластика для 3Д принтеров;
- 2) кабельная промышленность.

Основные виды работ: изучение манипуляторов, построение алгоритмов выхода из лабиринтов на шагающих машинах. В качестве критериев сегментации рынка были выбраны: сферы деятельности, для которых будет осуществляться поставка робота и перечень исполняемых роботом задач.

Таблица 19 – Заинтересованность сегментов рынка

		Целевая аудитория		
		Большие предприятия	Малые и средние предприятия	Энтузиасты-любители
Уровни заинтересованности	Сильный			
	Средний			
	Не интересуется			

Актуально
 Не актуально

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.

5 Социальная ответственность

В дипломной работе представлено проектирование и разработка устройства контроля диаметра полимерных нитей.

Рассматривается рабочее место в 10 корпусе Томского политехнического университета, аудитория 106. Основная часть работы производится сидя за персональным компьютером. Высота аудитории равна 2,5 метра, длина – 7 метров, ширина – 10 метров. В аудитории имеются 4 окна, кроме этого, имеется 10 люминесцентных ламп и 4 точечных источника освещения.

К опасным факторам, которые могут проявиться на рабочем месте следует отнести электромагнитное излучение от используемых приборов, наличие шума в помещении, излишняя или недостаточная освещенность рабочего места, несоответствие нормам микроклимата.

5.1 Техногенная безопасность

Большинство используемой в работе техники питается от сети 220 В, с частотой 50 Гц. Поэтому при выполнении проектирования устройства могут возникнуть факторы поражения электрическим током: электротравмы, электрические удары и т.д.[35] .

Электротравмы классифицируют по месту их получения на производственные, бытовые и природные; по характеру воздействия напряжения на мгновенные и хронические; по характеру травмы на местные и общие.

К местным электротравмам относятся электрические ожоги, металлизация кожи, электрические знаки и механические повреждения в результате воздействия тока.

При механическом повреждении может произойти разрыв мягких тканей или перелом костей из-за протекания тока по телу человека.

Электрические ожоги появляются в местах контакта незащищенной кожи человека с токоведущими частями электроустановок и приборов. Могут сопровождаться омертвением пораженных участков кожи и кровотечениями.

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз, которое появляется в результате потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги.

В большинстве случаев причиной электротравмы служит непосредственный контакт с токоведущими элементами электрических установок без предварительного снятия напряжения. Так же причинами электротравм могут являться невнимательность на производстве.

Чтобы обезопасить сотрудников на производстве, необходимо проводить следующие комплексы мер:

- 1) Проводить обучение персонала
- 2) Иметь изоляцию рабочего места от токопроводящих частей оборудования
- 3) Иметь электрические разделительные цепи
- 4) Обеспечить недоступность токоведущих частей от случайных контактов
- 5) Применять специальные средства защиты (диэлектрические перчатки, ковры)

Экран монитора является источником электромагнитного излучения, длительное воздействие которого может вызвать нежелательные изменения в организме.

Для уменьшения негативного влияния электромагнитного излучения необходимо рационально размещать используемое при работе оборудование, соблюдая требуемое расстояние от монитора; осуществлять перерывы в работе. Через каждые 45-60 минут работы перед монитором необходимо делать 10-15 минутные перерывы[36].

Рабочая аудитория 106 находится на первом этаже учебного корпуса. Поэтому необходимо использовать при работе естественное освещение, и если его недостаточно, применять искусственное. Правильное освещение улучшает

условия зрительной работы на рабочем месте, позволяет снизить порог утомляемости и повысить безопасность труда. Недостаточное освещение может привести к снижению остроты зрения.

Искусственное освещение делится на рабочее, аварийное, охранное и эвакуационное. В качестве источников рабочего освещения чаще всего используются люминесцентные лампы типа ДРЛ или лампы ЛБ типа, которые равномерно располагаются над рабочей поверхностью.

При выполнении работ существует необходимость различать мелкие объекты из диапазона от 0,5 до 1мм, следовательно, данную работу следует относить к работе средней точности, разряд четвертый, подразряд Г, так как объекты имеют средний контраст со светлым фоном. Таким образом, необходимая освещенность при использовании системы общего освещения должна быть 200 лк [37].

Микроклимат рабочей зоны определяются следующими параметрами: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти параметры влияют на организм человека, определяя его общее самочувствие. Отклонение от норм производственного микроклимата негативно влияет на здоровье работника. В таблице 20 показаны оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений для холодного и теплого периодов года[38]. Холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10°C и ниже, теплый: +10°C и выше.

Таблица 20 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Поддержание необходимого значения влажности в лаборатории достигается за счет использования принудительной вентиляции. Её наличие обусловлено требованиями по объёму воздуха в помещении приходящегося на одного работника.

В зимнее время поддержание комфортной для работы температуры достигается за счет системы отопления. В рабочем помещении используется система центрального отопления с терморегуляторами, установленными на радиаторах.

Шумовые воздействия, возникающие при работе оборудования, отрицательно сказываются на работнике, так как мешают его концентрации и вызывают раздражение.

Физиологическое воздействие шума заключается в повреждении внутреннего уха. Так же возможны побочные влияния на работу сердца и головного мозга.

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать порога в 50 дБ. Классификация категорий напряженности и тяжести трудового процесса представлена в таблице 21 [39].

Таблица 51 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Возможные методы уменьшения шума:

- 1) Разработка шумобезопасной техники
- 2) Архитектурно-планировочные методы
- 3) Организационно-технические мероприятия
- 4) Использование средств индивидуальной защиты

При недостаточной освещенности на рабочем месте необходимо применять искусственное освещение в дополнение к естественному, а при необходимости, и индивидуальное искусственное освещение. В дополнение к этому, необходимо обеспечить равномерное распределение света на всей рабочей поверхности и выбрать оптимальное направление светового потока. Не рекомендуется работать за ПК в полной темноте, только при свечении монитора. Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики

Если экран дисплея обращен к окну, необходимо использовать защитные экраны. Окна рекомендуется закрывать при помощи жалюзи или шторами. При недостаточной освещенности используют искусственное освещение, как в темное, так и в светлое время суток.

В рабочем помещении необходимо применять систему комбинированного освещения. При выполнении работ категории высокой зрительной точности наименьший размер объекта различения 0.3-0.5 мм, величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1.5, а при зрительной работе средней точности наименьший размер объекта различения 0.5-1.0 мм КЕО должен быть не ниже 1.0 [40].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная – 750лк аналогичные требования при выполнении работ средней точности – 200 и 300лк

соответственно. Кроме того все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно – это основное гигиеническое требование.

Повышенный электромагнитный фон в значительной степени влияет на здоровье людей. После продолжительной работы за компьютером в течение нескольких дней человек чувствует себя уставшим, становится крайне раздражительным, часто отвечает на вопросы однозначными ответами.

Проблема электромагнитного излучения, исходящего от персональных компьютеров, встает достаточно остро ввиду нескольких причин:

1. Компьютер имеет сразу два источника излучения (монитор и системный блок).
2. Пользователь ПК практически лишен возможности работать на расстоянии.
3. Очень длительное время воздействия.

Электромагнитные показатели радиочастот следует оценивать показателями интенсивности поля и создаваемой им энергетической нагрузкой.

Согласно [41] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг рабочего места по электрической составляющей представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Временные уровни ЭМП, создаваемые ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	Тл

В качестве мер по снижению интенсивности излучения применяют специальные фильтры, которые устанавливаются на экран мониторов. Так же, если существует возможность – необходимо увеличить расстояние от источника излучения до пользователя. Для избегания последствий экран видеомонитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см.

5.2 Региональная безопасность

В ходе выполнения данной работы негативное воздействие оказывается на литосферу. Это проявляется в наличии отходов, которыми являются устаревшее или неисправное оборудование, а так же твердые бытовые отходы.

Промышленные отходы бывают 4 классов опасности: 1)чрезвычайно опасные, 2)высоко опасные, 3) умеренно опасные, 4) малоопасные [42]. В процессе выполнения работы образуются отходы 4 и 3 класса опасности.

Самые распространенные способы ликвидации отходов:

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

Техника, вышедшая из строя или морально устаревшая, подвергается обязательной утилизации, так как существует административная ответственность за нарушение данной процедуры.

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 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Для повышения качества выполнения работ необходимо обеспечить комфортные условия на рабочем месте исполнителя. Отклонение от норм может послужить развитием у исполнителя работ профессионального заболевания или болезни.

На эффективность труда существенно влияет применение правильных приёмов работы на рабочем месте. Для таких приемов справедлив принцип минимума физических и эмоциональных затрат при максимуме результатов. Достигается это путем внедрения рациональных методов и приёмов труда на рабочем месте. На практике доказано, что рационализацией приёмов и движений работающего на рабочем месте трудоёмкость может быть снижена на 10...15%, а эффективность труда в целом повышена на 30-40%.

Оптимальные параметры рабочего места показаны в таблице 23:

Таблица 23 – Оптимальные параметры рабочего места

Параметры	Значение параметра
Высота рабочей поверхности стола	650 - 760 мм
Высота клавиатуры	650-700 мм
Удаленность клавиатуры от края стола	Не менее 80 мм
Удаленность экрана монитора от глаз	600-700 мм
Высота сидения	400-500 мм
Угол наклона монитора	0-30 град.
Наклон подставки ног	0-20 град.

Используемые в работе предметы должны располагаться в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля приведены на рисунке 42:

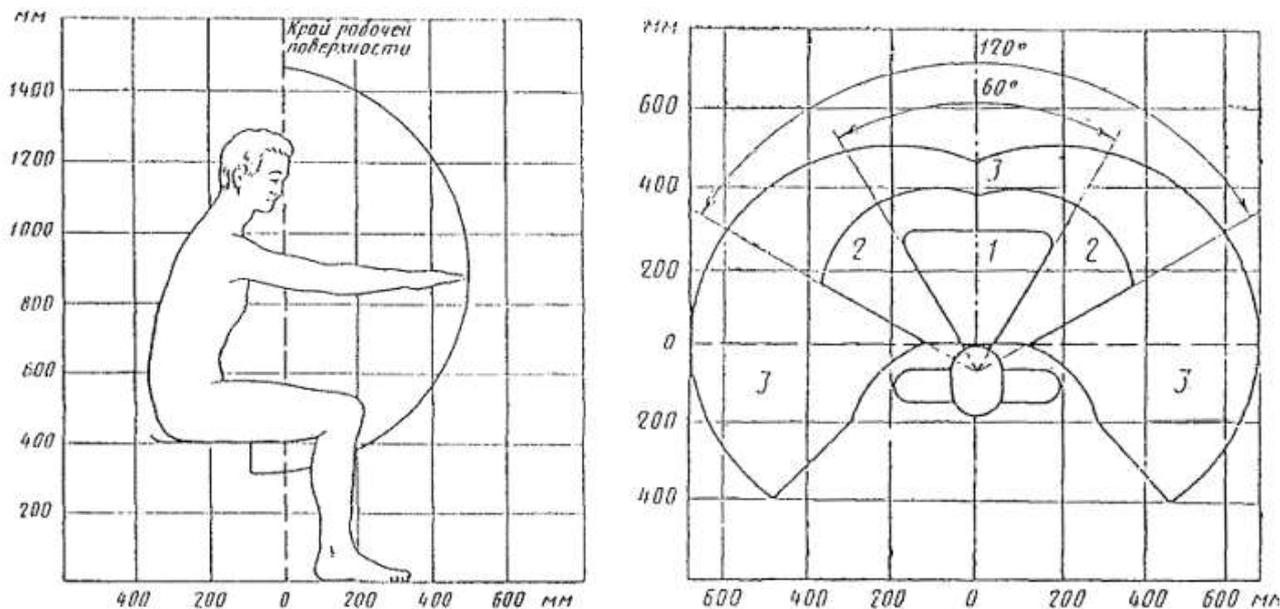


Рисунок 42 – Зона досягаемости моторного поля

Трудовые операции различают по частоте выполнения. Частоту выполнения операций принимают: очень часто - две и более операций в 1 мин; часто – менее двух операций в 1 мин, но более двух операций в 1 ч; редко - не более двух операций в 1 ч. На рисунке 1 цифрами показано размещение используемых в процессе работы органов управления. В области 1 (оптимальная зона) располагаются наиболее используемые предметы, в зоне 2 (легкой досягаемости) располагаются предметы, используемые часто, в зоне 3 (зона досягаемости) располагаются редко используемые предметы [43].

Так же существуют требования и к рабочей позе инженера. Так как при длительном нахождении в неудобной позе могут возникнуть боли в суставах и мышцах, что в свою очередь, приведет к уменьшению производительности и качества труда.

Конструкция рабочего кресла должна снижать напряжение мышц в плечевой области и области спины.

Высота рабочего кресла должна быть в пределах 420-450 мм. Поверхность должна выполняться из мягких материалов, передний край должен быть закруглен. Так же должна быть предусмотрена регулировка наклона спины кресла.

В ходе работы исполнитель будет задействовать возможности расположенных на рабочем месте персональных компьютеров. Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПК, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения: для потолка - 0,7 - 0,8; для стен - 0,5 - 0,6; для пола - 0,3 - 0,5 [44].

Работа вычислительной техники может быть причиной изменения микроклимата в помещении. Санитарные нормы для параметров микроклимата в компьютерных помещениях можно посмотреть в таблице 24[45]:

Таблица 24 – Параметры микроклимата

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

Объем подаваемого в помещение воздуха рассчитывается, исходя из объема помещения и числа находящихся внутри человек. Так при помещении до 20 м³ на человека подача воздуха должна быть не менее 30 м³, а при объеме помещения от 20 до 40 м³ на человека подача воздуха должна быть не менее 20 м³. Для обеспечения требуемых условий микроклимата 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).

5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Статья 370 ТК РФ предоставляет профсоюзам право на осуществление контроля соблюдения работодателями и иными представителями трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, выполнением ими условий коллективных договоров и соглашений.

Работодатели обязаны в недельный срок с дня получения требования об устранении выявленных нарушений сообщить в соответствующий профсоюзный орган о результатах рассмотрения данного требования и принятых мерах.

Для осуществления надзора за исполнением своих прав профсоюзы могут назначать доверенных по охране труда лиц, что бы направлять их в комитеты по охране труда.

Основными задачами доверенных лиц являются :

- 1) Помощь в создании безопасных условий труда на производстве
- 2) Отстаивание интересов работников при нарушении трудового законодательства
- 3) Проведение консультаций по вопросам охраны труда
- 4) Осуществление контроля для соблюдения интересов работников в области охраны труда

Пятнадцатой главой IV раздела трудового кодекса закреплена продолжительность рабочего времени – не более 40 часов в неделю. Для работников, возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часа в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Также рабочее время зависит от условий труда: для работников, работающих на рабочих местах с вредными условиями для жизни - не больше 36 часов в неделю. В этом же разделе описывается работа накануне праздничных дней, а так же работа в ночное время и сверхурочная работа.

Неполное рабочее время обязано быть установлено работодателем по просьбе следующих категорий работников: беременных женщин; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до 14 лет (ребенка-инвалида в возрасте до 18 лет); лиц, осуществляющих уход за больными членами семьи согласно медицинскому заключению.

Неполное рабочее время устанавливается в форме неполной рабочей недели, неполного рабочего дня или неполной рабочей недели и неполного рабочего дня одновременно.

Согласно статье 93 ТК РФ - если работнику установлено неполное рабочее время, его труд оплачивается пропорционально отработанному им времени или в зависимости от выполненного им объема работ. На продолжительность ежегодного основного отпуска, а также на исчисление трудового стажа и на другие трудовые права неполное рабочее время не влияет.

Согласно статье 92 ТК РФ сокращенная продолжительность рабочего времени по соглашению сторон не устанавливается. В обязательном порядке 40-часовая неделя сокращается для работников:

- 1) в возрасте до 16 лет — на 16 часов;
- 2) инвалидов I или II группы — на 5 часов;
- 3) в возрасте от 16 до 18 лет — на 4 часа;
- 4) занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда — на 4 часа и более.

В статье 114 ТК РФ описывается порядок и длительность предоставления Ежегодного отпуска для работников. Работникам должен предоставляться ежегодные отпуска с сохранением места работы (должности) и среднего заработка – продолжительностью 28 календарных дней.

Так же отпуск может быть перенесен или продлен в случаях временной нетрудоспособности; исполнения во время отпуска государственных обязанностей; в других случаях, предусмотренных трудовым законодательством.

Заработная плата выплачивается работнику на основании заключенного с ним договора и зависит от объема проделанной работы, сложности и квалификации. Возможно удержание заработной платы, в случаях предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

При прекращении трудового договора выплата всех сумм, причитающихся работнику от работодателя, производится в день увольнения работника. Если работник в день увольнения не работал, то соответствующие суммы должны быть выплачены не позднее следующего дня после предъявления уволенным работником требования о расчете. В случае спора о размерах сумм, причитающихся работнику при увольнении, работодатель обязан в указанный в настоящей статье срок выплатить не оспариваемую им сумму, согласно ТК РФ ст. 140.

5.5 Пожарная безопасность

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[46]. В рабочем помещении присутствуют материалы, содержащие твердые и 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 [47]:

- 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 так же 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 [48].

Учебная лаборатория входит в общий план эвакуации этажа, который предусматривает выход из всех помещений этажа в основной или запасной эвакуационные выходы здания [49].

План эвакуации представлен на рисунке 43:

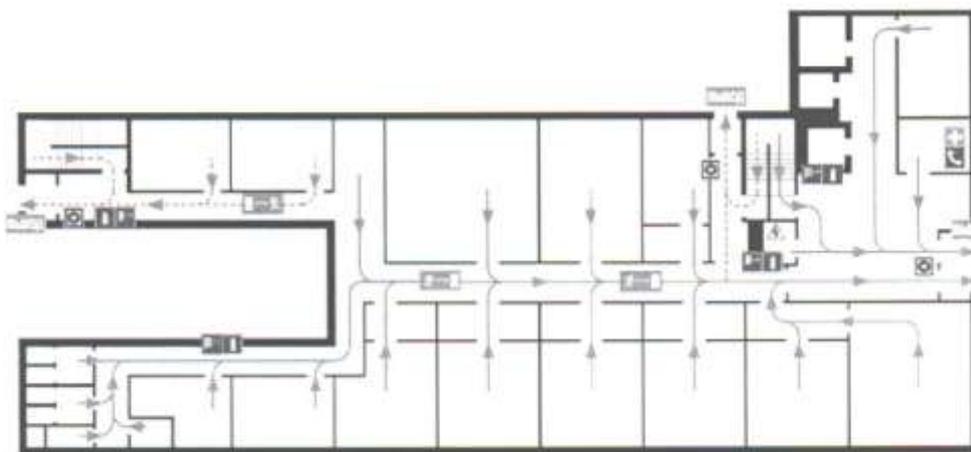


Рисунок 43 – План эвакуации

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.

5.6 Вывод по разделу социальная ответственность

В результате проведения анализа вредных факторов, которые могут оказать влияние на жизнь и здоровье человека при выполнении работ, были рассмотрены факторы техногенной, организационной, региональной и пожарной безопасности. Так же, были рассмотрены факторы, оказывающие влияние со стороны законодательства.

В результате анализа места выполнения магистерской диссертации были отмечены факторы, которые могут нанести вред здоровью. К ним

относятся: поражение электрически током, механические повреждения, возникновение пожара.

На рабочем месте, которым является лаборатория № 106, десятого учебного корпуса Томского политехнического университета выполняются все необходимые требования, для снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций. Рабочее место отвечает необходимым эргономическим требованиям, прописанным в нормативных документах.

Список публикаций

1. Иванов С. О., Берчук Д. Ю. Обзор и сравнение методов контроля диаметра полимерных нитей // Всероссийская научно-техническая конференция «Автоматизированные системы управления и информационные технологии». Секция: Автоматизация технологических процессов и производств; г. Пермь, Изд-во ПНИПУ, 2016 г. – С. 42–47.

Список используемых источников

1. И. Ю. Жигалов Развитие телевизионных методов измерения геометрических параметров труб Известие Вузов. Приборостроение. Москва, 2008. Т51, №10. С. 42-46.
2. Ю.А. Фотиев Оптические методы и средства производственного контроля прозрачных трубок, капилляров и шестигранных световодов. Москва, 2000. -105с.
3. Королев А.Н. Оптический цифровой автоматизированный измеритель отклонений от прямолинейности Королев А.Н., Лукин А.Я., Полищук Г.С.
Сайт научно производственной компании Avior [Электронный ресурс]. URL: <http://npk-avior.ru/izmeritel-diametra-kabelja-d-70.html> (дата обращения: 10.11.2015 г.)
Сайт фирмы Техно Логистик [Электронный ресурс]. URL:<http://www.tlogistik.ru/catalogue/?action=shwprd&id=1824> (дата обращения: 10.11.2015 г.)
4. Сайт фирмы Эрмис [Электронный ресурс]. URL:<http://ermis.tomsk.ru/catalog/cicada/kit/>
5. Сайт производителя пластика.Фирма Rec [Электронный ресурс]. URL:<http://rec3d.ru/>
6. Сайт производителя пластика.Фирма Best Filament [Электронный ресурс]. URL:<http://bestfilament.ru/>
7. Новостной портал ТПУ [Электронный ресурс]. URL:<http://news.tpu.ru/news/2015/05/05/23332/>
8. Сайт «instructables.com», посвященный 3Д проектированию [Электронный ресурс]. URL:<http://www.instructables.com/id/Build-your-own-3d-printing-filament-factory-Filame/>

9. Сайт «[instructables.com](http://www.instructables.com)», посвященный 3Д проектированию [Электронный ресурс]. URL:<http://www.instructables.com/id/DIY-Filastruder/>
10. On-line магазин товаров для производства пластика [Электронный ресурс]. URL:<http://filamaker.eu/shop/>
11. On-line магазин товаров для производства пластика [Электронный ресурс]. URL:<https://www.filabot.com/>
12. В. Н. Седалищев Методы и средства измерений неэлектрических величин. Учебное пособие Изд-во АлтГТУ Барнаул 2008. – 392с.
13. Сборник рекомендуемых терминов. Выпуск 107. Теория управления. Академия наук СССР. Комитет научно-технической терминологии. 1984 г.
14. ГОСТ Р 8.596-2002 Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
15. ГОСТ 2.102-68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов
16. Dwight H. B., Baga M. M. Calculation for Coreless Induction Furnaces. Trans. AIEE, vol 54, 1935.
17. On-line словарь технических терминов пластика [Электронный ресурс]. URL: <http://urlcut.ru/12tq>
18. On-line словарь технических терминов пластика [Электронный ресурс]. URL: <http://qps.ru/ljfpZ>
19. Фёдоров Е. М. Технологический контроль диаметра и эксцентricности электрического кабеля в процессе производства. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск 2010. – с. 156.
20. Свендровский А.Р. Расчёт диаметра в бесконтактных двухкоординатных измерителях. Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения – сборник трудов конференции – с. 31, 2005.

21. Beining A., Blohm W.D.-I., Sikora H. Patent N EP 0924493 B1 Measurement of diameter using diffraction borders and electronic soiling correction. 2002.
22. Паненко Д. Дифракция в лазерном свете //Квант. — 1990. — № 12. — С. 36-39.
23. Лоди М.Н. Математическая модель поля дифракции при измерении малых линейных размеров. Измерительная техника 1990 N 12 — С. 286
24. Сайт о платформе Arduino [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>
25. iC-LFL1402 OBGA LFL1C PACKAGE SPECIFICATION
26. Thomas J. Bruno, Paris D. N. Svoronos. CRC Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts. CRC Press, 2005. 240p.
27. Сайт инструментального завода Сатурн [Электронный ресурс]. URL: <http://www.satiz.ru/company/facility.php>
28. Булычев Г.А., Позин А.М. Сборка авиационных моторов. Госиздательство оборонной промышленности Ленинград 1939г. — С. 322
29. On-line магазин оптических приборов [Электронный ресурс]. URL: http://vicon-se.ru/catalog/optomehanika/kombinirovannye_sistemy/rasshiritel_puchka1/
30. On-line магазин лазеров и лазерных фонарей «wickedlasers.com» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wickedlasers.com/>
31. Описание последовательного интерфейса Arduino [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/Reference/Serial>
32. Федоров Е.М. Контроль наружного диаметра протяженных изделий на основе оптического дифракционного метода. Е.М. Федоров, И.Д. Бортников Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 11
33. ГОСТ Р 12.1.009-2009 Электробезопасность. Термины и определения.

34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электро-вычислительным машинам и организации работы.
35. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
36. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
37. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
38. ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение.
39. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
40. ГОСТ Р 12.1.019-2009. «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». - М.: Госстандарт России, 2010.
41. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
42. СН-245-71 Санитарные нормы проектирования предприятий.
43. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
44. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
45. СНиП 23-05 Естественное и искусственное освещение.
46. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
47. СНиП 11-2-80 Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций.

Приложение А

Раздел 2. Объект и методы исследования

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ем41	Иванов Сергей Олегович		

Консультант кафедры ИКСУ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рудницкий Владислав Александрович			

Консультант – лингвист кафедры ИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бутакова Татьяна Ивановна			

Приложение Б

Листинг программы

```
const unsigned char PS_2 = (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_4 = (1 << ADPS1);
const unsigned char PS_8 = (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_16 = (1 << ADPS2);
const unsigned char PS_32 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_64 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1);
const unsigned char PS_128 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 <<
ADPS0);

int pixelValue_pin = A0; // analog output
int si = 7;           // SI pin
int clk = 8;         // CLK Pin
int i;
// массив для значений пикселей
uint8_t pixels[256];

int value;
void setup()
{
    //установка пинов в режим выходов
    pinMode(si, OUTPUT);
    pinMode(clk, OUTPUT);
    digitalWrite(clk, LOW);
    digitalWrite(si, HIGH);

    ADCSRA &= ~PS_128; // удаление предыдущих значений
```

```

ADCSRA |= PS_4; // 4 предделитель

Serial.begin(115200);
}

void ClockPulse()
{
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(clk, HIGH);
  digitalWrite(clk, LOW); // функция отсчета тиков
}

void loop()
{
  for (i = 0; i < 256; i++)
  {
    ClockPulse();
    if (i == 0) {
      digitalWrite(si, LOW);
    }
    else if (i == 255) {
      digitalWrite(si, HIGH); //согласно даташиту на последнем тике нужно
выставить стробирующий сигнал в "1"
    }

    // получение значений с аналогового выхода
    // pixels[i]= analogRead(pixelValue_pin);
    value = analogRead(pixelValue_pin);
    pixels[i] = constrain((uint8_t)(value / 4), 0, 1024); //подстройка в
необходимые значения(можно и без нее)

```

```
}
```

```
// выводим значения массива пикселей через параллельный порт.
```

Значение будут выводиться в виде символов аски кода. что бы вывести напрямую надо использовать `Serial.print(pixels[i])` в цикле `for`

```
Serial.write((uint8_t*)pixels, (size_t)256);
```

```
Serial.println();
```

```
}
```

Приложение В