

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

Нечаев Е.Д.

«Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки»
для людей с ограниченными возможностями»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

По образовательной программе 6В06201 – Телекоммуникация

Алматы 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
Кандидат технических наук
Таштай Е.Т.
«01» «02» 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для
«Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями»

По образовательной программе 6B06201 – Телекоммуникация

Выполнил

Нечаев Е.Д.

Рецензент

К.т.н., профессор

АУЭС имени Г.Даукеева

 Байкенов А.С.
15 «05» 2025 г.

Научный руководитель

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

Кандидат технических наук

 Таштай Е.Т.
01 «02» 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий
Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

6B06201 –Телекоммуникация

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
Е. Таптай
“02” 2025 г.



**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на выполнение ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ**

Студенту *Нечаеву Егору Денисовичу (групповой проект)*

Тема *"Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями»*

Утверждена приказом Ректора Университета № 26-П/Ө от «29» января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы *“30” апреля 2025 г.*

1. Исходные данные к дипломной работе:

Технические параметры волоконно-оптических сенсора для людей с ограниченными возможностями:

- 1.1. Чувствительность: Чувствительность оптоволоконного сенсора - от 0 до 10 рад/с*
- 1.2. Диапазон измерений датчика – 0-1000 микрона*
- 1.3. Температурная стабильность: Способность гироскопа сохранять точность и стабильность работы в различных температурных условиях. Это важно для надежности в различных климатических зонах. Температурная стабильность – от -40°C до +60 °C .*
- 1.4. Точность позиционирования робота низкая - ± 1 мм*
- 1.5. Максимальное значение энергии удара для бесперебойной и безопасной работы сенсора - до 7 Дж*
- 1.6. Зона обслуживания сенсора - 5 м*

1.7 А также должны все технические решения должны соответствовать требованиям следующих международных стандартов:

1.7.1. МЭК 61757-2-1 "Волоконно-оптические датчики".

1.7.2. ISO 21269:2018 - "Fiber optics — Connector sets and interconnecting devices — Connection limits and return loss grades for single-mode connectors". .

1.7.3. ISO 21802:2019 - Продукты и услуги, предназначенные для повышения доступности, коммуникации и безопасности для людей с когнитивными нарушениями.

1.7.4. ISO 23599:2012 - Вспомогательные устройства для людей с нарушениями зрения и слуха, включая тактильные маркеры и системы вызова.

1.7.5. ISO 21542:2021 - Руководство по доступности зданий и сооружений, обеспечивающее доступность для людей с физическими ограничениями.

1.7.7 ISO 9999:2016 - Ассистивные изделия для людей с ограниченными возможностями — Классификация и терминология. Этот стандарт классифицирует и описывает различные ассистивные устройства, включая те, которые могут быть применены в разработке умных палочек.

1.7.8. ISO 21801-1:2020 - Когнитивная доступность — Часть 1: Управление когнитивной доступностью, описывает принципы дизайна и разработки, обеспечивающие доступность устройств, включая ассистивные технологии.

2. Перечень вопросов, подлежащих к разработке и исследованию по дипломной работе:

2.1 Исследование и обзор существующих конструктивных решений для «Умных палочек» для людей с ограниченными возможностями. SWOT анализ;

2.2 Разработать конструктивную и электронную эскизные модели «Умной палочки» с использованием волоконно-оптических датчиков с учетом исходных данных в п.п. 1.1-1.7

2.3 Разработать и создать макет «Умной палочки» с учетом требований международных стандартов 1.7.1 – 1.7.8 ;

2.4 Разработать имитационную модель «Умной палочки» и исследовать параметры приема-передачи информации на языке программирования Python, MatLab и др.

3. Перечень графического материала: изложить материалы дипломной работы в 15-20 слайдах графического материала.

4. Рекомендуемая основная литература:

1 Kouroupetroglou G. Assistive Technologies and Computer Access for Motor Disabilities. – Hershey, PA: IGI Global, 2014. – 301 p.

- 2 Corke P. Robotics Vision and Control. 2nd ed. – Cham: Springer, 2017. – 693 p.
- 3 Matias I.R., Ikezawa S., Corres J. Fiber Optic Sensors: Current Status and Future Possibilities. – Cham: Springer, 2019. – 347 p.
- 4 Chang C.K., Chiari L., Cao Y., Jin H., Mokhtari M., Aloulou H. Inclusive Smart Cities and Digital Health: 14th International Conference on Smart Homes and Health Telematics. – Cham: Springer, 2016. – 294 p.
- 5 Grattan K., Meggitt B.T. (Eds.). Optical Fiber Sensor Technology: Advanced Applications – Bragg Gratings and Distributed Sensors. – New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2000. – 379 p.
- 6 Окоси Т., Оцу М., Х. Нисихара, Кюма К., Хататэ К. Волоконно-оптические датчики/ Под ред. Т. Окоси: Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.
- 7 Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
- 8 Жижин В. Волоконно-оптические датчики: перспективы промышленного применения // Электронная версия на сайте https://russianelectronics.ru/files/54040/ЕК-12-2010_14-23.pdf.

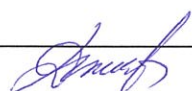
ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
1	2	3
1. Исследование и обзор существующих конструктивных решений для «Умных палочек» для людей с ограниченными возможностями. SWOT анализ.	1.09.2024 - 31.12.2024	Выполнено
2. Разработать конструктивную и электронную эскизные модели «Умной палочки» с использованием волоконно-оптических датчиков с учетом исходных данных в п.п. 1.1-1.7.	1.01.2025 - 28.02.2025	Выполнено
3. Разработать и создать макет «Умной палочки» с учетом требований международных стандартов 1.7.1 – 1.7.8.	1.02.2025 - 01.03.2025	Выполнено
4. Разработать имитационную модель «Умной палочки» и исследовать параметры приема-передачи информации на языке программирования Python, MatLab и др.	01.03.2025 - 01.04.2025	Выполнено
5. Формирование разделов и оформление диссертационной работы в соответствии с требованиями СТ КазНТУ 09-2019.	01.04.2025 - 30.04.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную ДР с указанием
относящихся к ним разделов дипломной работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Росбаев М.М., РнД	21.05.2025	

Научный руководитель  Таштай Е

Задание принял к исполнению обучающийся  Нечаев Е.Д.

Дата

" 01 " 02 2025

АННОТАЦИЯ

Дипломдық жұмыста мүмкіндігі шектеулі адамдарға арналған «Ақылды таяқ» моделін зерттеу және әзірлеу сипатталған. Бұл жұмыстың мақсаты – осындай адамдарға негізгі көмекші болатын «Ақылды таяқ» құрылғысын жобалау және жасау. Жұмыста бар «Ақылды таяқтар» туралы шолу, олардың жұмыс принциптері және конструктивті ерекшеліктері ұсынылған. Негізгі бөлімде Arduino Nano микроконтроллері негізінде оптикалық сенсорларды қолдана отырып макетті әзірлеу қарастырылған. Сондай-ақ, жұмыста «Ақылды таяқты» басқаратын C тіліндегі орындалатын код сипатталған. Осы макет Қазақстанда «Ақылды таяқты» өндіру үшін прототип бола алады.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе описаны исследования и разработка модели «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями. Цель данной работы – спроектировать и создать устройство «Умная палочка», которое будет основным помощником для этих людей. В работе представлен обзор существующих «Умных палочек», их принцип работы и конструктивные особенности. Основная часть посвящена разработке макета с использованием оптических сенсоров на базе микроконтроллера Arduino Nano. Также в работе описан исполняемый код на языке C, который управляет «Умной палочкой». Данный макет может служить прототипом для производства «Умной палочки» в Казахстане.

ANNOTATION

The thesis describes the research and development of a Smart Cane model for people with disabilities. The purpose of this work is to design and create a device Smart Cane, which will be the main assistant for these people. The work presents a review of existing Smart Canes, their principle of operation and design features. The main part is devoted to the development of the layout using optical sensors based on the Arduino Nano microcontroller. Also in the work, the executable code in C language, which controls the “Smart Cane” is described. This mockup can serve as a prototype for the production of Smart Cane in Kazakhstan.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Анализ современных технологий, применяемых в «Умных палочках»	11
1.1 Описание устройства «Умная палочка»	11
1.2 Обзор современных умных тростей: технологии и возможности	12
1.3 Анализ существующих моделей «Умных палочек»	17
1.4 Постановка задач на дипломную работу	19
2 Исследование волоконно-оптических датчиков для «Умной палочки»	20
2.1 Анализ основных параметров волоконно-оптических датчиков	20
2.2 Протокол I ² C для приема-передачи информации оптического датчика	22
2.3 Описание модуля GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X «Умной палочки»	25
3 Разработка электронной схемы «Умной палочки»	29
3.1 Платформа Arduino Nano для управления «Умной палочкой»	29
3.2 Проектирование контроллера Arduino Nano	30
4 Программирование контроллера Arduino Nano для управления «Умной палочкой»	33
4.1 Arduino IDE среда разработки для «Умной палочки»	33
4.2 Написание кода для работы «Умной палочки»	35
4.3 Тестирование и проверка работоспособности «Умной палочки» на учебном макете	38
Заключение	41
Список использованной литературы	43
Приложение А	45
Приложение Б	46
Приложение В	48

ВВЕДЕНИЕ

Ежедневно люди с ограниченным зрением сталкиваются с проблемами передвижения в городских условиях. По данным ВОЗ, на начало 2025 года в Казахстане проживает 160 тыс. слепых и слабовидящих людей, 20 тыс. из них - инвалиды по зрению [1].

В крупных городах постоянно происходят изменения, например, меняется дорожная разметка, реконструируются перекрёстки, строятся новые здания. Шумовая загруженность от автомобилей и крупных предприятий также могут вызывать проблемы с ориентацией в пространстве. Это может оказывать психологическое влияние на человека. Соответственно, традиционные трости не являются современным решением. Остро стоит вопрос о создании или модернизации устройств, которые смогут считывать текущие препятствия перед человеком и сообщать ему об этом.

Также необходимо отметить, что этот проект является одним из шагов к реализации Целей устойчивого развития (ЦУР). Создание проекта «Умная палочка» относится к 3 и 10 цели. ЦУР 3 – «Умная палочка» улучшит благополучие людей, так как они смогут с легкостью обходить препятствия и снизить риск угроз их здоровью. ЦУР 10 – «Умная палочка» уменьшит разрыв неравенства людей. Люди с ограниченными возможностями смогут самостоятельно передвигаться по городу и ориентироваться в пространстве [2].

Данный проект может быть востребован для социально-уязвимых слоев населения не только города, но и сельской местности.

Первая глава является описанием устройства «Умной палочки» и ознакомлением с существующими технологиями, применяемыми в современных «Умных палочках». Подробно рассмотрен обзор «Умных палочек» от разных производителей. На основе данного обзора был сделан SWOT-анализ, который помогает определить сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы «Умной палочки».

Во второй главе проведено исследование волоконно-оптических датчиков. Описан модуль GY-530 с лазером VL53L0X, который будет измерять расстояние до препятствия в «Умной палочке».

Третья глава является первым шагом к созданию «Умной палочки». После того как мы сделали выбор основных элементов, нам необходимо спроектировать электрическую схему. Также важно учесть, чтобы электрическая схема была верно составлена с точки зрения электрических законов и правил. Все эти этапы подробно рассмотрены в третьей главе.

Четвертая глава является фактически продолжением третьей главы. В ней будет разработан код для работы «Умной палочки» и протестирован на учебном макете. Результаты будут выведены на монитор, что свидетельствует о корректной работе тестового макета «Умной палочки».

1 Анализ современных технологий, применяемых в «Умных палочках»

1.1 Описание устройства «Умная палочка»

«Умная палочка» – это устройство, которое помогает ориентироваться в пространстве с помощью определенных датчиков (в зависимости от технологии использования) и при обнаружении препятствия издавать предупредительный сигнал. Предупредительный сигнал может быть реализован с помощью звуковых и вибрационных сигналов. Датчик определения препятствия бывает ультразвуковым, оптическим, инфракрасным или другими в зависимости от использованных технологий в устройстве. Разберем структурную схему «Умной палочки» на рисунке 1.1.

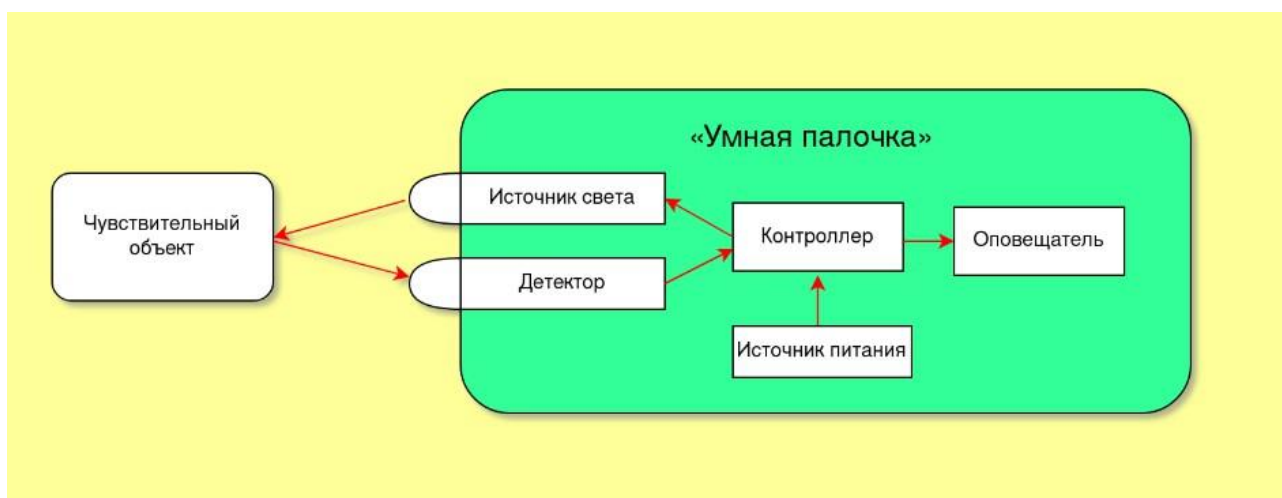


Рисунок 1.1 – Структурная схема «Умной палочки»

Источник питания – аккумулятор, для подачи постоянного тока на контроллер. Также обеспечивает стабилизированное выходное напряжение.

Контроллер – головное устройство, которое управляет всем процессом системы. Отвечает за обработку информации, правильность работы «Умной палочки».

Источник света – лазер, преобразует электрическую энергию в световую и излучает ее.

Детектор – в основном в качестве детектора используется фотодиод. Фотодиод служит для приема световой энергии, затем преобразует ее в электрическую энергию.

Звуковой датчик – в роли оповещателя применяются датчики, которые могут быть звуковыми, тактильными, световыми.

Проблемы, которые должна решать «Умная палочка»:

1. Распознавать препятствие минимум за 1 метр перед человеком.
2. Оповещать человека о найденном препятствии.

Это основные задачи, но также есть и второстепенные, которые необходимо решить. А именно – функции построения маршрута, голосовое

управление и определение местонахождения человека. Разработка современной «Умной палочки» с функциями GPS и голосовым управлением будет способствовать безопасному и комфортному передвижению людей с ограниченными возможностями [3].

1.2 Обзор современных умных тростей: технологии и возможности

На сегодняшний день существуют различные варианты этих устройств от разных производителей. Рассмотрим наиболее популярные:

1. Умная трость «The Aid» от компании Fujitsu представлена на рисунке 1.2. Данное устройство поддерживает технологии GPS, Wi-Fi, 3G. Возле держателя есть световые индикаторы, через которые отображается направление, в котором должен идти человек. Она работает по принципу навигаторов и онлайн-карт. Человек вводит точку Б в приложение. И устройство строит ближайший маршрут, и выводит направление, в котором надо идти на световые индикаторы. В результате выводится стрелка, в направлении которой надо идти. Если человек отклоняется от маршрута, то трость начинает вибрировать через специальные вибрационные датчики. Благодаря встроенному аккумулятору на 5000 мА/часов устройство может работать без зарядки около двух недель.



Рисунок 1.2 – Умная трость «The Aid»

Основной принцип работы заключается в использовании GPS-датчиков. GPS – это глобальная система позиционирования, которая позволяет определить

наиболее точные координаты устройства с помощью множества спутников. Для определения местоположения GPS-датчик принимает сигнал как минимум от четырех спутников. Далее измеряется время, за которое спутник получил радиосигнал. На основе этого измерения используется метод триангуляции: определяется широта, долгота и высота объекта, а также может быть рассчитана скорость его перемещения [4].

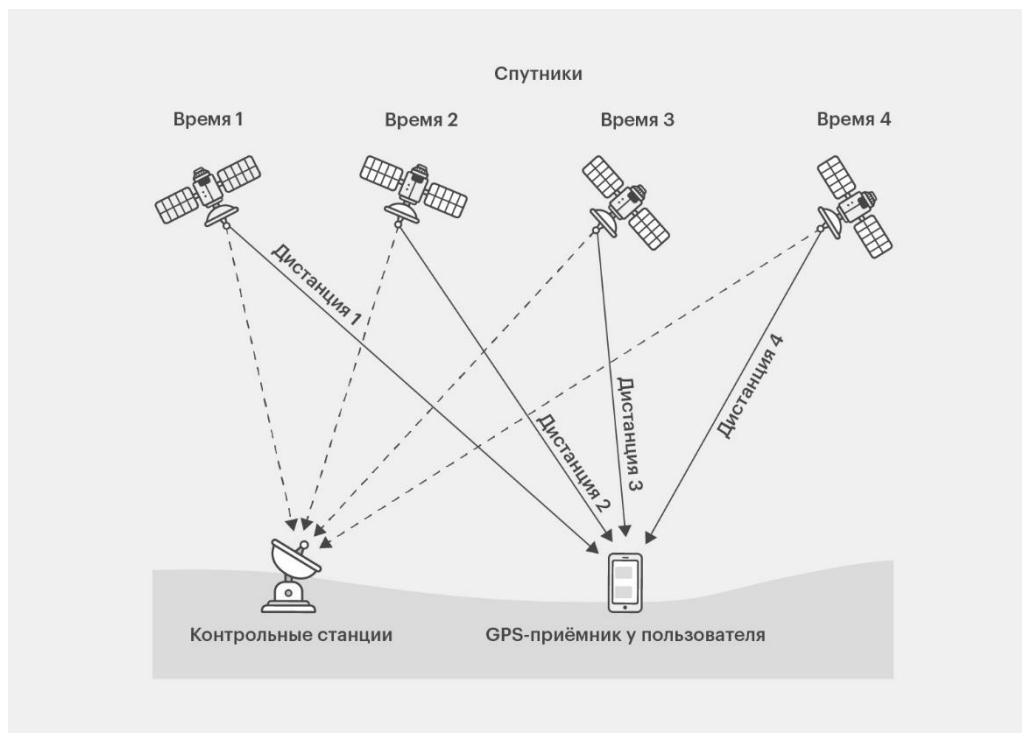


Рисунок 1.3 – Прием и передача сигнала с помощью GPS

Преимущества умной трости «The Aid»:

- высокая точность определения местоположения;
- долгий срок эксплуатации;
- энергоэффективный аккумулятор;
- стойкость к внешним факторам;
- низкая цена;
- интеграция с другими системами.

Недостатки умной трости «The Aid»:

- не подходит для людей с высоким ростом;
- снята с производства.

2. Электронная трость Ray от российского производителя Seedream. Трость представляет собой портативное устройство (рисунок 1.4), которое может крепиться к основной трости и также работать самостоятельно. Основная концепция заключается в использовании ультразвуковых датчиков, которые сканируют пространство и определяют расстояние до препятствия.

Препятствия могут быть обнаружены на расстоянии до 2,8 метров. Для работы с этой системой имеется специальное приложение. Через приложение

можно настроить минимальное расстояние до препятствия, задать маршрут, отследить местоположение человека. При обнаружении опасности будет издаваться звуковой сигнал, также есть возможность отправить сигнал SOS.

Технические характеристики[5]:

1. Размеры: $120 \times 29 \times 19$ мм.
2. Вес: 50 г (вместе с батарейками).
3. Питание: $2 \times 1,5$ В батарейки типа ААА.
4. В комплекте: Ray; $2 \times 1,5$ В батарейки; лента для ношения на шее; руководство по эксплуатации.
5. Гарантия: 1 год.



Рисунок 1.4 – Электронная трость Ray

Принцип работы основан на ультразвуковом излучении. Ультразвук – звук, который распространяется на частоте выше 20 кГц. В устройстве имеется два ультразвуковых датчика, первый является передатчиком, излучает ультразвук, второй, соответственно, приемником – принимает ультразвук. Встроенный контроллер определяет расстояние d по формуле:

$$d = vt/2 \quad (1)$$

где v – скорость звука в воздухе, 343 м/с;

t – время задержки, с.

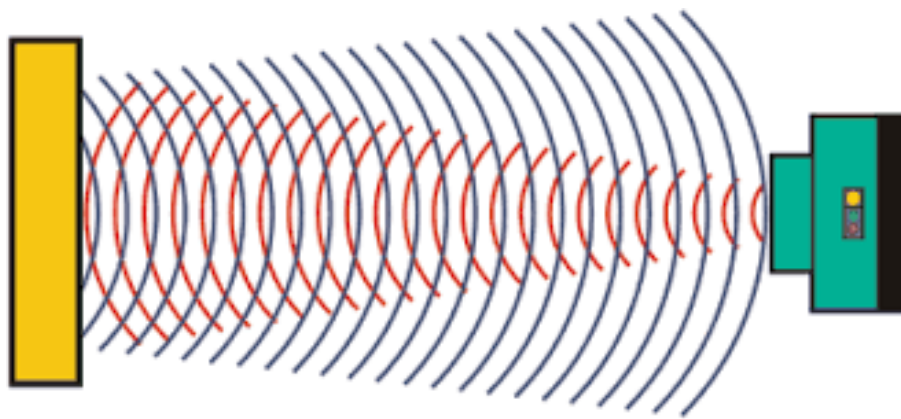


Рисунок 1.5 – Измерение расстояния с помощью ультразвука

Если будет обнаружено препятствие, то контроллер подаст сигнал на датчики оповещения. После этого данное устройство начнет вибрировать и издавать звуковые сигналы. Видеоматериал демонстрирует принцип работы устройства на практике [6].

Преимущества электронной трости Ray:

- компактность;
- чувствительный прибор;
- удобна в использовании;
- низкая цена;
- устройство работает в двух режимах: первый – с пониженной чувствительностью, второй – с повышенной чувствительностью;
- мобильность.

Недостатки электронной трости Ray:

- требуется регулярная зарядка устройства;
- не распознает неровности на дороге;
- плохо работает в непогодных условиях.

3. Инновационная трость WeWalk – стартап от турецкой компании Young Guru Academy (YGA) представлен на рисунке 1.6. Трость использует принцип работы ультразвуковых датчиков для обнаружения препятствий и отправляет сигналы через вибрационные динамики. «Умная палочка» оборудована динамиками и микрофоном, благодаря которым был интегрирован голосовой помощник, который позволяет управлять тростью без телефона. Это очень сильно облегчает управление «Умной палочкой». Система может оповещать об изменениях маршрута, прибытии транспорта, погоде. Благодаря поддержке технологии Bluetooth, устройство может устанавливать соединение с телефоном. При подключении к телефону в качестве навигатора можно использовать сервис Google Maps, и устройство будет выдавать наиболее точные маршруты, а обновления будут приходить через Интернет. Емкость аккумулятора рассчитана на день активного пользования. В режиме сна устройство потребляет 5 мА тока, а в режиме использования – 500 мА. Также, как и электронная трость Ray, данное устройство крепится к трости и может

усовершенствовать обычную трость, сделав ее «Умной палочкой». Цена трости WeWalk составляет 750 000 тенге [7].



Рисунок 1.6 – Инновационная трость WeWalk

Преимущества умной трости WeWalk:

- голосовое управление;
- совместимость с операционными системами Android и iOS;
- позволяет обнаруживать препятствие наиболее точно;
- заводская гарантия 1 год.

Недостатки умной трости WeWalk:

- высокая цена;
- обновление карт только через Интернет;
- на данный момент нет в наличии, изготавливается под заказ.

4. Sunu Band – браслет, который использует ультразвук для навигации. Разработан компанией из Мексики Sunu Inc (рисунок 1.7). В браслет встроены ультразвуковые и вибрационные датчики, которые помогают обнаружить препятствие и определить, как далеко или близко человек от него. Имеется многофункциональное приложение Sunu App для настройки и управления браслетом. В этом интерфейсе можно настроить диапазон чувствительности датчика, записать данные о здоровье, а также узнать, сколько шагов вы прошли за определенное время. Есть возможность ставить вибрационный будильник и просматривать наиболее посещаемые места.



Рисунок 1.7 – Навигационный браслет Sunu Band

Технические характеристики [8]:

1. Размеры: 230·23 мм.
2. Автономность работы: 5 часов при непрерывном использовании и до 3 дней умеренного использования.
3. Диапазон измерений: до 5,5 метров.
4. Поддержка технологии BLE (Bluetooth Low Energy).

1.3 Анализ существующих моделей «Умных палочек»

Таблица 1 – Сравнительная таблица «Умных палочек»

«Умная палочка»	The Aid	Ray	WeWALK	Sunu Band
Описание	Умная трость с датчиками GPS	Портативная электронная трость	«Умная палочка» с голосовым управлением	«Умный браслет» для ориентации
Производитель	Fujitsu (Япония)	Ray (Китай)	Young Guru Academy (Турция)	Sunu Inc (США)
Цена	250000 тенге	200000 тенге	300000 тенге	125000 тенге
Принцип работы	GPS	Ультразвук	Ультразвук	Ультразвук
Поддерживаемые технологии	Bluetooth, GPS	Нет	Bluetooth, Wi-Fi	GPS, Bluetooth
Время активной непрерывной работы	До 10 часов	До 8 часов	До 12 часов	До 6 часов
Время зарядки устройства	2 часа	1.5 часа	3 часа	2 часа
Веб-приложение	Нет	Нет	Есть	Есть
Заводская гарантия	1 год	1 год	2 года	1 год

На основании таблицы 1 составим SWOT-анализ. SWOT-анализ (Strengths

– сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности, Threats – угрозы) – метод, который является базовым инструментом для оценки проектируемой модели.

Сильные стороны (Strengths):

1. Помощь в навигации – улучшает ориентацию в пространстве.
2. Совместимость с другими устройствами – использование современных технологий.
3. Легкость в использовании и настройке.
4. Долгий срок эксплуатации – высокая отказоустойчивость ресурсов.

Слабые стороны (Weaknesses):

1. Высокая цена – дороговизна материалов для изготовления «Умной палочки».
2. Гарантия – заводская гарантия от производителя примерно 1 год.
3. Качество обслуживания (QoS) – отсутствие консультативных и сервисных центров.

Возможности (Opportunities):

1. Использование виртуальных помощников и ИИ – интеграция ИИ для построения маршрутов.
2. Понижение цены – использование аналогичных и доступных технологий.
3. Государственная поддержка – инвестирование средств из государственного бюджета в производство «Умной палочки».
4. Подключение к Интернету – для обмена информацией.

Угрозы (Threats):

1. Высокая конкуренция – подделка оригинального устройства.
2. Малоемкий аккумулятор – небольшая продолжительность работы в активном режиме.
3. Сетевые угрозы – при незащищенных протоколах для приема-передачи информации.

SWOT-анализ показывает, что при проектировании «Умной палочки» необходимо:

1. Снижение цены при использовании аналогичных и доступных технологий для возможности приобретения устройства людям с ограниченным бюджетом.
2. Увеличить продолжительность работы устройства за счет более емких аккумуляторов.
3. Обеспечить защиту информации при передаче и приеме сигнала.
4. Открытие консультативных и сервисных центров для повышения качества обслуживания.

Решение данных проблем позволит «Умной палочке» быть более доступной к покупке и защищенной от внешних сетевых угроз.

1.4 Постановка задач на дипломную работу

1. Согласно техническому заданию, выбрать волоконно-оптический датчик для измерения расстояния до 5 метров.
2. Выбрать микроконтроллер или микропроцессор, который будет управлять работой «Умной палочки».
3. Разработать конструктивную и электронную эскизные модели «Умной палочки» с использованием волоконно-оптических датчиков с учетом технических характеристик, приведенных в разделе 1, части 1.
4. Разработать и создать макет «Умной палочки» с учетом требований международных стандартов.
5. Разработать имитационную модель «Умной палочки» и исследовать параметры приема и передачи информации на языке программирования Python, Matlab и других.

Выводы. На основании анализа и обзора современных решений и технологий в устройствах, используемых для людей с ограниченными возможностями, можно сделать вывод, что практически во всех устройствах используются принцип работы ToF (Time of Flight). ToF – это время пролета, за которое сигнал передается и принимается. Микроконтроллер или микропроцессор обрабатывает время пролета сигнала и вычисляет расстояние от устройства до препятствия. После обнаружения препятствия устройство оповещает человека о нем с помощью звуковых или вибрационных датчиков.

В первой части описано устройство «Умной палочки», рассмотрены основные функции, которые необходимы для создания ее макета.

Во второй части представлен обзор существующих «Умных палочек», их принципов работы и технических характеристик.

В третьей части проведен SWOT-анализ современных «Умных палочек» на основании сравнительной таблицы.

В четвертой части определен перечень задач, которые необходимо выполнить для разработки модели «Умной палочки».

В разделе 2 рассмотрим основные параметры волоконно-оптических датчиков, на которые следует опираться при выборе оптического датчика. После того как выбрали датчик, мы должны рассмотреть его принцип приема-передачи и технические характеристики.

В разделе 3 выберем микроконтроллер для обработки сигналов от оптического датчика и управления «Умной палочкой». Для разработки устройства «Умная палочка» спроектируем электрическую схему и проверим ее через симулятор.

В разделе 4 разработаем и протестируем код, который будет выполнять основные функции «Умной палочки».

2 Исследование волоконно-оптических датчиков для «Умной палочки»

2.1 Анализ основных параметров волоконно-оптических датчиков

В 1980-е годы волоконно-оптические датчики стали активно применяться в области электроники. Волоконно-оптический датчик – устройство, которое состоит в основном из трех главных компонентов: передатчик световой энергии, оптоволокно и приемник световой энергии.

Передатчик световой энергии генерирует световой сигнал и излучает свет в оптическое волокно. Здесь необходимо отметить важное свойство – это когерентность. Когерентность – согласование волн светового сигнала по основным параметрам (длина волны, фаза волны). В светоизлучательном приборе могут применяться как когерентные, так и некогерентные источники света. Например, лазер – когерентный источник света, светоизлучательный диод – некогерентный источник света. Основные характеристики передатчика – это его мощность излучения M_λ , сила излучения I_λ , и КПД (коэффициент полезного действия) η . Мощность оптического излучения M_λ измеряется в ваттах на квадратный метр ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$) и вычисляется по формуле:

$$M_\lambda = dP/dA_u \quad (2)$$

где P – количество переносимой энергии в единицу времени, Вт;

A_u – площадь поверхности, м^2 .

Сила излучения I_λ измеряется в ваттах настерадиан ($\frac{\text{Вт}}{\text{ср}}$) и определяется по формуле:

$$I_\lambda = dP/d\omega \quad (3)$$

где P – количество переносимой энергии в единицу времени, Вт;

ω – телесный угол, ср.

Следует учесть, что источник излучения может быть точечным и неточечным.

Точечный источник – это идеальный источник, размеры которого не сравнимы с расстоянием до точки наблюдения так, что его можно изобразить математической точкой. Сила излучения для него определяется формулой (3).

Неточечный источник – источник конечных размеров, неопределяемый с математической точки зрения как точка, поскольку его геометрические размеры препятствуют нормальному распространению энергии или излучения. Для неточечного источника применяется другая характеристика – энергетическая яркость излучения L_λ . Она измеряется в ваттах настерадиан-квадратный метр и вычисляется по формуле:

$$L_\lambda = dP^2/dA_u \cdot \omega \cdot \cos\varphi \quad (4)$$

где P – количество переносимой энергии в единицу времени, Вт;
 A_u – площадь поверхности, м^2 ;
 ω – телесный угол, ср;
 φ – угол между нормалью к поверхности A_u и направлением наблюдения излучения, радиан.

КПД η показывает, насколько эффективно излучает свет передатчик, и находится по формуле:

$$\eta = P/P_{\pi} \quad (5)$$

где P_{π} – мощность, проводимая от источника питания к передатчику, Вт.

Оптическое волокно служит средой передачи световой энергии. Оно состоит из сердечника, оболочки, и защитного покрытия (рисунок 2.1). В роли сердечника здесь выступает стекло, через которое распространяется световой сигнал [9].



Рисунок 2.1 – Структура оптического волокна

Важно, чтобы световой сигнал полностью отражался внутри сердечника; необходимо рассчитать максимально возможный угол, под которым может вводиться сигнал. Этот угол называется числовой апертурой NA (Numerical Aperture) и находится по формуле:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (6)$$

где n_1 – коэффициент преломления сердечника;

n_2 – коэффициент преломления оболочки.

Если пренебрегать данным условием, то свет будет рассеиваться и будет низкое качество передачи сигнала.

Еще одним важным параметром оптического волокна является нормированная частота. Она показывает максимальное количество лучей,

которые можно ввести в оптическое волокно. Нормированная частота v является безмерной величиной и вычисляется по формуле:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot \alpha / \lambda \cdot NA \quad (7)$$

где π – математическая постоянная, приблизительно равная 3.14;

α – радиус сердечника волокна, м;

λ – длина волны, м;

NA – числовая апертура.

Третий элемент – это приемник световой энергии в оптическом датчике. Он отвечает за прием сигнала и преобразует его в электрический сигнал. Например, фотодиод является приемником световой энергии. На чувствительный элемент поступает световой поток, затем чувствительный элемент его обрабатывает и генерирует фототок, пропорциональный интенсивности света. Сгенерированный фототок слабый и его необходимо усилить, поэтому в схеме обязательно после светодиода должен быть усилитель. После усиления нужно отфильтровать помехи, чтобы сигнал был приближен к полезному и передан в контроллер для обработки. Основная характеристика фотодиода – освещенность E_ϕ . Она измеряется в люксах (лк) и рассчитывается по формуле:

$$E_\phi = d\Phi / A_n \quad (8)$$

где $d\Phi$ – световой поток;

A_n – площадь поверхности, м²;

Таким образом, мы рассмотрели основные параметры, которые необходимо учесть при создании «Умной палочки» [10].

2.2 Протокол I²C для приема-передачи информации оптического датчика

После того как мы рассмотрели основные параметры волоконно-оптических датчиков, надо выяснить, как будет происходить процесс обмена информацией между датчиком и контроллером.

Для этого мы будем использовать протокол I²C (Inter-Integrated Circuit – Межинтегральная схема), который был разработан компанией Philips. Он позволяет быстро обмениваться данными между устройствами. Данные передаются в виде байтов, и их количество неограниченно. Для его реализации нужно два устройства: первое будет работать в режиме мастер (master), а второе в режиме ведомое (slave) (рисунок 2.2).

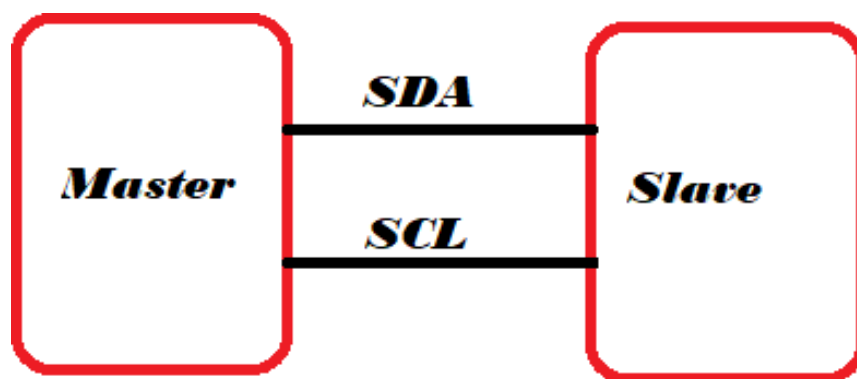


Рисунок 2.2 – Организация протокола I²C

Шина передачи данных является двунаправленной, но в определенный промежуток времени может быть только одно ведущее устройство, а другое – ведомым. Устройства подключаются к шине через выходные каскады, они должны быть установлены в открытом состоянии (открытые сток или коллектор).

Протокол I²C поддерживает 5 режимов скоростей:

1. Стандартный режим – 100 кбит/с;
2. Быстрый режим – 400 кбит/с;
3. Быстрый плюс режим – 1 Мбит/с;
4. Высокоскоростной режим – 3.4 Мбит/с;
5. Ультрабыстрый режим – 5 Мбит/с .

Шина данных представляет собой два канала SDA и SCL. По каналу SDA (Serial Data Line – Последовательная линия данных) передаются данные, а по каналу SCL (Serial Clock Line – Последовательная линия тактирования) происходит синхронизация данных, то есть управление.

Перед началом и концом обмена информацией используются режимы старт и стоп (рисунок 2.3). Эти режимы задаются только устройством-мастер.

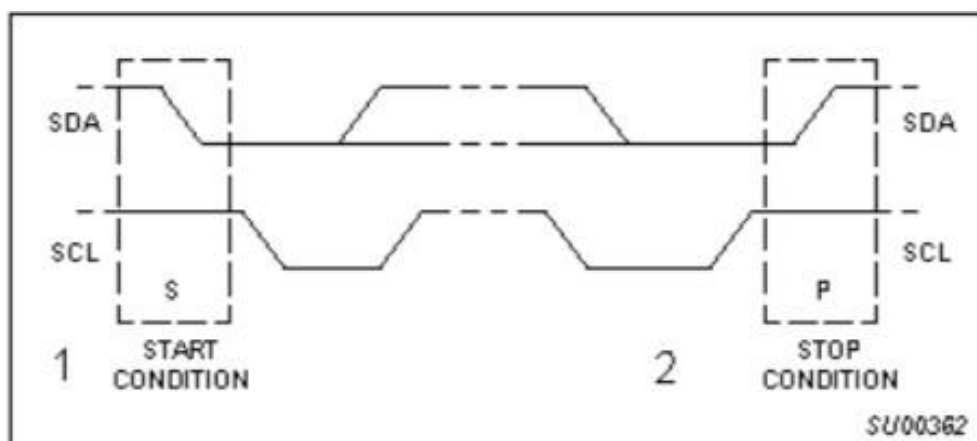


Рисунок 2.3 – Сигналы СТАРТ и СТОП

Режим старта означает, что связь между устройствами установлена, и они

могут приступить к обмену информацией. Для того чтобы установить данный режим линия SDA должна перейти из высокого состояния в низкое, а линия SCL находится в высоком состоянии. Это сигнал перед началом обмена информацией. После установки режима канал SDA недоступен, пока не будет сигнал режима стоп.

Режим стоп означает, что сеанс связи между устройствами завершен. Режим устанавливается путем перевода линии SDA из низкого состояния в высокое, при этом линия SCL также находится в высоком состоянии. Соответственно, линия передачи SDA свободна. Процесс передачи данных (рисунок 2.4):

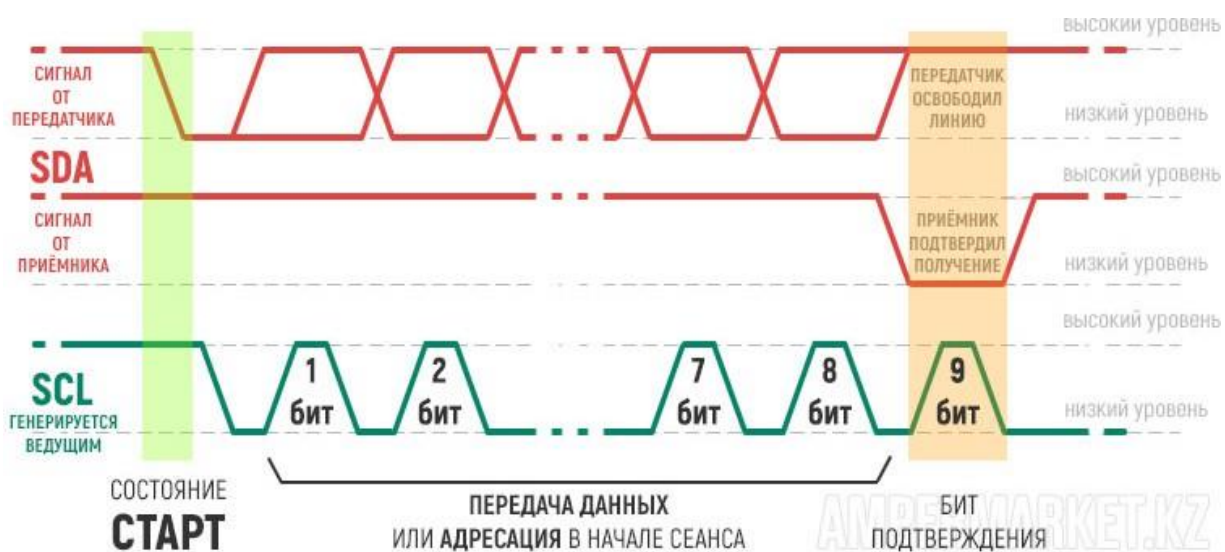


Рисунок 2.4 – Процесс передачи данных по протоколу I²C

1. Устройство, которое хочет передать данные, то есть быть ведущим устройством отправляет сигнал старт.

2. После сигнала старт, устройство отправляет 8-битный сигнал. Первые семь битов являются адресом устройства, который является ведомым. Последний бит может быть либо 1, либо 0 в зависимости от операции. 1 – означает устройство-мастер будет читать данные, а 0 – означает устройство-мастер будет записывать данные.

3. Ведомое устройство должно подтвердить или отказать в операции. Если устройство подтверждает, значит оно готово к приему информации и линия SDA устанавливается в низкое состояние. Этот сигнал называется ACK (Acknowledge), что в переводе с английского языка означает подтверждение. Также от приемного устройства может поступить отказ NACK (Negative Acknowledge).

4. После подтверждения данные начинают передаваться по линии SDA. Чтобы данные корректно передались, необходимо, чтобы после каждого байта информации, приемное устройство подтверждало принятую информацию. В ответ на байт, оно отправляет один бит, устанавливая линию SDA в низкое

состояние.

5. Конец передачи данных, устройство-мастер отправляет сигнал стоп. Это означает, что прием информации закончен. И линия SDA свободна.

На сегодняшний день протокол I²C является очень распространенным, и может применяться для связи микроконтроллеров, датчиков, сенсоров и вибрационных модулей. В нашем проекте протокол I²C имеет важное значение для создания «Умной палочки», так как весь процесс передачи информации будет связан с данным протоколом [11].

2.3 Описание модуля GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X «Умной палочки»

Согласно техническому заданию, оптоволоконный датчик для создания «Умной палочки» должен иметь следующие параметры:

1. Чувствительность оптоволоконного датчика: от 0 до 10 рад/с.
2. Диапазон измерений: от 0 до 1000 мкм.
3. Температурная стабильность: от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$.
4. Максимальное значение энергии удара для бесперебойной и безопасной работы сенсора: до 7 Дж.
5. Диапазон обслуживания: до 5 метров.

Как указывалось в разделе 1, части 4, датчик работает по принципу ToF (Time of Flight) – время пролета. Данная технология применяется для измерения расстояния. Она вычисляет время, за которое световой импульс пролетел от передатчика до приемника (рисунок 2.5).

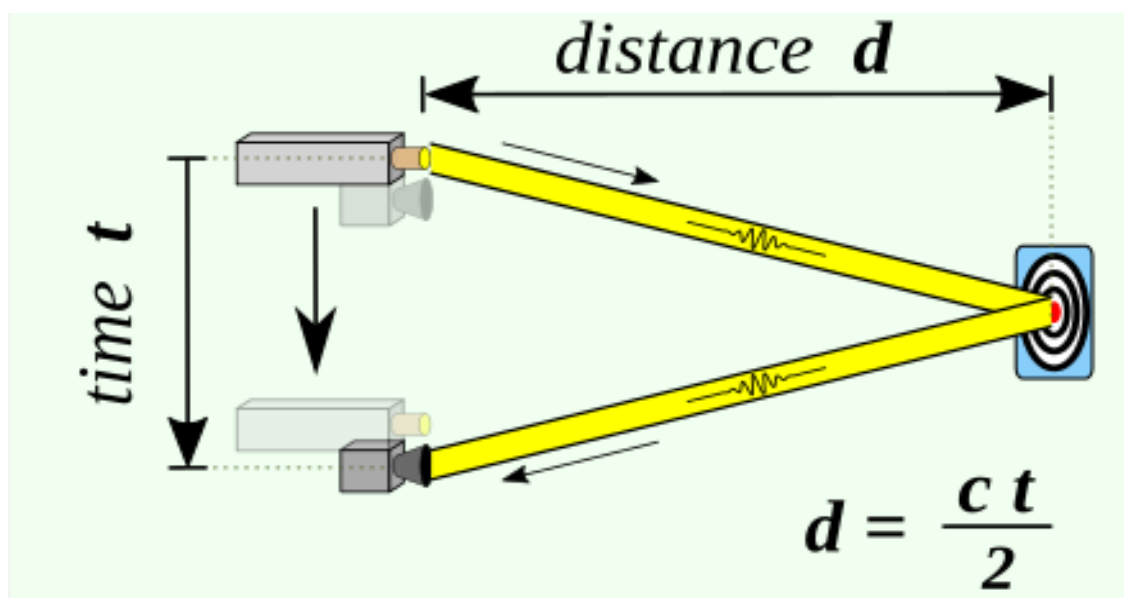


Рисунок 2.5 – Время пролета лазерного импульса

По заданию дано, что диапазон обслуживания датчика до 5 метров. Значит

необходимо рассчитать время, за которое сигнал пролетит 5 метров. Из формулы (1) выведем формулу для нахождения времени:

$$t = 2d/c \quad (9)$$

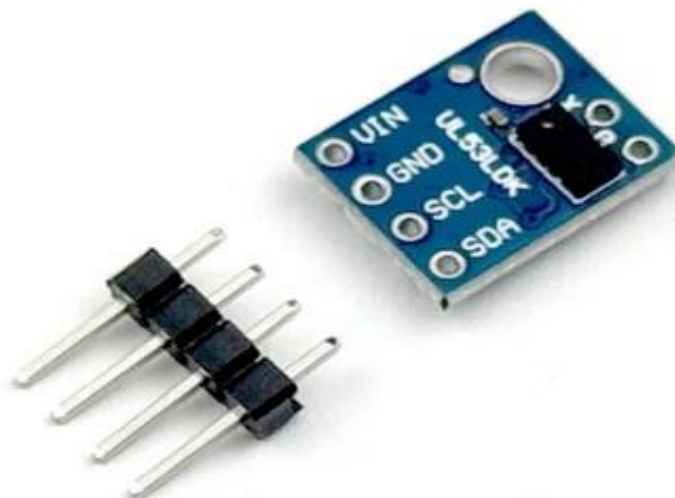
где c – скорость света, $3 \cdot 10^8$ м/с .

Важно отметить, что в формуле (1) значение c равно 343 м/с, так как рассматривалось распространение звука в воздухе.

Теперь рассчитаем время для пролета 5 метров:

$$t = \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 10^8} = 3.33 \cdot 10^{-8} c$$

Для создания «Умной палочки» будет использоваться модуль GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X (рисунок 2.6).



Ы

Рисунок 2.6 – Оптический датчик VL53L0X

Технические характеристики модуля GY-530:

1. Источник питания: от 2.8 В до 5 В.
2. Длина волны лазера: 940 нм.
3. Размер модуля : 13.3x10.5мм.
4. Размер оптического датчика: 4.4 x 2.4 x 1 мм.
5. Поддерживаемый протокол передачи: I²C
6. Потребляемый ток: 20 мА.
7. Вес: 0.5 г.

Архитектура модуля GY-530 представлена на рисунке 2.7.

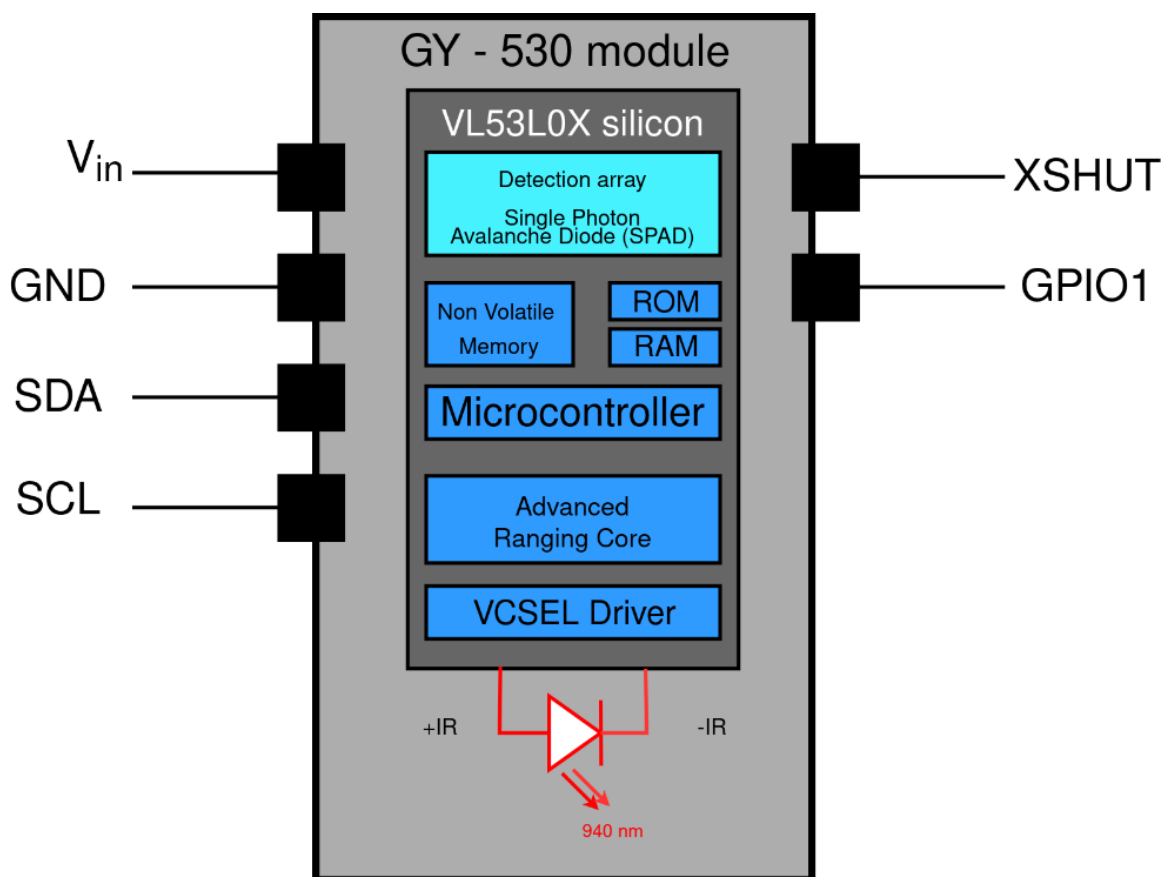


Рисунок 2.7 – Архитектура модуля GY-530

Как мы видим, модуль имеет 6 выводов. Выводы V_{in} и GND отвечают за питание модуля, соответственно, V_{in} (Voltage Input) используется для подачи входного напряжения, а GND (Ground) для вывода на общую шину питания (земля).

Выводы SDA и SCL обеспечивают связь между модулем и контроллером «Умной палочки» по протоколу I²C.

Выводы XSHUT и GPIO1 предназначены для управления модулем программным обеспечением. Интерфейс XSHUT (External Shutdown) позволяет управлять питанием через программное обеспечение, то есть если необходимо перевести датчик из одного состояния в другое. Например, если надо чтобы модуль работал в состоянии энергосбережения или перезагрузился. Интерфейс GPIO1 (General Purpose Input/Output 1) также настраивается программой и может быть использован как источник сигнала о событиях, связанных с работой датчика. Например, прерывание или сигнализация о выходе за пределы границы лазера.

Микроконтроллер модуля – управляет всем модулем и отвечает за исправную работу датчика.

RAM (Random Access Memory) – оперативная память, в которой выполняется код программы.

ROM (Read-Only Memory) – встроенная память, в которой хранится код программы.

Non-Volatile Memory – энергонезависимая память. В ней хранятся заводские параметры о лазере, оптике и серийном номере.

Advanced Ranging Care – блок, использующийся для оптимизации работы лазера. К примеру, фильтрация шумов, калибровка расстояния, коррекция перекрестных помех.

VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) Driver – проводник между лазером VL53L0X и микроконтроллером, отвечающий за управление датчиком. К примеру, управляет питанием, включает и выключает лазер, модулирует сигнал.

Лазер VL53L0X состоит из лазерного диода (VCSEL-Detection array) и фотодетектора (SPAD-Single Photon Avalanche Diode). Схематическое изображение (рисунок 2.8) модуля VL53L0X с указанием конусов излучения (Emitter Exclusion Cone) и приёма (Collector Exclusion Cone). Приведены углы расходимости луча (35° для излучателя, 25° для приёмника) и диаметры конусов на заданной плоскости [12].

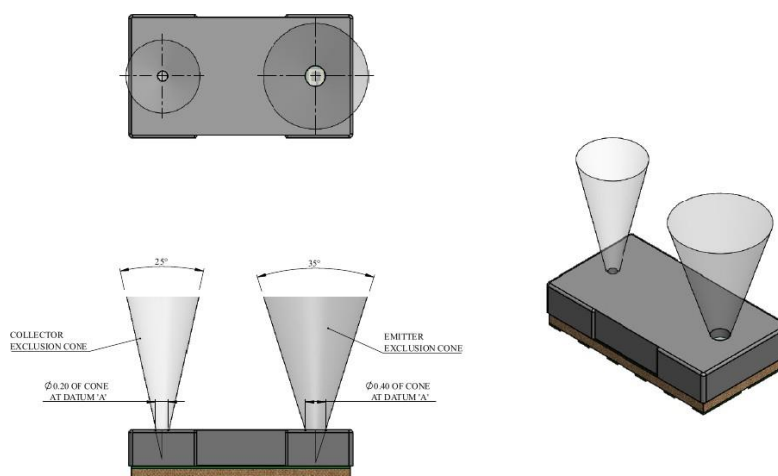


Рисунок 2.8 – Оптическая схема работы лазера VL53L0X: зоны излучения и приёма сигнала

Выводы. В первой части раздела 2 подробно проанализированы параметры волоконно-оптических датчиков с формулами и пояснениями. Параметры учитываются при проектировании устройств, где будут применены датчики. От параметров зависит качество измерения величины, для которой они предназначены.

Во второй части раздела 2 представлен принцип работы протокола I²C, необходимого для приема и передачи информации нашим датчиком.

В третьей части раздела 2 описан модуль GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X. Рассмотрены выводы, архитектурная часть модуля и лазер VL53L0X. Он будет использоваться для определения расстояния до 2 метров.

3 Разработка электронной схемы «Умной палочки»

3.1 Платформа Arduino Nano для управления «Умной палочкой»

Управлять устройством «Умная палочка» будет микроконтроллер ATmega328, который входит в состав отладочной платы Arduino Nano (рисунок 3.1).

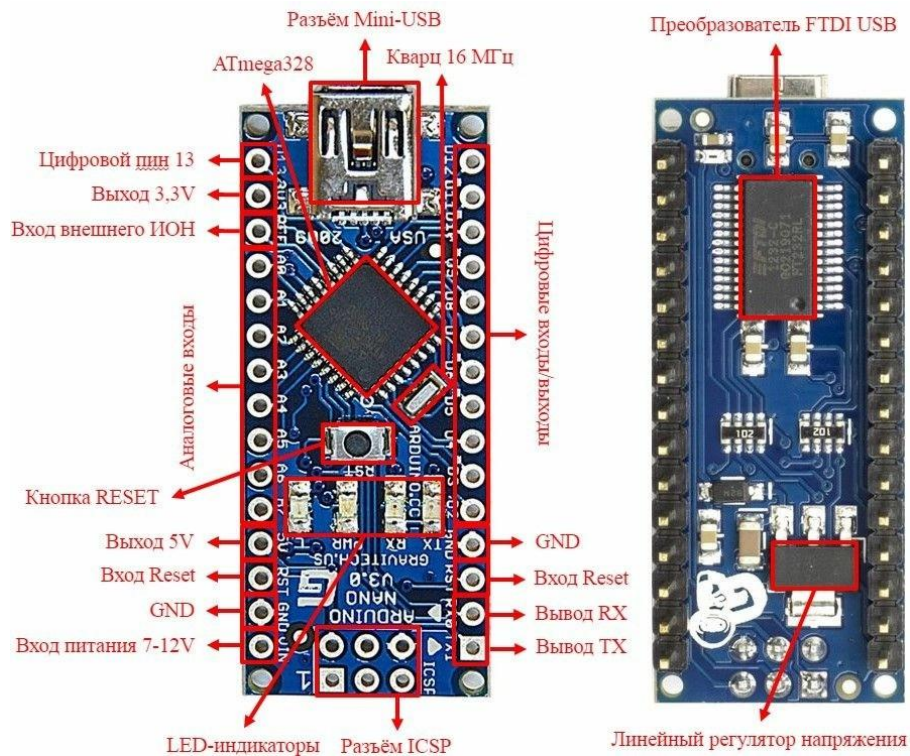


Рисунок 3.1 – Структура платы Arduino Nano на чипе ATmega328

Данный микроконтроллер работает на частоте 16 МГц и имеет 8-битную архитектуру AVR.

Технические характеристики микроконтроллера ATmega328 [13]:

1. 8-канальный аналого-цифровой преобразователь;
2. 131 инструкция, большинство из которых выполняется за 1 такт;
3. 1 КБ SRAM, 16 КБ Flash и 512 байт EEPROM-памяти;
4. Напряжение питания от 2,7 до 5,5 В;
5. 6 каналов ШИМ;
6. Встроенный аналоговый компаратор.

Платформа Arduino Nano используется в специальных проектах, где требуется измерять или управлять системой. Основные цифровые интерфейсы для передачи данных: I²C, UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface). В дипломной работе мы будем использовать первые два. С помощью I²C мы будем отслеживать состояние датчика и управлять им. Интерфейс UART позволит программировать платформу для «Умной палочки». Выводы Rx (Receive) и Tx (Transmit) представляют этот

интерфейс. По линии Rx платформа будет получать данные от компьютера, который будет устанавливать программное обеспечение для управления «Умной палочкой». Линия Tx представляет собой передатчик, по ней будет отправляться обратная связь для компьютера. Например, об успешной установке программного обеспечения. В случае, если требуется перезагрузка платформы, надо нажать кнопку Reset, которая находится по центру платы. Программный код будет описан в 4 главе с подробным объяснением.

Электрическая схема платформы Arduino Nano представлена в приложении А.

3.2 Проектирование электрической схемы в программе Kicad

Проектирование электрической схемы является важным шагом в создании «Умной палочки». Оно позволит подготовиться к производству, создаст основу для дальнейшего изготовления печатных плат и интеграции компонентов. Для создания электрической схемы будет использоваться программа Kicad.

Программа Kicad позволяет проектировать печатные платы, создавать электрические схемы, проверять их правильность работы.

Преимущества программы Kicad:

1. Открытый исходный код. Это позволяет проверить код на наличие ошибок или уязвимостей, а также настроить программу под свои задачи.
2. Кросс-платформенность. Мы можем установить программу на различные операционные системы (Windows, Linux, macOS).
3. Совместимость и интеграция. Kicad поддерживает более 10 000 библиотек для различных устройств.

Для начала работы необходимо установить программу на официальном сайте [14].

После установки программы мы открываем ее и создаем проект. Для создания проекта необходимо дать ему название. Наш проект в программе Kicad будет называться Smart Cane. Теперь перед нами появляется окно, в котором отображается наш проект. Мы можем выбрать Smart Cane.kicad_pcb (файл, предназначенный для редактирования печатных плат) или Smart Cane.kicad_sch (файл, предназначенный для редактирования электрических схем). Нам нужен файл Smart Cane.kicad_sch (рисунок 3.2), открываем его и начинаем проектировать электрическую схему для «Умной палочки».

В первую очередь мы наносим на схему элементы «Умной палочки». Основные элементы: платформа Arduino Nano, оптический датчик с лазером VL53L0CXV0FY1, Buzzer (звуковой датчик), источник питания (+5V, GND).

Второй этап – правильно соединить элементы схемы согласно правилам проектирования печатных плат [15]. Рассмотрим данный этап по шагам:

1. Подключаем питание 5В на Arduino Nano, также от него будет запитываться датчик. К выводу +5V подключаем плюсовой провод питания с 5 вольтами, а к выводу GND минусовой провод питания. Также от данного

источника питания подаем питание на оптический датчик с +5v на Vin, с GND контроллера на GND датчика.

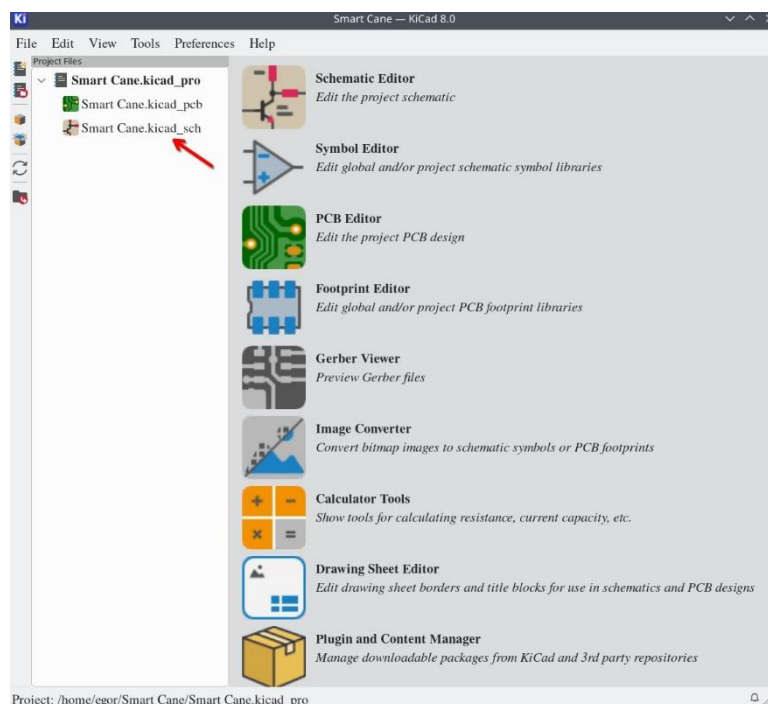


Рисунок 3.2 – Интерфейс программы KiCad 8.0 с открытым проектом

2. Присоединяем оптический датчик GY-530 к платформе Arduino Nano. Для этого соединяем выводы SDA и SCL с аналоговыми выводами A4 и A5 Arduino Nano соответственно.

3. Подключаем звуковой датчик к контроллеру Arduino Nano. Минусовой провод соединяем с выводом GND, а плюсовой провод с цифровым выводом D3. Если окажется препятствие перед датчиком, контроллер подаст напряжение на звуковой датчик, и он будет издавать сигнал. Таким образом, была собрана электрическая схема «Умной палочки», представленная на рисунке 3.3.

Третий этап – это проверка проектирования электрической схемы. Этот этап состоит из трех операций, которые показаны на рисунке 3.4. Их необходимо выполнить в указанном порядке. После нажатия на кнопку Run ERC (Electrical Rules Check) выходит окно с результатами проверки. Как видно из рисунка 3.4, наша электрическая схема соответствует всем электрическим правилам проверки, что означает правильность выполнения технического задания.

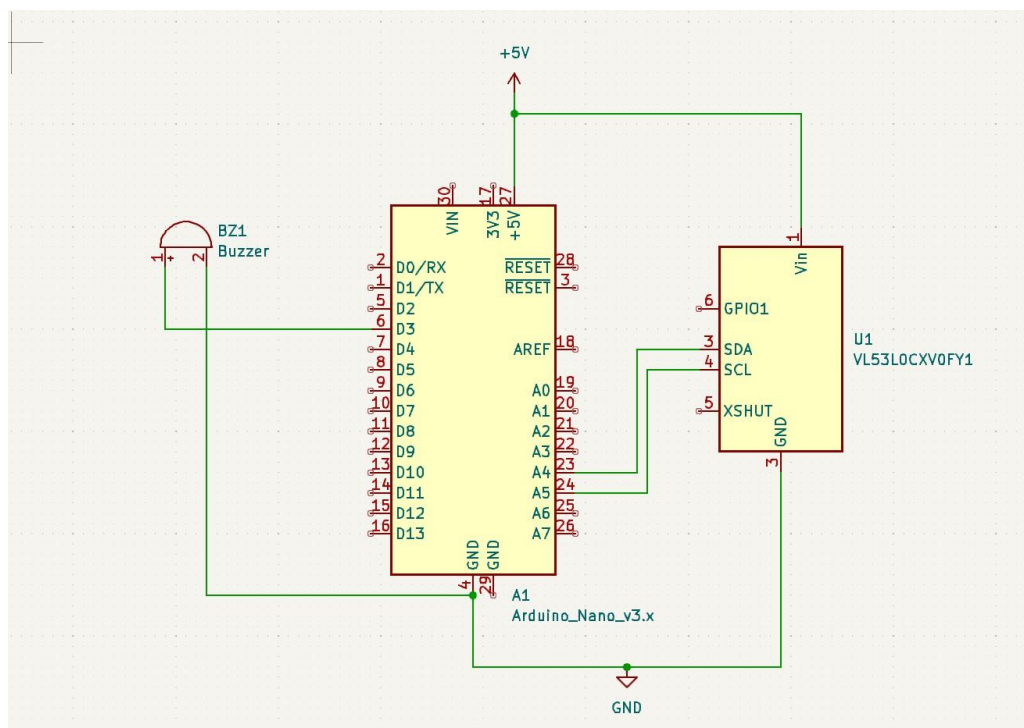


Рисунок 3.3 – Электрическая схема «Умной палочки»

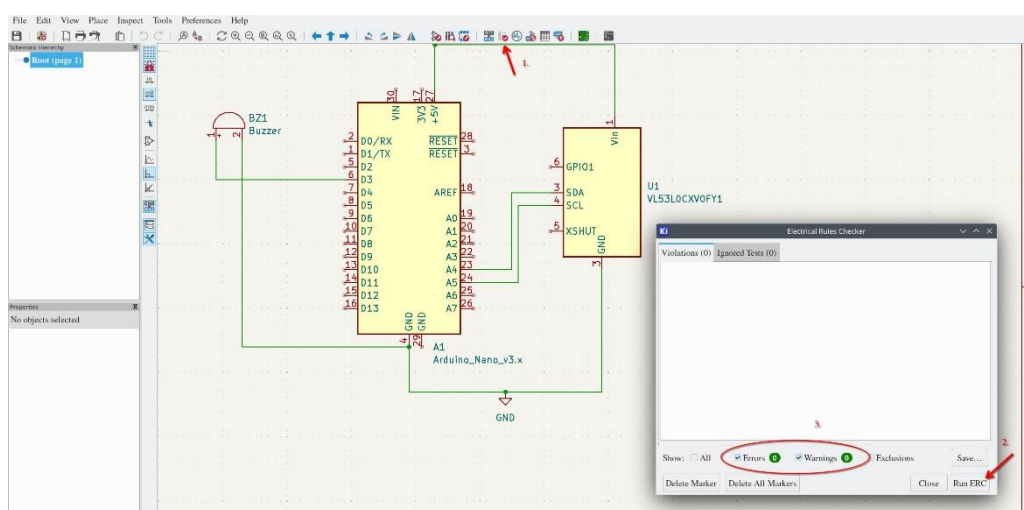


Рисунок 3.4 – Проверка проектирования электрической схемы

Выводы. В этой главе был описан важный этап в разработке устройства «Умной палочки». В первой части, изучив технические параметры контроллеров, мы выбрали контроллер Arduino Nano, который будет управлять нашим устройством. Во второй части был описан принцип разработки электрической схемы «Умной палочки». Данный процесс выполнен в программе Kicad. Затем мы выполнили проверку на правильность работы данной схемы. Это был основной этап перед созданием «Умной палочки».

4 Программирование контроллера Arduino Nano для управления «Умной палочкой»

Программирование контроллера – это второй значимый шаг в создании «Умной палочки». В этой главе мы должны:

1. Рассмотреть среду разработки для написания кода, по которому будет работать вся конструкция «Умной палочкой».
2. Описать основные этапы, опираясь на которые мы будем писать код.
3. Провести тестирование работы программы на учебном макете.

4.1 Arduino IDE среда разработки для «Умной палочки»

Arduino IDE – современная платформа для программирования печатных плат от компании Arduino. Основной синтаксис языка программирования представляет собой язык C++. C++ – это язык программирования, на основе языка C. Он применяется в основе создания игр, операционных систем и других профессиональных задачах. Arduino IDE поддерживает большое количество библиотек для написания разных проектов, что может помочь новичкам в написании кода в данной программе. Также важно отметить, что среда разработки Arduino IDE является кросс-платформенной. Для начала работы с Arduino IDE мы должны скачать установщик программы с официального сайта [16]. После установки открываем программу и перед нами появляется окно, представленное на рисунке 4.1.

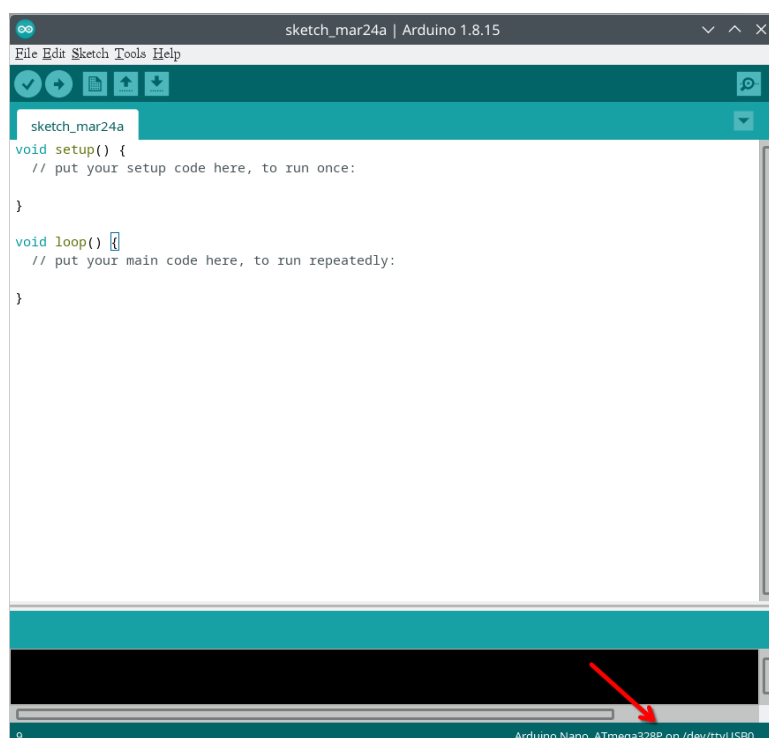


Рисунок 4.1 – Интерфейс программы Arduino IDE

Подключаем кабелем USB-type C плату к компьютеру. В правом нижнем углу указаны плата Arduino Nano, микроконтроллер ATmega328P, порт подключения платы к компьютеру. После того как была установлена связь между платой и компьютером, мы можем посмотреть примеры программ для разных проектов. Для этого переходим в File, далее Examples. Перед нами вышел список с разными программами, который могут быть основой для разработки кода.

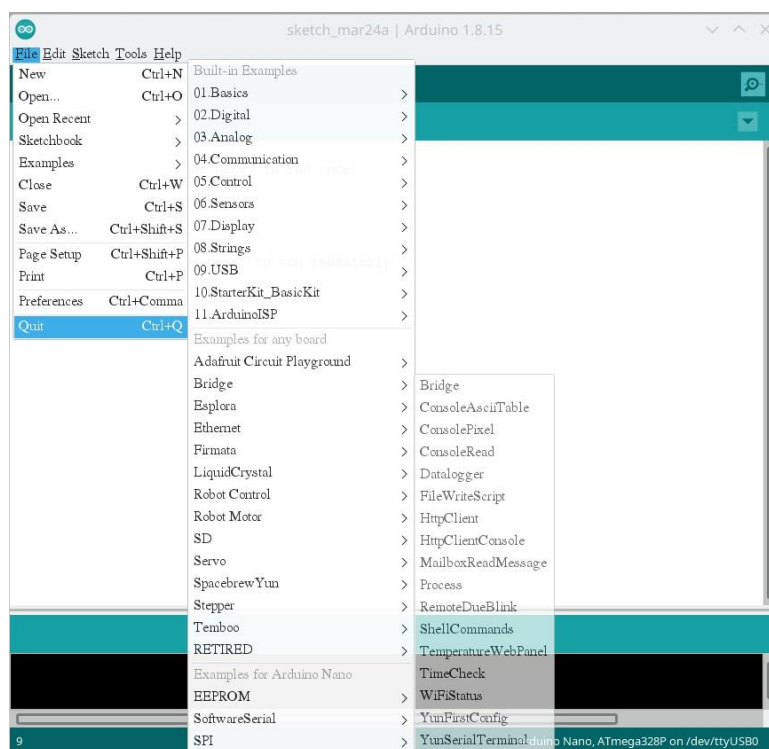


Рисунок 4.2 – Базовые примеры написания кода для разных проектов

Библиотека – основной помощник в написании кода. Она представляет собой готовый контейнер, где хранятся основные функции, модули, классы. В проекте по созданию «Умной палочки» нужны будут библиотеки: Wire, Adafruit_VL53L0X (рисунок 4.3).

Библиотека Wire – инструмент, который позволяет обмениваться информацией оптическому датчику и платой Arduino Nano по протоколу I²C.

Библиотеки Adafruit_VL53L0X и VL53L0X предназначены для управления оптическим датчиком с лазерами VL53L0X, VL53L0DK, VL53L1X, но применяются в разных задачах в зависимости от изначальных условий. Библиотека Adafruit_VL53L0X от разработчиков Adafruit является простой и позволяет устанавливать минимальные настройки для управления оптическим датчиком. Библиотека VL53L0X была написана разработчиками STMicroelectronics для применения более сложных задач. Например, может использоваться для фильтрации помех, калибровки смещения или времени. Пример написания кода с использованием этих библиотек представлен в приложение Б.

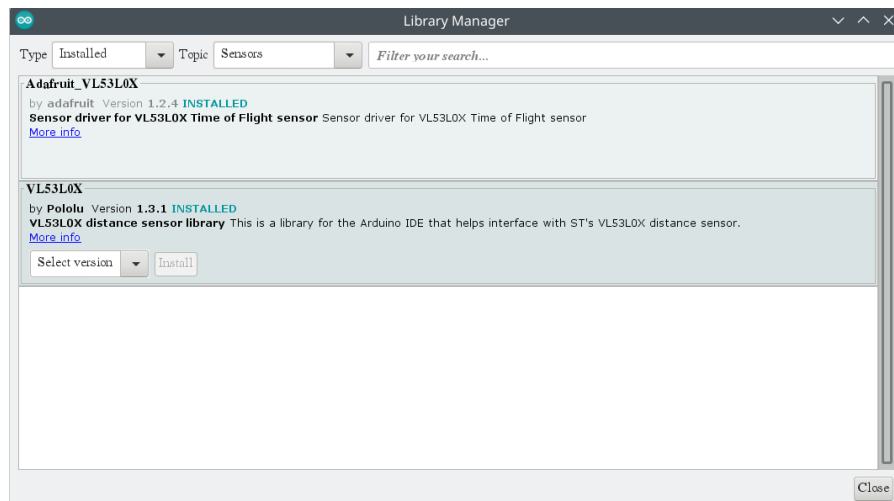


Рисунок 4.3 – Библиотеки Adafruit_VL53L0X и VL53L0X

4.2 Написание кода для работы «Умной палочки»

Перед написанием кода нам надо понять, какие функции будет выполнять код для корректной работы «Умной палочки».

1. Прием информации отправленной с оптического датчика.
2. Обработка принятого сигнала микроконтроллером Arduino Nano.
3. На основании обработки и вычислений при обнаружении препятствий отправлять сигнал на тактильные устройства.

Теперь приступим к написанию кода в программе Arduino Nano.

Для начала нам надо подключить библиотеки (Wire, Adafruit_VL53L0X) и объявить пины, которые мы будем использовать для подключения тактильных устройств. В электрической схеме (рисунок 3.3) было указано, что будет использован только цифровой пин D3. Но также в качестве вибрационного модуля будет использоваться вибромотор, который описан в другой дипломной работе (продолжение проекта «Умная палочка»). Вибромотор подключается к выводу D2. Команда `#include <Wire.h>` подключает нужную нам библиотеку. Команда `#define BUZZER_PIN 2` присваивает цифровому выводу D2 название BUZZER_PIN (рисунок 4.4).

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_VL53L0X.h>

#define BUZZER_PIN 2 // Пин для пищалки
#define VIBRO_PIN 3  // Пин для вибромотора
```

Рисунок 4.4 – Подключение библиотек и объявление пинов

Создание объекта датчика – команда `Adafruit_VL53L0X lox`. Это нужно для управления оптическим датчиком VL53L0X. Далее нам необходимо

инициализировать входящие и выходящие пины. Инициализация используется при включении или перезагрузки платы Arduino Nano. Команда – void setup() позволяет сделать настройку инициализации (рисунок 4.5).

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600); // Запуск порта для вывода данных  
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(VIBRO_PIN, OUTPUT);  
  
    if (!lox.begin()) { // Проверяем, инициализировался ли датчик  
        Serial.println("Ошибка инициализации VL53L0X!");  
        while (1); // Останавливаем работу, если датчик не подключен  
    }  
}
```

Рисунок 4.5 – Настройка инициализации

Теперь зададим основной цикл (loop) для работы устройства «Умная палочка» (рисунок 4.6). Создается структура measure для хранения измерений. Функция lox.rangingTest(&measure, false) измеряет расстояние (в миллиметрах).

```
void loop() {  
    VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;  
    lox.rangingTest(&measure, false);
```

Рисунок 4.6 – Настройка основного цикла программы

После написания кода мы будем собирать тестовый макет для диагностики работы перед основной сборкой «Умной палочки». Отслеживать точность измерения расстояния будем с помощью монитора компьютера (рисунок 4.7).

```
int distance = measure.RangeMilliMeter; // Расстояние в мм  
Serial.print("Расстояние: ");  
Serial.println(distance);
```

Рисунок 4.7 – Чтение расстояния и вывод в монитор

Опишем основную логику работы «Умной палочки». Если distance < 750 мм (меньше 75 см) включается и пищалка, и вибромотор. Если distance от 75 см до 2 м включается только вибромотор. Если distance 2 м все отключается.

Задержка перед следующим измерением – команда delay(100). Ждем 100 мс перед следующим измерением. Это позволит не перегружать процессор и не делать лишние измерения (рисунок 4.8).


```

if (distance < 750) { // Меньше 75 см
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
    digitalWrite(VIBRO_PIN, HIGH);
} else if (distance < 2000) { // От 75 см до 2 м
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    digitalWrite(VIBRO_PIN, HIGH);
} else { // Больше 2 м
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    digitalWrite(VIBRO_PIN, LOW);
}

delay(100);
}

```

Рисунок 4.8 – Логика работы с пищалкой и вибромотором

Таким образом мы написали основной код работы программы. В полном формате он представлен в приложении В. Загружаем код в микроконтроллер и после успешной уставиоки переходим к тестированию на практическом макете.

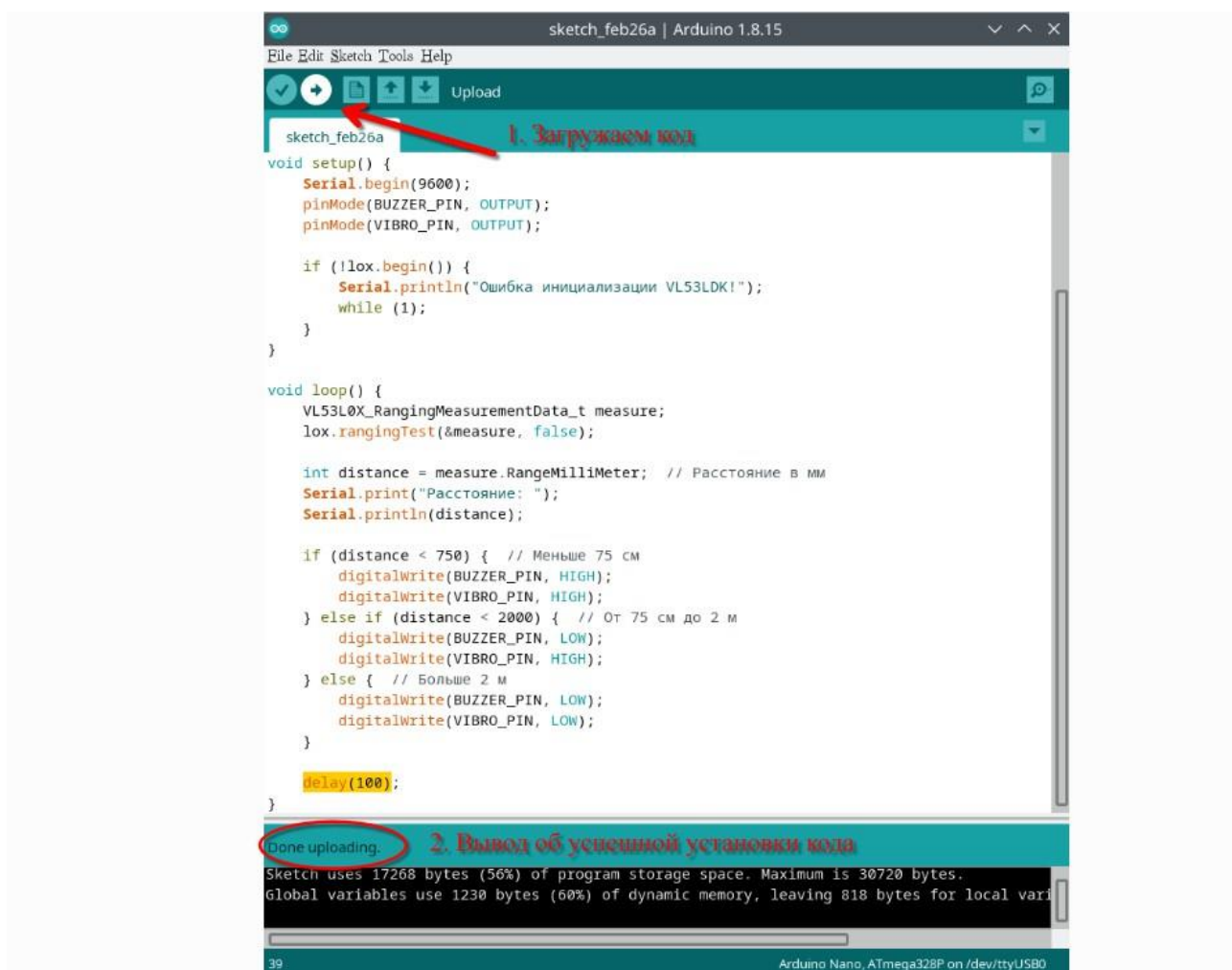


Рисунок 4.9 – Загрузка и успешная установка кода в Arduino Nano

4.3 Тестирование и проверка работоспособности «Умной палочки» на учебном макете

Для выполнения проверки на работоспособность соберем электрическую схему на тестовом макете размером 8 сантиметров на 1 сантиметр. Установим все элементы и соединим их проводами по схеме. В результате получится макет представленный на рисунке 4.10.

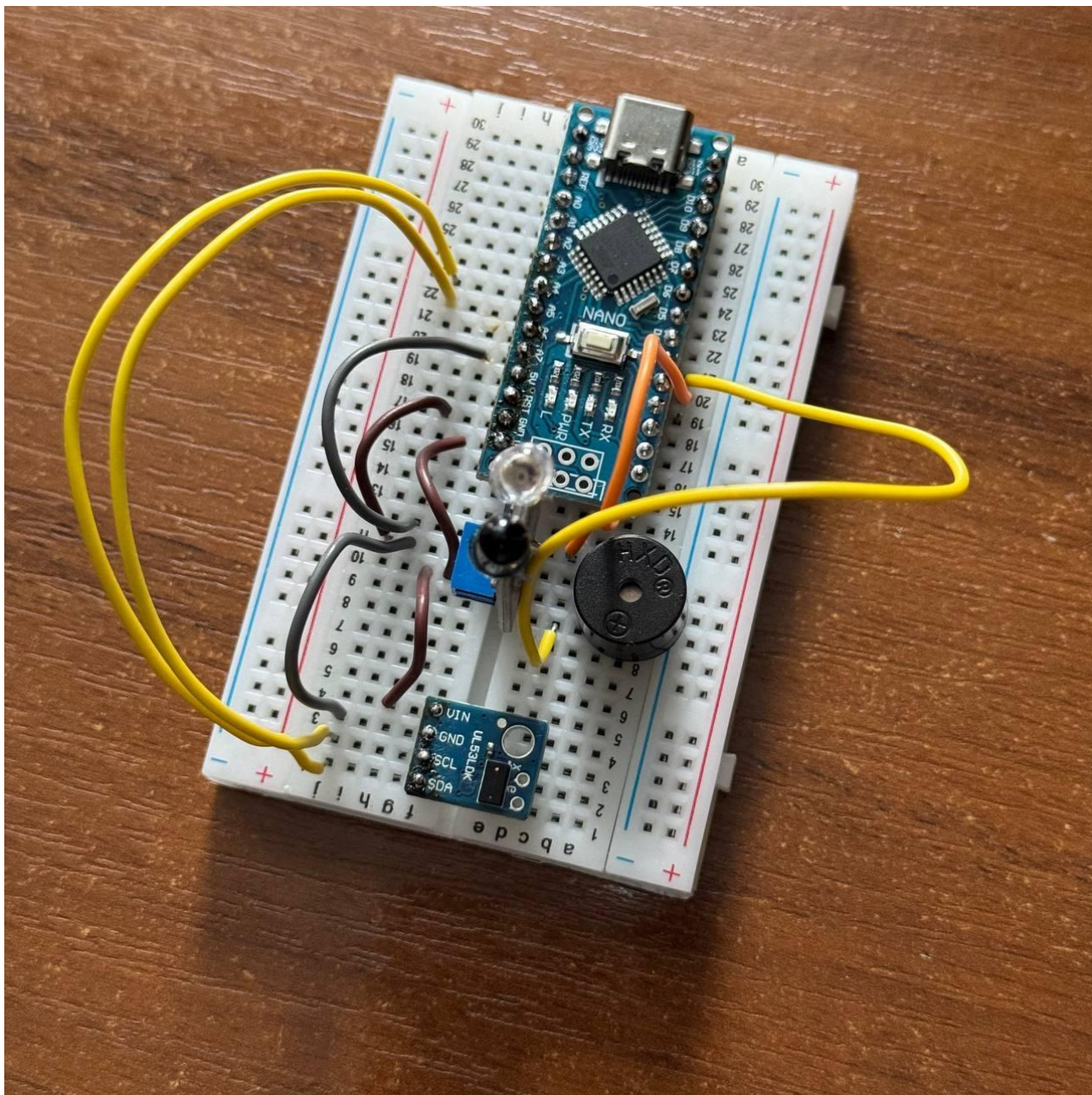


Рисунок 4.10 – Сборка тестового макета для проверки

Подключим питание и выведем результат измерения расстояния в монитор компьютера. Нажимаем вкладку Tools, далее Serial Monitor (рисунок 4.11).

```

/dev/ttyUSB0
14:00:43.750 -> Расстояние: 8190
14:00:43.883 -> Расстояние: 948
14:00:44.049 -> Расстояние: 879
14:00:44.182 -> Расстояние: 801
14:00:44.315 -> Расстояние: 752
14:00:44.448 -> Расстояние: 790
14:00:44.614 -> Расстояние: 800
14:00:44.747 -> Расстояние: 850
14:00:44.880 -> Расстояние: 921
14:00:45.046 -> Расстояние: 962
14:00:45.179 -> Расстояние: 1050
14:00:45.312 -> Расстояние: 1078
14:00:45.445 -> Расстояние: 8191
14:00:45.612 -> Расстояние: 1011
14:00:45.745 -> Расстояние: 8191
14:00:45.878 -> Расстояние: 8190
14:00:46.011 -> Расстояние: 1004
14:00:46.177 -> Расстояние: 987
14:00:46.309 -> Расстояние: 927
14:00:46.442 -> Расстояние: 880
14:00:46.575 -> Расстояние: 829
14:00:46.741 -> Расстояние: 773
14:00:46.874 -> Расстояние: 700

```

Рисунок 4.11 – Вывод измерения расстояния на монитор компьютера

На основании выходных данных построим график в Arduino IDE, полученных с датчика расстояния. Нажимаем вкладку Tools, далее Serial Plotter (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 – График изменения измеряемого расстояния в мониторинге Arduino IDE

Ось Y – расстояние в миллиметрах. Максимальные значения достигают

2000 мм (2 м). Ось X – время (количество измерений). Красная линия – показания оптического датчика расстояния (VL53LDK).

Выводы. В первой части этой главы мы рассмотрели программу, в которой мы написали код для работы «Умной палочки». Затем подключили плату Arduino Nano к компьютеру и убедились, что связь была установлена. Перед началом написания кода мы загрузили необходимые библиотеки для управления оптическим датчиком. Это была подготовка к началу программирования контроллера для «Умной палочки».

Во второй части был подробно описан код программы с объяснением каждого фрагмента кода. Далее код был проверен на возможные ошибки, которых не было обнаружено. После этого был программный код успешно загружен в микроконтроллер.

В третьей части мы протестировали нашу выполненную работу. Был собран учебный макет для диагностики работы «Умной палочки». Результаты измерения расстояния были выведены в монитор, что говорит о выполнении технического задания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных работ по разработке и исследованию оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» был спроектирован учебный макет «Умной палочки» и разработан код для выполнения основных функций устройства. Тестирование работоспособности и полученные результаты свидетельствуют о правильности выполненных работ.

В дипломной работе описаны три раздела, в которых рассматриваются каждый шаг создания «Умной палочки», принцип работы оптического датчика, функциональность и преимущества платы Arduino Nano, а также программный код для её корректной настройки.

Первый раздел является вводным, в котором рассмотрены существующие «Умные палочки» для людей с ограниченными возможностями от разных компаний. Подробно описаны преимущества и недостатки каждой из них, на основании которых был проведён SWOT-анализ, а также поставлены задачи, необходимые для выполнения технического задания по созданию «Умной палочки».

Второй раздел можно описать как фундамент на пути к созданию «Умной палочки». В нем изучены основные свойства и параметры оптических датчиков, а также протокол приёма-передачи информации I²C с оптического датчика на микроконтроллер «Умной палочки». Оптическим датчиком для создания «Умной палочки» был выбран модуль GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X.

В третьем разделе мы согласовали микроконтроллер Arduino Nano с ранее выбранным оптическим датчиком. Согласованность этих двух элементов необходима для работы «Умной палочки» с максимальной точностью. После выбора двух основных компонентов была спроектирована электрическая схема, которая соответствует международным правилам составления электрических схем.

В четвертом разделе разработан программный код для управления «Умной палочкой» на базе микроконтроллера Arduino Nano, проведено тестирование на учебном макете и подтверждена работоспособность устройства. Результаты измерений успешно выводились в монитор компьютера, что свидетельствует о правильности работы программы и соответствии техническому заданию.

При создании устройства «Умная палочка» учитывались международные стандарты, регулирующие требования к ассистивным технологиям, оптическим датчикам и доступности устройств:

1. ISO 23599:2012 – Assistive products for blind and vision-impaired persons – Tactile walking surface indicators (Вспомогательные устройства для людей с нарушениями зрения и слуха, включая тактильные маркеры и системы вызова). Данный стандарт устанавливает требования к вспомогательным устройствам для незрячих, что включает в себя тактильные и звуковые элементы навигации. «Умная палочка», оснащенная вибрационным и звуковым сигналами,

соответствует этим требованиям, обеспечивая пользователю дополнительную сенсорную информацию об окружающей среде [17].

2. ISO 21542:2021 – Building construction – Accessibility and usability of the built environment (Руководство по доступности зданий и сооружений). Стандарт определяет требования к обеспечению доступности городской среды. В контексте разработки «Умной палочки» он позволяет учитывать особенности городской инфраструктуры и адаптировать функционал устройства для эффективного ориентирования незрячих людей [18].

3. ISO 9999:2016 – Assistive products for persons with disability – Classification and terminology (Ассистивные изделия для людей с ограниченными возможностями – Классификация и терминология). В данном стандарте классифицируются устройства, предназначенные для помощи людям с инвалидностью, включая электронные навигационные системы. «Умная палочка» может быть отнесена к этой категории, что подтверждает ее функциональное назначение [19].

4. ISO 21801-1:2020 – Cognitive accessibility – Part 1: General guidelines (Когнитивная доступность – Часть 1: Управление когнитивной доступностью). В данном стандарте описаны принципы проектирования доступных устройств, что особенно важно при разработке удобного интерфейса взаимодействия с пользователем, включая тактильные и звуковые сигналы [20].

5. ISO 21802:2019 – Assistive products – Information and communication technology (Продукты и услуги, предназначенные для повышения доступности, коммуникации и безопасности для людей с когнитивными нарушениями). Данный стандарт помогает сформировать подход к организации звуковых и тактильных уведомлений, чтобы они были интуитивно понятными для пользователя [21].

6. ISO 23659:2020 – Fiber optics – Test methods for passive optical components (Оптоволоконные датчики – Методы испытаний пассивных оптических компонентов). Этот стандарт регламентирует методы тестирования оптических компонентов, включая модуль GY-530 с оптическим датчиком VL53L0X, что позволяет определить его точность и надежность в составе умной трости [22].

Применение данных стандартов позволяет обеспечить соответствие «Умной палочки» современным требованиям по доступности, удобству использования и эффективности работы для людей с ограниченными возможностями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 РИКА ТВ. 160 тысяч людей с нарушением зрения проживают в Казахстане. 10.08.2023, электронная версия на сайте <http://www.rikatv.kz/news/160-tysyach-lyudey-s-narusheniem-zreniya-prozhivayut-v-kazakhstane.html>.
- 2 Мониторинг Целей устойчивого развития до 2030 года. 22.02.2025, электронная версия на сайте <https://stat.gov.kz/ru/sustainable-development-goals/goal/>.
- 3 Chang C.K., Chiari L., Cao Y., Jin H., Mokhtari M., Aloulou H. Inclusive Smart Cities and Digital Health: 14th International Conference on Smart Homes and Health Telematics. – Cham: Springer, 2016. – 294 p.
- 4 The Aid – интерактивная трость-навигатор для пожилых людей. 25.02.2025, электронная версия на сайте <https://novate.ru/blogs/250313/22727/>.
- 5 Электронная трость RAY. 25.02.2025, электронная версия на сайте https://www.istok-audio.kz/catalog/product/elektronnaya_trost_ray/.
- 6 Электронная трость Ray // YouTube[Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=IeTF3mQMCAw>.
- 7 Руководство пользователя WeWALK Smart Cane. 25.02.2025, электронная версия на сайте <https://manuals.plus/ru/wewalk/scn1-wewalk-smart-cane-manual>.
- 8 Руководство пользователя Sunuband. 25.02.2025, электронная версия на сайте <https://files.ecommercecdn.uk/228344/d4b4bf1968338f028b6775fddffbe1aa.pdf>.
- 9 Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
- 10 Окоси Т., Оцу М., Х. Нисихара, Кюма К., Хататэ К. Волоконно-оптические датчики/ Под ред. Т. Окоси: Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 260 с.
- 11 Matias I.R., Ikezawa S., Corres J. Fiber Optic Sensors: Current Status and Future Possibilities. – Cham: Springer, 2019. – 347 p.
- 12 Product 303. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://jamtronic.com/wp-content/uploads/2022/10/product_303.pdf.
- 13 Amperka. Arduino Nano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amperka.ru/product/arduino-nano>.
- 14 KiCad. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kicad.org/>.
- 15 Scarpino, M. Designing Circuit Boards with EAGLE: Make High-Quality PCBs at Low Cost / Matthew Scarpino. – 1st ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2014. – 312 p.
- 16 Arduino. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/>.
- 17 ISO 23599:2012 – Assistive products for blind and vision-impaired persons – Tactile walking surface indicators. Geneva: ISO, 2012. Доступно по ссылке:

<https://www.iso.org/standard/50946.html>.

18 ISO 21542:2021 – Building construction – Accessibility and usability of the built environment. Geneva: ISO, 2021. Доступно по ссылке: <https://www.iso.org/standard/72580.html>.

19 ISO 9999:2016 – Assistive products for persons with disability – Classification and terminology. Geneva: ISO, 2016. Доступно по ссылке: <https://www.iso.org/standard/66384.html>.

20 ISO 21801-1:2020 – Cognitive accessibility – Part 1: General guidelines. Geneva: ISO, 2020. Доступно по ссылке: <https://www.iso.org/standard/72146.html>.

21 ISO 21802:2019 – Assistive products – Information and communication technology. Geneva: ISO, 2019. Доступно по ссылке: <https://www.iso.org/standard/71574.html>.

22 ISO 23659:2020 – Fiber optics – Test methods for passive optical components. Geneva: ISO, 2020. Доступно по ссылке: <https://www.iso.org/standard/74108.html>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

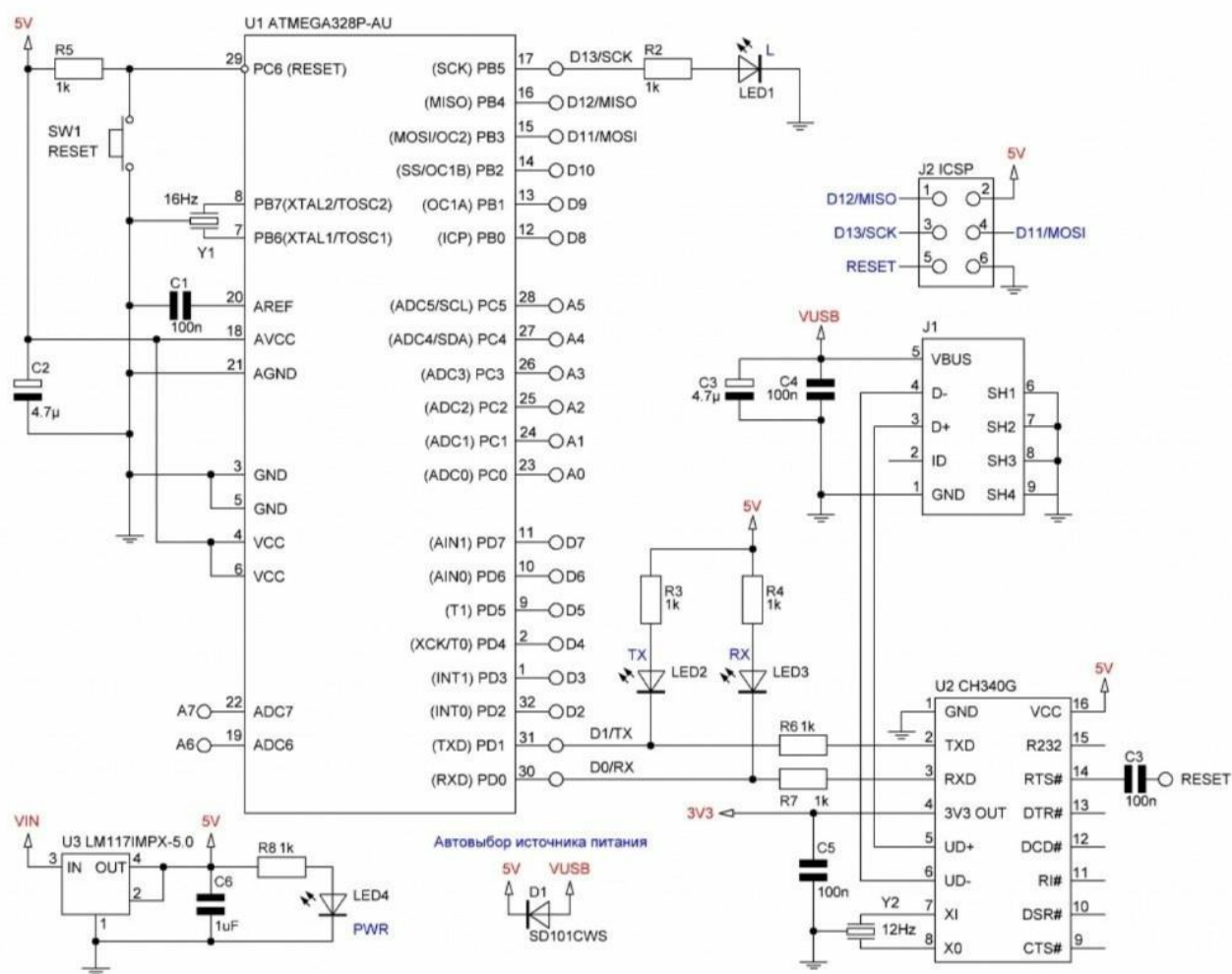


Рисунок А.1 – Электрическая схема Arduino Nano

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

```
sketch_mar25a §
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_VL53L0X.h>

Adafruit_VL53L0X lox;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!lox.begin()) {
    Serial.println("Ошибка инициализации датчика!");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
  lox.rangingTest(&measure, false);
  Serial.print("Расстояние: ");
  Serial.print(measure.RangeMilliMeter);
  Serial.println(" мм");
  delay(500);
}
|
```

Рисунок Б.1 – Пример кода с использованием функций библиотеки Adafruit_VL53L0X

sketch_mar25a §

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>

VL53L0X sensor;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    sensor.init();
    sensor.setTimeout(500);
}

void loop() {
    Serial.print("Расстояние: ");
    Serial.print(sensor.readRangeSingleMillimeters());
    Serial.println(" мм");
    delay(500);
}
```

Рисунок Б.2 – Пример кода с использованием функций библиотеки VL53L0X

ПРИЛОЖЕНИЕ В

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_VL53L0X.h>

#define BUZZER_PIN 2 // Пин для пищалки
#define VIBRO_PIN 3 // Пин для вибромотора

Adafruit_VL53L0X lox;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(VIBRO_PIN, OUTPUT);

    if (!lox.begin()) {
        Serial.println("Ошибка инициализации VL53L0X!");
        while (1);
    }
}

void loop() {
    VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
    lox.rangingTest(&measure, false);

    int distance = measure.RangeMilliMeter; // Расстояние в мм
    Serial.print("Расстояние: ");
    Serial.println(distance);

    if (distance < 750) { // Меньше 75 см
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        digitalWrite(VIBRO_PIN, HIGH);
    } else if (distance < 2000) { // От 75 см до 2 м
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        digitalWrite(VIBRO_PIN, HIGH);
    } else { // Больше 2 м
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        digitalWrite(VIBRO_PIN, LOW);
    }

    delay(100);
}
```

Рисунок В.1 – Полная версия кода для работы «Умной палочки»

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Нечаев Егор Денисович

6B06201 – «Телекоммуникация»

Тема: «Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями»

Дипломная работа Нечаева Е.Д. представляет собой исследование и разработку оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями».

В первой главе были рассмотрены обзор и SWOT-анализ существующих решений и технологий, применяемых в устройствах «Умная палочка».

Во второй главе были описаны технические характеристики оптоволоконного датчика GY-530, а также протокол обмена информацией между датчиком и головным устройством.

Третья глава посвящена разработке электрической схемы для «Умной палочки». Стоит отметить, что схема была смоделирована на стенде и проверена на работоспособность.

В четвертой главе был разработан основной код для работы и управления «Умной палочкой».

Актуальность дипломной работы заключается в решении важных задач, связанных с обеспечением безопасности, мобильности и качества жизни людей с нарушениями зрения, а также других уязвимых групп (пожилые, люди с нарушениями координации, дети в особых условиях и пр.).

Дипломная работа оценена на «отлично» (96/А), а студент Нечаев Егор Денисович рекомендован к присвоению академической степени бакалавра информационных и коммуникационных технологий по образовательной программе 6B06201 – «Телекоммуникация».

Научный руководитель

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

Кандидат технических наук,

Таштай Е.Т.

«05» 2025 г.



РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Нечаев Егор Денисович

На тему: «Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для
«Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями»

Выполнено:

- а) графическая часть на 4 листах
- б) пояснительная записка на 30 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Основная часть посвящена разработке макета с использованием
оптических сенсоров на базе микроконтроллера Arduino Nano с оптических
сенсоров на базе микроконтроллера Arduino Nano с описанием исполняемого
кода на языке C, который управляет «Умной палочкой».

В качестве замечания можно отметить отсутствие имитационной
модели «Умной палочки», что было заявлено в техническом задании под
номером 5.(п.1.4 стр.13)

Ошибка в слове Постановка (стр.13)

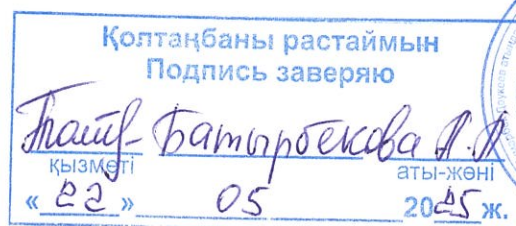
Оценка работы

В целом задание выполнено. Дипломная работа оценена на «отлично»
(92/А-), а студент Нечаев Егор Денисович – рекомендован к присвоению
академической степени бакалавра информационных и коммуникационных
технологий по образовательной программе 6В06201 «Телекоммуникация».

Рецензент:

К.т.н., профессор
АУЭС имени Г.Даукеева
«15» 05 2025 г.

 Байкенов А.С.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нечаев Егор Денисович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 0.7

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 23

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☐ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-17

Дата


Сұңғат Марқсұлы
проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Нечаев Егор Денисович

Тақырыбы: Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 3.5

Әріптерді ауыстыру: 23

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☐ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-04-17

Күні


Кафедра меңгерушісі

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нечаев Егор Денисович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование и разработка оптоволоконных сенсоров для «Умной палочки» для людей с ограниченными возможностями

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 0.7

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 23

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☐ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-17

Дата


Заведующий кафедрой