

Некоммерческое Акционерное Общество «Казахский Национальный  
Исследовательский Технический Университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



Муратов Диас Муратович

Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов  
пламени

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

Специальность 6В07113 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТПАЕВА»



Институт Автоматики и информационных технологий  
Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Муратов Диас Муратович

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

«Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов  
пламени»

Специальность 6В07113 – Робототехника и Мехатроника

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТБАЕВА»



Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема: «Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации  
очагов пламени»

по специальности 6В07113 – Робототехника и Мехатроника

Выполнил

Муратов Д.М.

Рецензент

Научный руководитель

Ph.D., ассоциированный профессор

Магистр технических наук,

Карымсакова Н.Т.

старший преподаватель

подпись «18» 10 2023 ж. ФИО

Бигалиева Ж.С.

«18» 10 2023 ж.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТБАЕВА»



Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

6В07113 – Робототехника и Мехатроника

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
РТиТСА кандидат технических  
наук  
Ожикенов К. А.  
«23» 10 2023 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы (проекта)

Студенту Муратову Диасу Муратовичу

1. Тема дипломной работы (проекта) – «Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени» утверждена приказом ректора от «05» 10 2023 г. № 1531-р
2. Срок сдачи студентом законченной работы «23» 10 2023 г.
3. Исходные данные к работе (законы, литературные источники, лабораторно-производственные данные)  
Теоретические материалы по Arduino UNO  
Теоретические материалы по работе спринклерной системы  
Теоретические материалы по работе механики и кинематики

Теоретические материалы по использованию инфракрасного датчика обнаружения пламени КУ-026

4. Перечень вопросов, подлежащих к разработке в дипломной работе (проекте)

- Исследовать актуальность проблемы тушения пожаров в помещении
- Исследовать проблему использования современных методов пожаротушения
- Изучить инновационные роботизированные системы пожаротушения, выявить их преимущества
- Обосновать необходимость внедрения роботизированных систем борьбы с огнем
- Программно реализовать такую систему, с использованием инфракрасных датчиков обнаружения пламени
- Произвести необходимые расчёты параметров для нормального функционирования проекта

5. Перечень графических материалов (чертежи, таблицы, диаграммы и т.д.)

Таблицы: 1

Рисунки: 28

6. Перечень основной рекомендуемой литературы

из 13 наименований 13

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Список представления научному руководителю	Примечания
Исследовательская часть	09.09.2023	Выполнено
Теоретическая часть	14.09.2023	Выполнено
Практическая часть	27.09.2023	Выполнено
Специальная часть	06.10.2023	Выполнено

Подписи  
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ермухамед Т.К., магистр технических наук, старший преподаватель	19.10	
Основная часть	Бигалиева Ж.С., магистр технических наук, старший преподаватель	19.10	
Расчетная часть	Бигалиева Ж.С., магистр технических наук, старший преподаватель	19.10	
Программная часть	Бигалиева Ж.С., магистр технических наук, старший преподаватель	19.10	

Дата выдачи задания «19» 10 2023 г.

Научный руководитель: Бигалиева Ж.С.

Задание принял: Муратов Д.М.

## АНДАТПА

Дипломдық жоба жергілікті өрттермен тиімді және қауіпсіз күресудің инновациялық шешімі болып табылатын роботты өрт сөндіру жүйесін әзірлеуге және зерттеуге арналған. Жоба өртпен күресу сияқты өзекті мәселеге, атап айтқанда, осындай сауда және ойын-сауық орталықтарының жеке немесе күрделі ғимараттарында ұтымды қарауға мүмкіндік береді. Әзірлеу төтенше жағдайлар кезінде өртті сөндірудің тиімділігін арттыруға және оны мүмкіндігінше дәл орындауға, жеке объектілердің өрттерін мақсатты түрде, қалған техникаға зақым келтірместен жоюға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыс теориялық бөлімді ұсынады, онда мәселенің өзектілігі талданады, жобаның негізгі мақсаты анықталады, роботтың маңызды сипаттамалары, оның міндеттері және олармен қалай күресетіні қарастырылады.

Практикалық бөлімде сенімділік есептеулері, 3D модель түріндегі прототип, оның электрондық схемасы, кинематика мен еркіндік дәрежелерінің есептеулері, қаржылық және математикалық есептеулердің барлық түрлері бар.

Жобаның негізгі идеясы - келушілер мен қызметкерлердің өмірі мен мүлкіне қауіп төндіретін, сонымен қатар барынша азайтуға мүмкіндік беретін, максималды тиімділікпен және көршілес объектілерге ең аз зиян келтіре отырып, ғимараттардағы жергілікті өрттермен күресудің баламалы әдісін жасау. Өрт апаттарының ауқымы азайту.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена разработке и исследованию роботизированной системы пожаротушения, представляющей собой инновационное решение для эффективной и безопасной борьбы с локальными очагами пламени. Проект позволит рационально подойти к такой актуальной проблеме как борьба с огнем, в частности в одиночных или комплексных зданиях подобных ТРЦ. Разработка позволит повысить эффективность борьбы с огнем в случае экстренных ситуаций, причем делая это максимально ювелирно, точно устраняя возгорания отдельных объектов, не повреждая остальной инвентарь.

В дипломной работе представлены теоретическая часть, где произведен анализ актуальности проблемы, выявлена основная цель проекта, предоставлены важные характеристики робота, его задачи и то, как он с ними справляется.

Практическая часть включает в себя расчеты надежности, прототип в виде 3D модели, его электронную схему, расчеты кинематики и степеней свободы, всевозможные финансовые и математические расчеты.

Основная идея проекта заключается в создании альтернативного способа борьбы с локальными пожарами в зданиях, при максимальной эффективности и минимальным ущербом для соседних объектов, что позволит сократить риск для жизни и имущества посетителей и персонала, а также минимизировать масштабы пожарных бедствий.

Я считаю, что данная технология будет крайне полезным и рациональным способом решения столь распространенной проблемы.



## **ABSTRACT**

The diploma project is devoted to the development and research of a robotic fire extinguishing system, which is an innovative solution for effectively and safely combating local fires. The project will allow a rational approach to such an urgent problem as fighting fire, in particular in single or complex buildings of such shopping and entertainment centers. The development will make it possible to increase the efficiency of fire fighting in case of emergency situations, and doing this as accurately as possible, eliminating fires of individual objects in a targeted manner, without damaging the rest of the equipment.

The thesis presents a theoretical part, where analyzed the relevance of the problem, the main goal of the project is identified and provided the important characteristics of the robot like its tasks and how it copes with them.

The practical part includes reliability calculations, a prototype in the form of a 3D model, its electronic circuit, calculations of kinematics and degrees of freedom, all kinds of financial and mathematical calculations.

The main idea of the project is to create an alternative way to combat local fires in buildings, with maximum efficiency and minimal damage to neighboring facilities, which will reduce the risk to the lives and property of visitors and staff, as well as minimize the scale of fire disasters.

I believe that this technology will be an extremely useful and rational way to solve such a common problem.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Исследовательская часть	8
1.1 Актуальность проекта	8
1.2 Определение проблемы и методы ее решений	10
2 Практическая часть	16
2.1 Характеристика робота	16
2.2 Электронные компоненты робота	17
2.3 Электронная схема подключения	18
2.4 3D-модель	19
2.5 Программный код	24
3 Расчеты	26
3.1 Расчет степеней свободы	26
3.2 Прямая кинематическая задача	29
3.3 Расчет надежности	30
3.4 Экономический расчет макета проекта	32
4. Готовый макет робота	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	36
Список терминов и сокращений	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39
Приложение А	41

## ВВЕДЕНИЕ

Пожары в торговых и коммерческих зданиях, являются одной из самых распространённых проблем, которые представляют с собой серьезную угрозу жизни людей и имуществу. Возникновение пожаров в таких местах часто сопровождается высокими степенями опасности и сложными условиями для борьбы с огнем. Наряду с потенциальной угрозой человеческим жизням, пожары в зданиях приводят к значительным экономическим потерям и разрушениям. В этом контексте разработка инновационных средств для эффективного и безопасного пожаротушения в подобных местах приобретает первостепенное значение.

Как известно, современные системы пожаротушения, которые повсеместно используются во всех зданиях, довольно просты и вполне неплохо справляются со своей основной задачей. Так или иначе, у данных мер борьбы с огнем есть большой недостаток, а именно они довольно примитивны, за счет чего у них отсутствуют средства автоматической координации, что не позволяет им скоординироваться и локализовать проблему, и в случае пожара в одной части здания, система может сработать на всей территории. Такой не самый эффективный подход влечет к поломке и порче имущества, зачастую дорогостоящего оборудования, которое было подвергнуто воздействию пожаротушения несмотря на то, что источник возгорания мог находиться совсем в другом конце здания.

Борьбой с этой не самой приятной проблемой является разработка роботизированной системы пожаротушения, специально адаптированной для применения в торговых и коммерческих зданиях, включая ТРЦ. Эта система будет оснащена передовыми технологиями, позволяющими автоматически обнаруживать и тушить пожары, минимизируя опасность для жизни и здоровья людей, а также уменьшая риск порчи имущества не подверженного возгоранию. Данное исследование имеет стратегическое значение, так как оно направлено на повышение безопасности в крупных коммерческих объектах и ТРЦ, снижение ущерба от пожаров и оптимизацию процедур противопожарной защиты.

В ближайшем будущем, с учетом быстрого роста и развития технологий в области роботизированных систем, такой подход к решению проблемы будет наиболее актуальным и эффективным, чему я и посвятил данную дипломную работу.

## **1 Исследовательская часть**

### **1.1 Актуальность проекта**

Человечество всегда преследовали различные природные бедствия по типу потопов, ураганов, землетрясений, пожаров и т.д. Но не всегда бедствия могут быть вызваны природой. Так, например, пожары в зданиях до сих пор являются одной из самых актуальных и насущных проблем для человечества, которые преследуют нас на протяжении всего нашего существования. В связи с этим любые способы борьбы с огнем в помещении будут как никогда кстати.

Рассматривая статистику пожаров в Европе, в 2019 году в Великобритании в целом произошло 157 156 пожаров. Основными источниками пожаров в жилых помещениях, безусловно, являются кухонные принадлежности, на долю которых приходится более половины всех инцидентов. Учитывая, что кухонные помещения являются не только частью жилых корпусов, а также включают в себя и различные кафе, рестораны, бары, фудкорты, столовые, буфеты, кофейни, которые в большом количестве размещаются в различных торговых и коммерческих зданий, по типу ТРЦ, то данная статистика говорит сама за себя. Так, например данные США за 2018 год показывают, что зарегистрировано более 1,3 миллиона пожаров в жилых домах, а этой очень большие числа. Ежегодно в Великобритании происходит около 22 000 пожаров на рабочих местах – это более 420 пожаров в неделю. Пожары на рабочих местах чаще всего возникают из-за неисправного или неправильно используемого электрооборудования, которые также являются неотъемлемой частью любого ТЦ или комплексных зданий. [1]

Говоря об актуальности, хочется вспомнить о трагедии 5-летней давности, случившейся в городе Кемерово, 25 марта 2018 года в торгово-развлекательном комплексе «Зимняя вишня». В результате пожара погибли 60 человек, из них 37 детей, 79 человек пострадало. Пожар стал одним из двух наиболее резонансных в истории современной России наряду с пожаром в пермском ночном клубе «Хромая лошадь» 5 декабря 2009 года, при котором погибло уже 156 человек. Система пожаротушения, установленная в данных помещениях, не смогла справиться с быстро распространившимся огнем и локализовать возгорание, в связи с этим данные трагедии унесли очень большие числа жизней людей. [6]

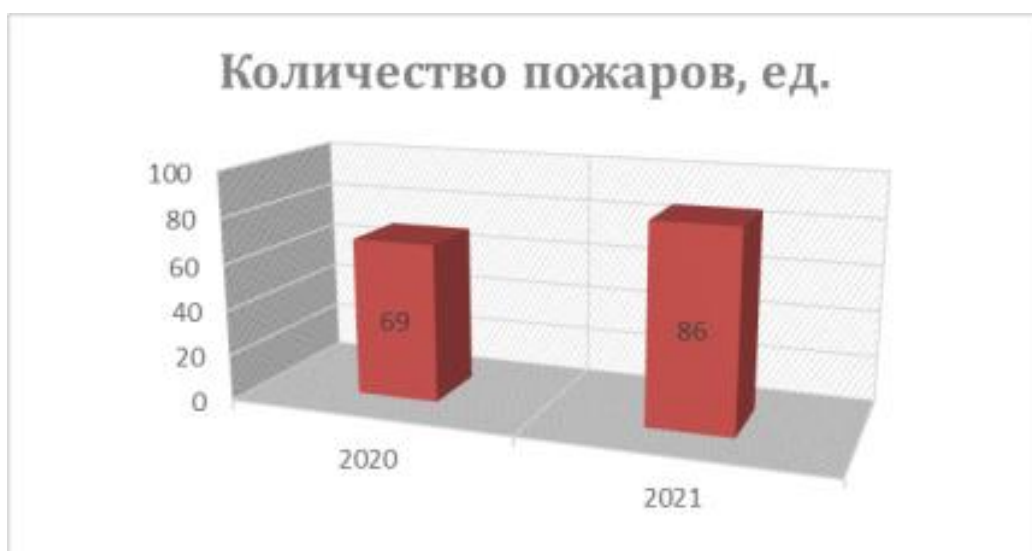


Рисунок 1.1 – Количество пожаров в ТРЦ за 2020-2021 гг

Показатель	2020 г.	2021 г.
Количество, ед.	69	86
Погибшие, чел.	3	5
Травмированные, чел.	19	23
Материальный ущерб, млн. руб.	1288437	1433410

Рисунок 1.2 - Основные показатели обстановки с пожарами в ТРЦ за 2020–2021 гг

Как показывают статистические данные произведенные в Российской Федерации, в 2021 году в ТРЦ и подобных объектах произошло 86 пожара (АППГ — 69, — 16 %), при пожарах погибло 5 человек (АППГ — 3, — 2,3 %), пострадало 23 человека (АППГ — 19, — 4 %), материальный ущерб составил 1433410 млн. руб. (АППГ — 1288437 млн. руб.). [2]

Учитывая, что с 2020 на 2021 год количество пожаров в ТРЦ увеличилось с 69 до 86 единиц, то данная статистическая тенденция роста количества пожаров является неоспоримым фактом того, что проблема все еще является актуальной.

## 1.2 Определение проблемы и методы ее решений

Нынешние системы пожаротушения, такие как автоматические пожарные спринклеры, обычные огнетушители и системы пожарной сигнализации, обладают рядом проблем и ограничений.

Ограниченный радиус действия систем пожаротушения также является одной из проблем частых пожаров в зданиях. Это означает, что они могут быть неэффективными в случае больших зданий или сложных архитектурных конструкций. Так, например, когда срабатывают разбрызгиватели, они не могут потушить огонь и чаще всего это происходит из-за того, что вода не достигает места пожара (44%) или из-за недостаточного давления воды (30%).[3]

Некоторые системы пожаротушения требуют человеческого вмешательства для активации и использования. Это может привести к задержкам и ошибкам в ситуациях чрезвычайного характера.

Зачастую в зданиях установлены спринклеры старого поколения, которые срабатывают по всей его территории при обнаружении источника огня. В среднем один такой пожарный спринклер может распылять поток воды со скоростью около 12 галлонов в минуту, а учитывая, что здания не всегда оборудованы системой мониторинга пожарной сигнализации, то пожарная служба не всегда может отключить спринклеры своевременно, до того, как он успеет нанести значительный ущерб от воды.[4] В этом и кроется основная проблематика, на которую я делаю основной акцент в своей дипломной работе.

В связи с большими объемами используемой воды спринклерами в случае пожара, хватит считанных минут чтобы покрыть огромные участки водой, и зачастую среди них бывают и совершенно отдаленные места, которых пожар и вовсе не коснулся. В данной ситуации страдает большое количество имущества, к которым относится и дорогостоящее электрическое оборудование.

Основным решением данной острой проблемы является создание роботизированных систем пожаротушения.

В наше время уже шаг за шагом начинают внедрять всевозможные пожарные роботы. Это автономные роботы, специально разработанные для обнаружения и тушения пожаров. Они могут использовать датчики для обнаружения пламени, дыма и температуры, а также оснащены системами для распределения огнетушащих веществ на место возгорания.



Рисунок 1.3 - Демонстрация противопожарной защиты на авиабазе Тиндалл

На данном снимке как раз изображена одна из современных разработок, связанных с пожаротушением. В демонстрации использовалась разработанная AFRL беспилотная пожарная машина «Fire Defender», которая представляет первое поколение автономных UFV и служит для оказания помощи службам экстренного реагирования/пожарным в опасной пожарной среде. Один такой робот смог потушить пожар самолета JP-8 класса В менее чем за одну минуту, распыляя струю смеси из 100 галлонов воды и 3 галлонов 6% AFFF. [5]

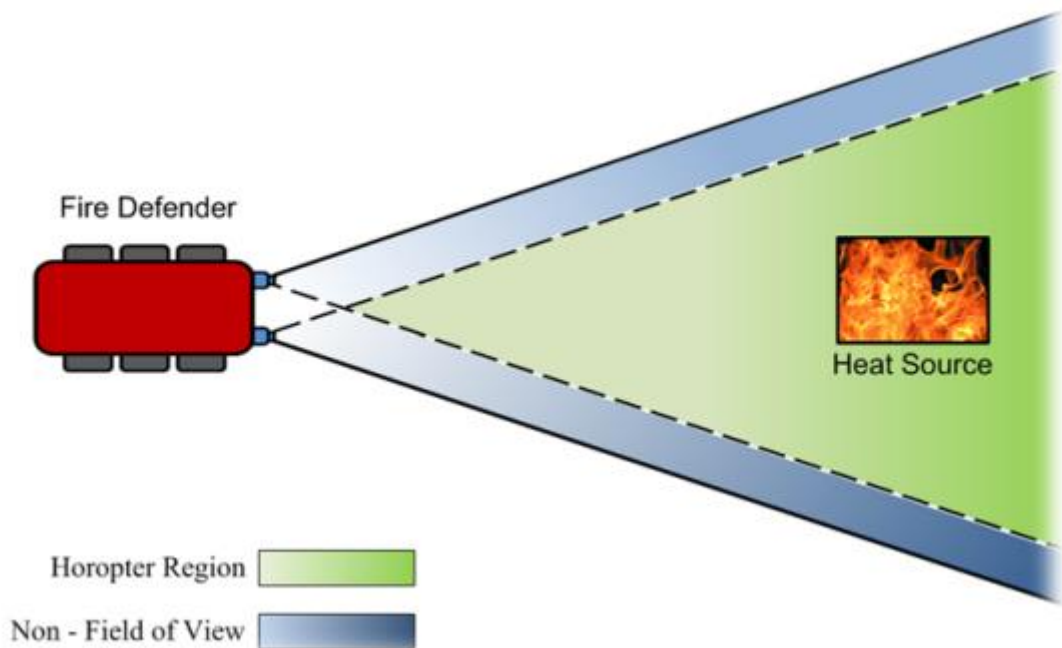


Рисунок 1.4 - Изображение стереовидения Fire Defender

Выше приложенная иллюстрация представляет теорию зрительного восприятия робота, и то, как стереозрение интерпретируется в машинно-визуальный интерфейс компьютера. Виды камер перекрываются в зеленой области и компьютер объединяет два вида в одно изображение. Эта область, соответствующая полю зрения датчиков UFV, известна как гороптер. Гороптер содержит всю визуальную информацию и обеспечивает обратную связь по расстоянию от источника тепла до системы управления. [5]

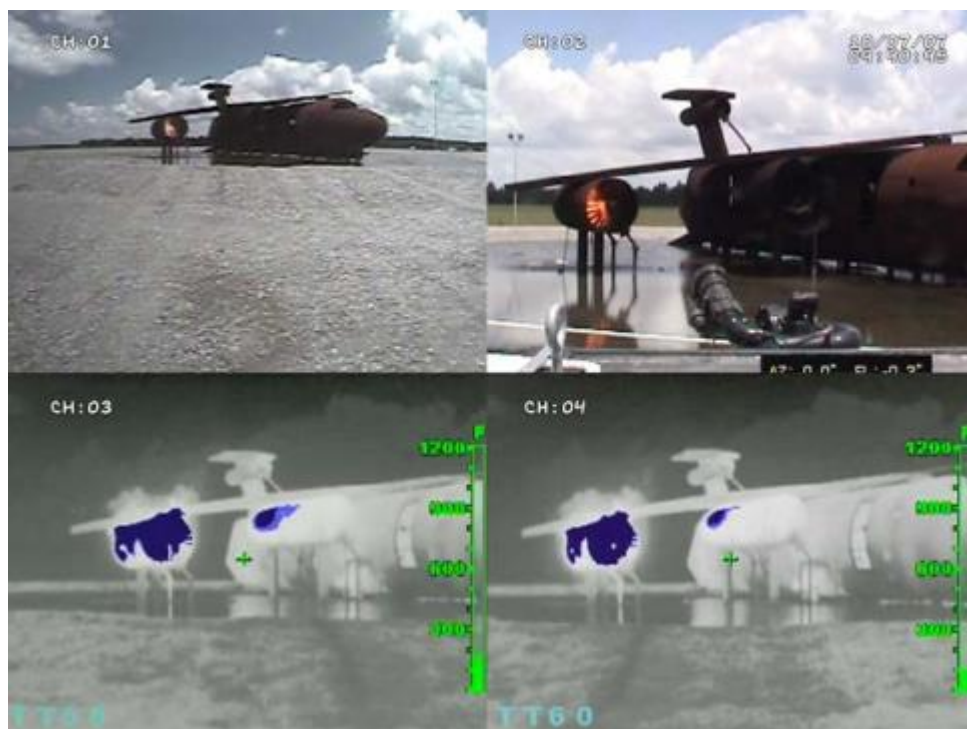


Рисунок 1.5 - Визуальные и LWIR изображения с левой и правой камеры



Данные кадры демонстрируют изображения с левой и правой LWIR-камеры робота «Fire Defender». Синяя область соответствует тепловой области, обнаруженной LWIR. Изображения обрабатываются в цифровом виде, в реальном времени для расчета централизованного трехмерного относительного значения местоположения с указанием азимута, высоты и расстояния до очага пожара. Две верхние рамки используют EO изображения с камер для визуального восприятия передней части и башни, для обзора с UFV во всех режимах работы. [5]

Такие работы позволяют точно и удаленно работать с очагами пламени, при этом не портя другое имущество, которое не было затронуто огнем. Благодаря ручному управлению, можно выборочно тушить объекты направляя струю жидкости ровно в то место, откуда идет огонь, не задевая другие объекты.

Помимо мобильных роботов пожарных на колесной платформе, также существуют и статичные роботизированные системы пожаротушения, которые более приближены к моей исследуемой теме. Такие роботы еще не сильно получили распространение ввиду своей инновационности, но уже могут похвастаться своими хорошими характеристиками в борьбе с пожарами в зданиях.



Рисунок 1.6 – Модель робота FR-S4

Так, например Российская компания Fire Robots Technology изобрела ряд моделей роботизированных систем пожаротушений. Данные роботы способны

за короткое время находить и распознавать очаг пламени в помещении, направляя струю воды с дальнего расстояния, точно на источник огня, не задевая соседние объекты.

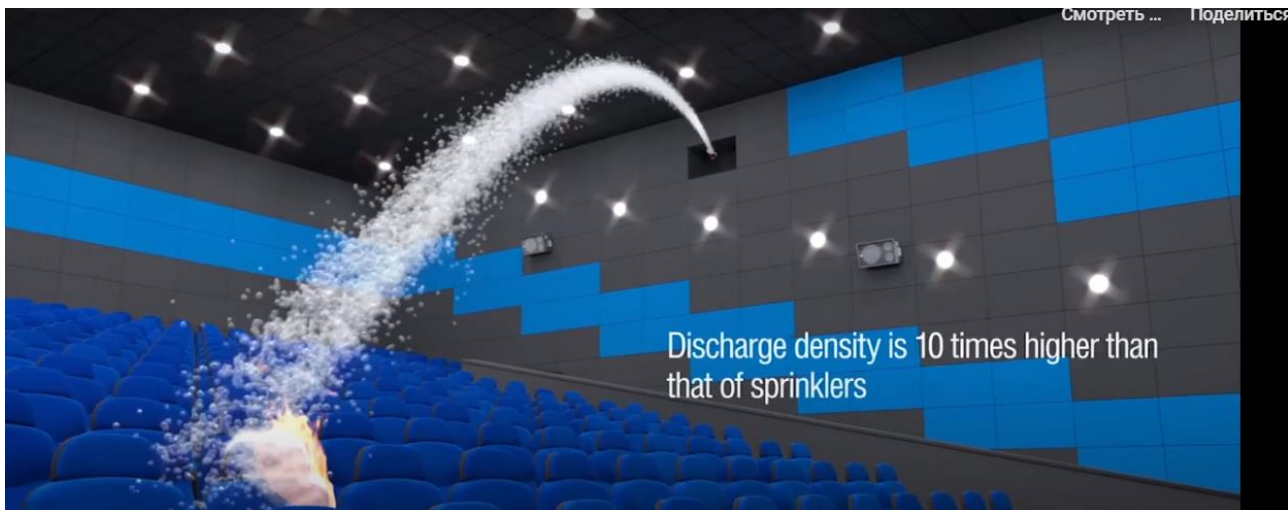


Рисунок 1.7 – Демонстрация работы робота FR-S4

Данные роботы обладают высокой эффективностью по сравнению с нынешними системами пожаротушения. Плотность струи, выпускаемая таким роботом в 10 раз мощнее чем в тех же спринклерах, при всем при этом робот работает конкретно только с тем участком, который был подвержен огню, не задевая соседние места. [7]

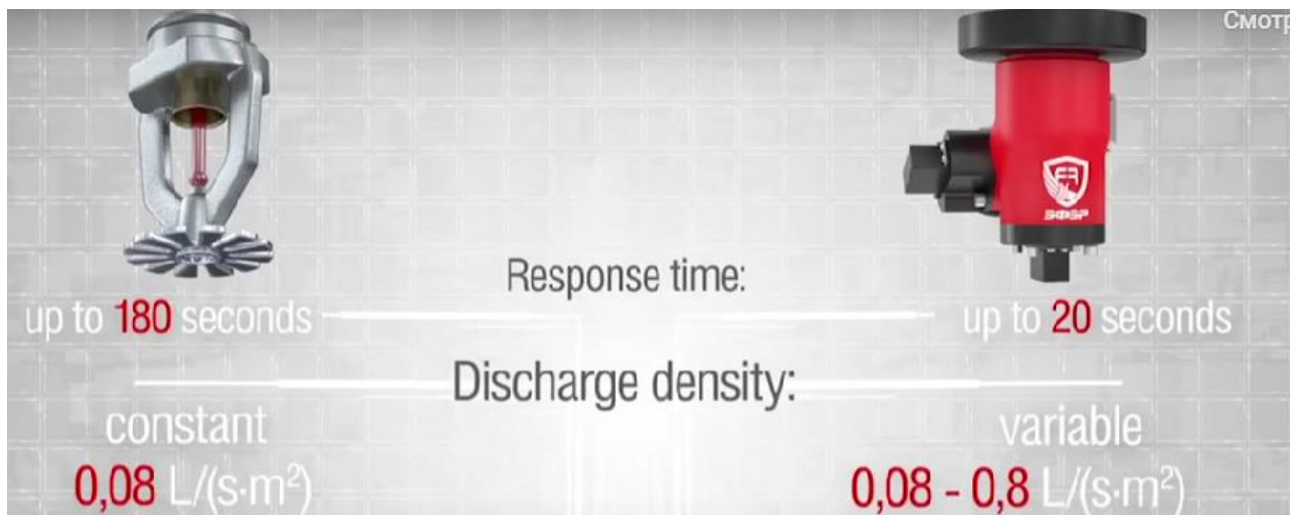


Рисунок 1.8 – Демонстрация эффективности робота FR-S4

Скорость реакции срабатывания таких систем на порядок выше, чем у спринклеров и составляет 20 секунд. За это время огонь не успевает распространиться на соседние объекты и не позволяет начаться обильному задымлению в помещении. [7]

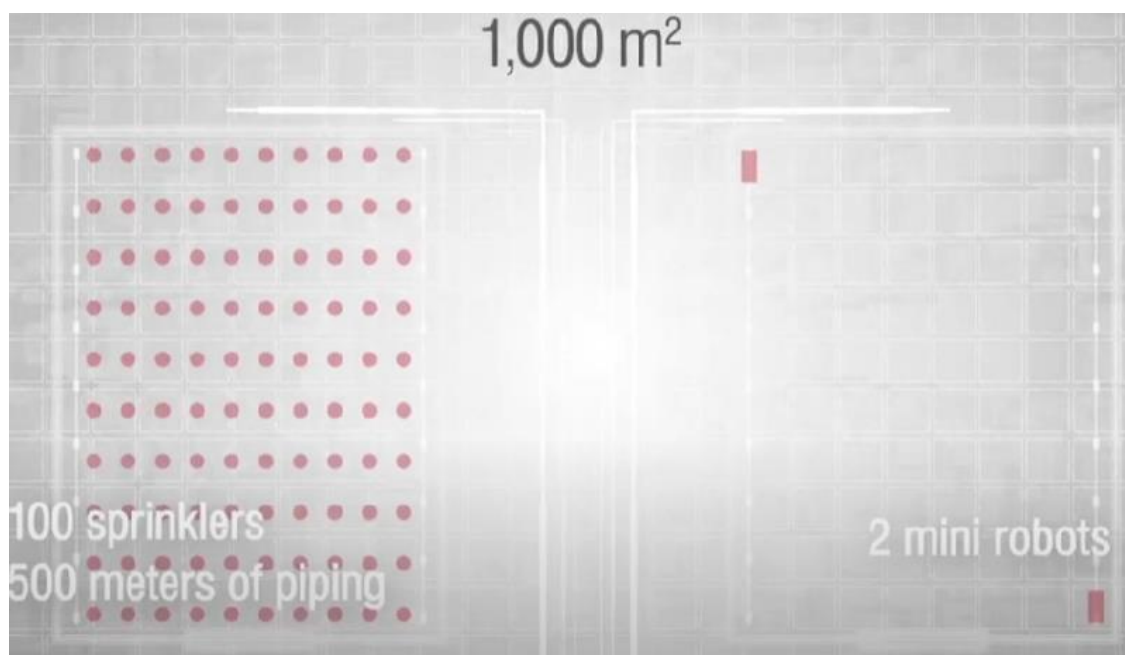


Рисунок 1.9 – Демонстрация преимущества робота FR-S4

Такой подход позволяет уменьшить количество роботизированных турелей всего до 2 штук, чтобы покрыть территорию площадью до 1000 м<sup>2</sup>, когда в это же время потребуется около 100 спринклерных систем на покрытие той же самой площади. Это также значительно уменьшает стоимость установки такой системы пожаротушения. [7]

Такие новые инновационные методы решения проблемы борьбы с огнем имеют неоспоримые преимущества и дают понять, что есть проекты, которые более эффективны и мощны при борьбе с пожарами в зданиях, особенно в случаях с большими и сложными структурами.

## 2. Практическая часть

### 2.1 Характеристика работа

В ходе разработки роботизированной системы учитываются следующие параметры:

Размеры и габариты, т.е. робот должен быть компактным, но в то же время достаточного размера чтобы выдерживать приложенную на него нагрузку и не занимать большой участок места в здании, не привлекать внимание людей и не мешать им передвигаться во время работы или в состоянии покоя.

Тип передвижения, т.е. система должна быть статичной, устанавливаемой на одну из поверхностей здания, выполняя роль своего рода турели для сканирования и сбора данных о сложившейся ситуации, и дальнейшей борьбы с огнем.

Масса, т.е. важно учитывать оптимальный баланс между массой робота и его устойчивостью, так как робот скорее всего будет монтироваться в стену либо на потолок здания, и крепежные изделия должны будут выдерживать его вес на протяжении всего его срока службы.

Энергетический источники, т.е. источники питания должны обеспечивать длительное время работы, так как система должна работать непрерывно, автономно 24/7 сканируя отложенный ему участок, и в случае сбоя энергоснабжения в здании, не прекращать работу и продолжать вести сканирование в пассивном режиме.

Оборудование для обнаружения источников возгорания, т.е. должны будут использоваться самые передовые датчики температуры, дыма, обнаружения пламени и инфракрасные сенсоры.

Защитные оболочки робота, т.е. несмотря на то, что робот будет работать с огнем на расстоянии, его каркас должен будет сделан из огнестойких материалов, а датчики должны будут защищены от закрытия обзора в случае задымлением.

Устойчивость к воде и влаге, т.е. так как робот в основном для борьбы с источниками огня использует воду, будут учитываться меры для сохранения электроники от лишней воды и влаги, которые могут попасть на них при тушении пожаров.

## 2.2 Электронные компоненты робота

Для создания макета потребовались следующие электронные компоненты:

- Arduino Uno
- Макетная плата
- Погружной насос 3-5В
- Датчик пламени инфракрасный KY-026 x 4
- Сервопривод sg90 9g x 2
- Батарея крона 9В
- Клавишный переключатель KCD3
- Литий-ионные батареи 18650 x 4
- Одноканальное реле 5В
- DC-DC понижающий преобразователь LM2596 x 2

Arduino Uno – самый базовый и распространенный микроконтроллер, построенный на базе ATmega 328.

Макетная плата – это плата, созданная для подключения и сборки различных прототипов устройств и электронных схем. Её отличительная черта заключается в том, что она позволяет собираться макеты без пайки.

Погружной насос 3-5В – насос, предназначенный для перекачивания воды со скоростью от 70 до 120 литров жидкости в час. Потребляемая при этом энергия составляет в районе от 2.5 до 6В. Чаще всего используется в различных устройствах полива растений, небольших фонтанах или аквариумах.

Датчик пламени инфракрасный KY-026 – это датчик с регулируемым порогом срабатывания, который реагирует на инфракрасное излучение. Его чувствительность к длинам волн составляет 760-1100нм.

Сервопривод SG90 9G – это небольшой, компактный сервопривод, который представляет из себя двигатель постоянного тока, подключенный через редуктор. Используется для работы с небольшими и легкими механизмами, где угол поворота ограничен диапазоном 0-180 градусов.

Батарея крона – не перезаряжаемый источник питания, основанный на электрохимической реакции с выходным напряжением 9В.

Клавишный переключатель KCD3 – трехконтактный клавишный выключатель с подсветкой.

Литий-ионная батарея 18650 – перезаряжаемая аккумуляторная батарея, в моем случае с номинальным напряжением в 3.7В и емкостью в 2500-2600 мАч.

Одноканальное реле 5В – это одноканальное реле, управляемое контроллером для регулирования нагрузками тока. Способен выдержать номинальный ток в 10 А, а диапазон коммутируемого напряжения может доходить до 250В переменного тока и 30 V постоянного тока.

DC-DC понижающий преобразователь LM2596 – это стабилизатор напряжения, главным условием которого является что выходное постоянное напряжение не может превышать входное постоянное напряжение.

## 2.3 Электронная схема подключения

Схема подключения была создана в программе Fritzing.

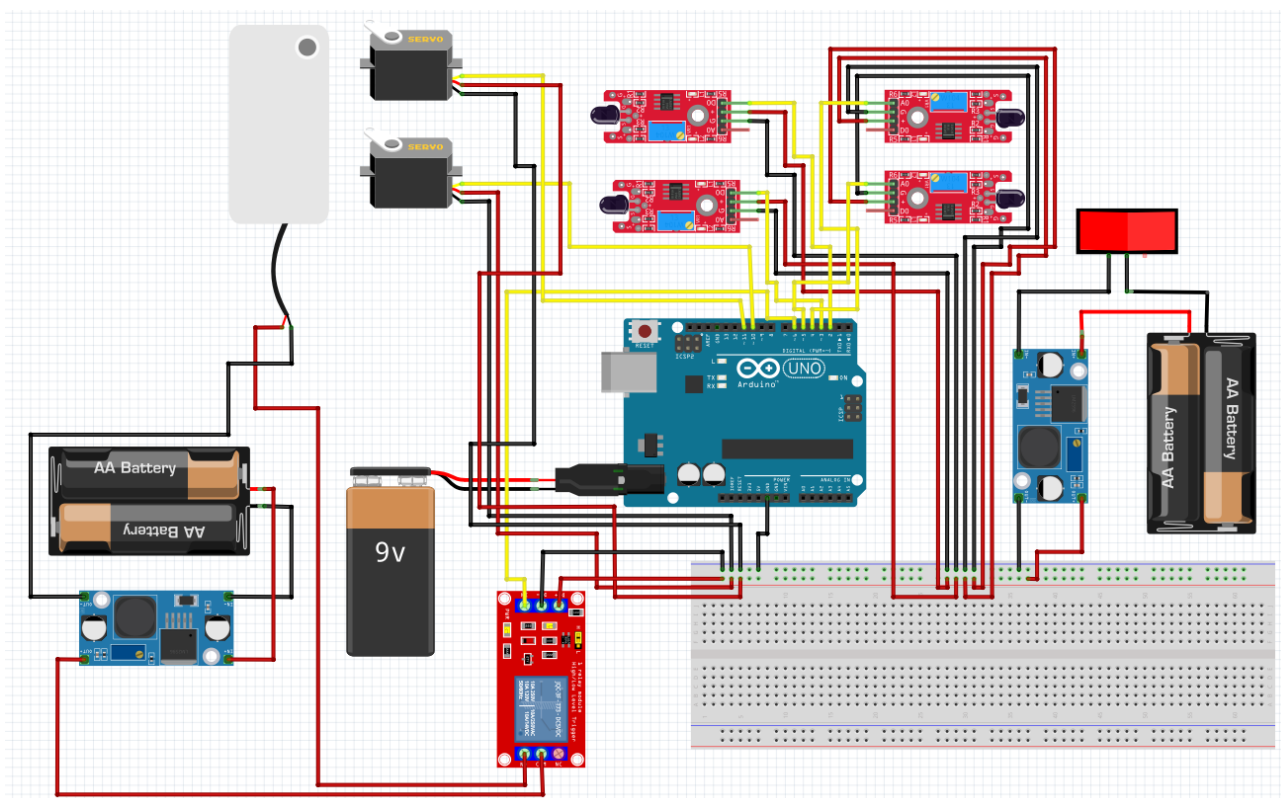


Рисунок 2.1 – Схема подключения

Четыре датчика пламени подключаются через цифровые выходы к пинам на Arduino, а их питание приходится на макетную плату, которая запитывается от двух литий-ионных батареек через понижающий преобразователь. Связанно это с тем, что 2 аккумулятора работая вместе выдают около  $\sim 7.8V$ , что в некоторых случаях может быть слишком много, для чего я использую понижающий преобразователь, чтобы установить подаваемое напряжение. Два сервопривода, как и одноканальное реле также запитываются от макетной платы, а их контакты подачи сигнала идут на Arduino. Подача тока на макетную плату регулируется клавишным переключателем. Сам же микроконтроллер питается от 9В кроны.

Питание погружным насосом идет от 2 аккумуляторных батареек, подключенных через понижающий преобразователь, так как суммарное напряжение, выдаваемое ими, составляет около  $\sim 7.8V$ , а максимальная потребляемая энергия насосом составляет 6В. Управление работы насоса идет от реле, где подключение приходится на общий вход COM и замыкающий контакт NO(нормальной открытой).

Также для всех компонентов проведено общее заземление, которое идет от Arduino к макетной плате.

## 2.4 3D-модель

На изображения ниже представлен прототип моего дипломного проекта, на который я опирался уже при создании живого макета. Все детали были спроектированы в программе SolidWorks.

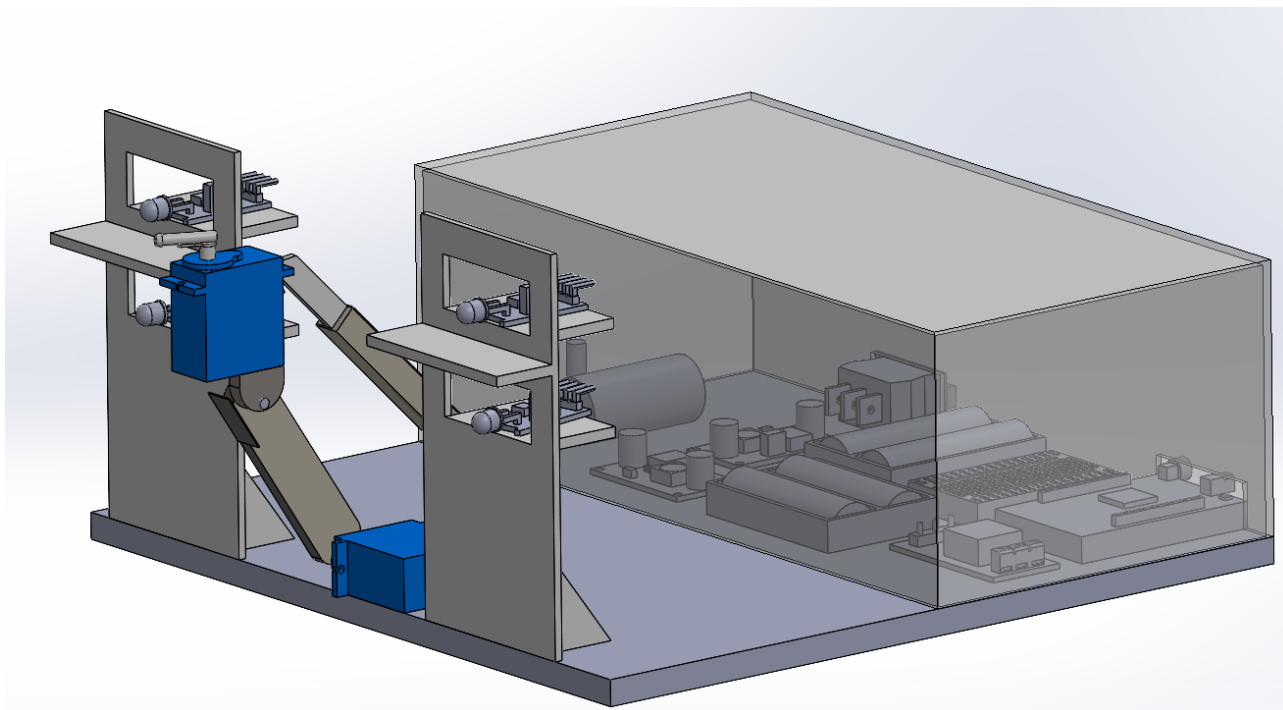


Рисунок 2.2 – 3D модель макета робота сбоку

Первым делом я создал платформу, на которой будут крепиться все основные компоненты моего робота, а именно электронные, которые включают в себя погружной насос, 2 понижающих преобразователя, клавишный переключатель, 2 отсека с двумя аккумуляторными батарейками, макетная плата, микроконтроллер Arduino и одноканальное реле, и сам манипулятор для пожаротушения со стойками для датчиков обнаружения огня.

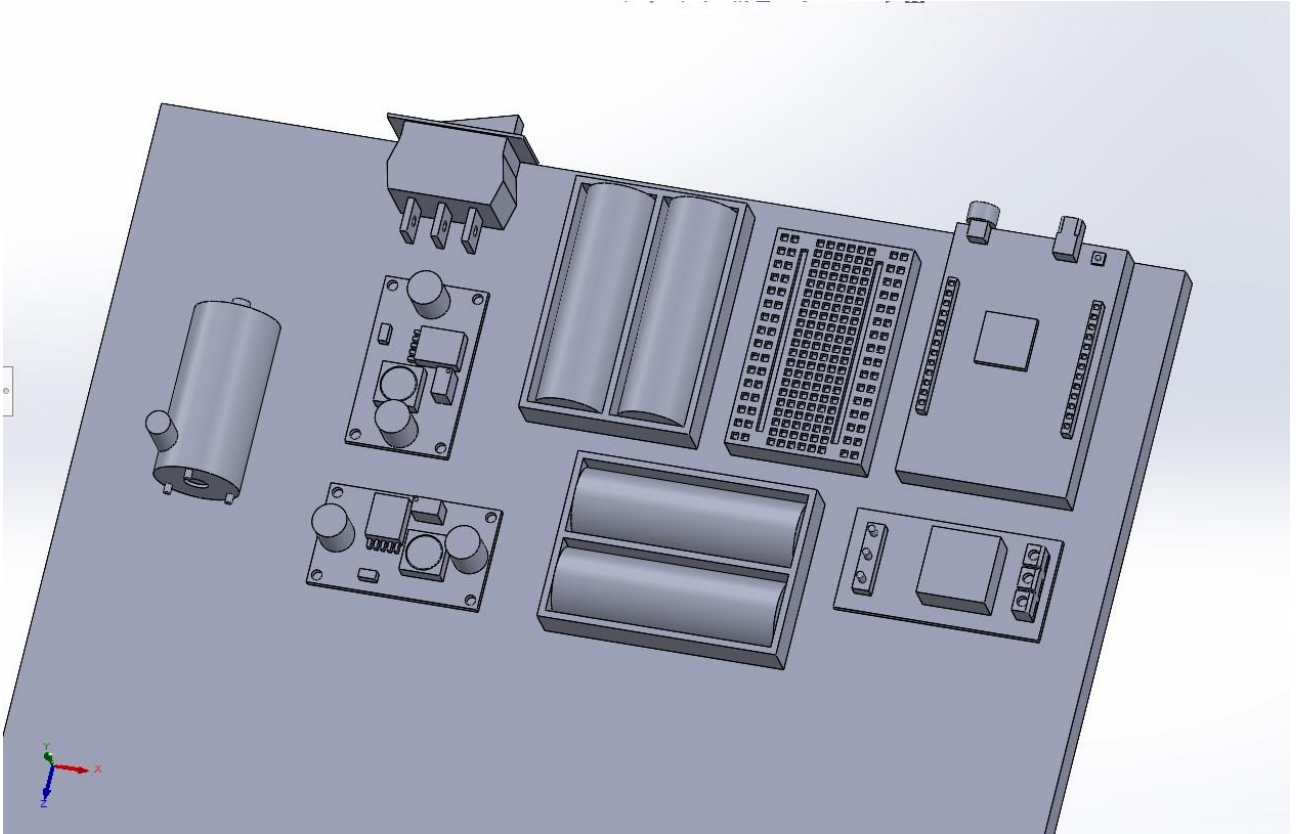


Рисунок 2.3 – 3D модель платформы робота с электронными комплектующими

Далее я построил специальную стойку, на которой будут расположены датчики огня на разных уровнях, а также сама модель датчика. Сделано это для более четкого обнаружения откуда идет возгорание, так как воспламенение может начаться на разных плоскостях и на разном уровне высоты объекта.

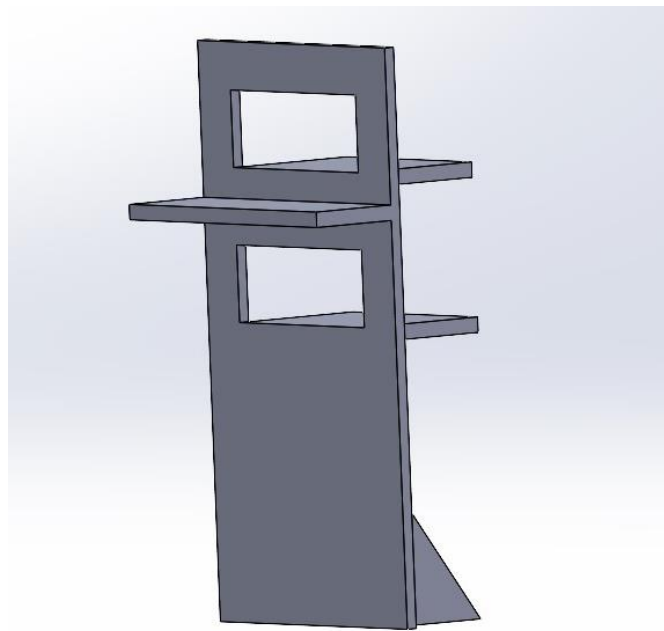


Рисунок 2.4 – 3D модель стойки для крепления датчиков огня



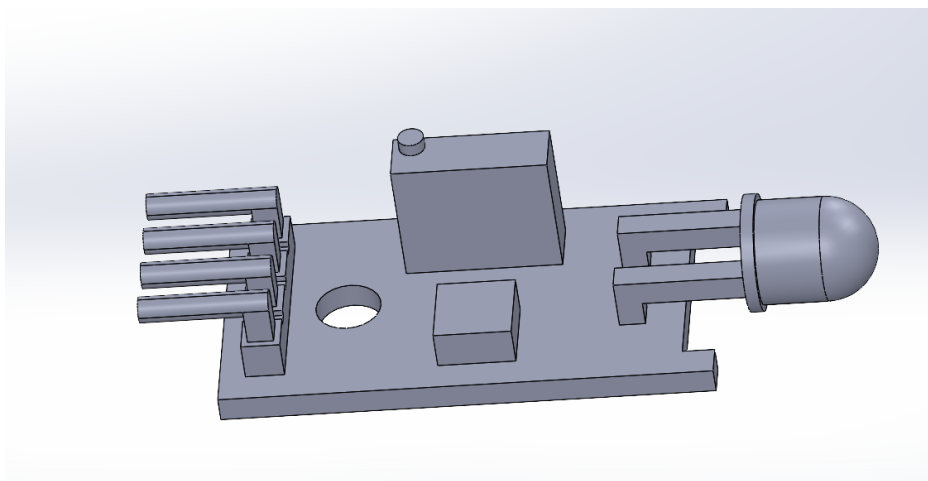


Рисунок 2.5 – 3D модель датчика огня

Следующим шагом я сделал 3D модели сервопривода, насадки со шлангом и составных деталей манипулятора. Механизм построен таким образом, что позволяет опускать манипулятор на  $45^{\circ}$  относительно вертикальной оси, при этом насадка со шлангом всегда смотрит прямо. Достигается это путем упоров, которые не дают завалиться насадке со шлангом вперед при наклоне и не упасть назад в спокойном положении.

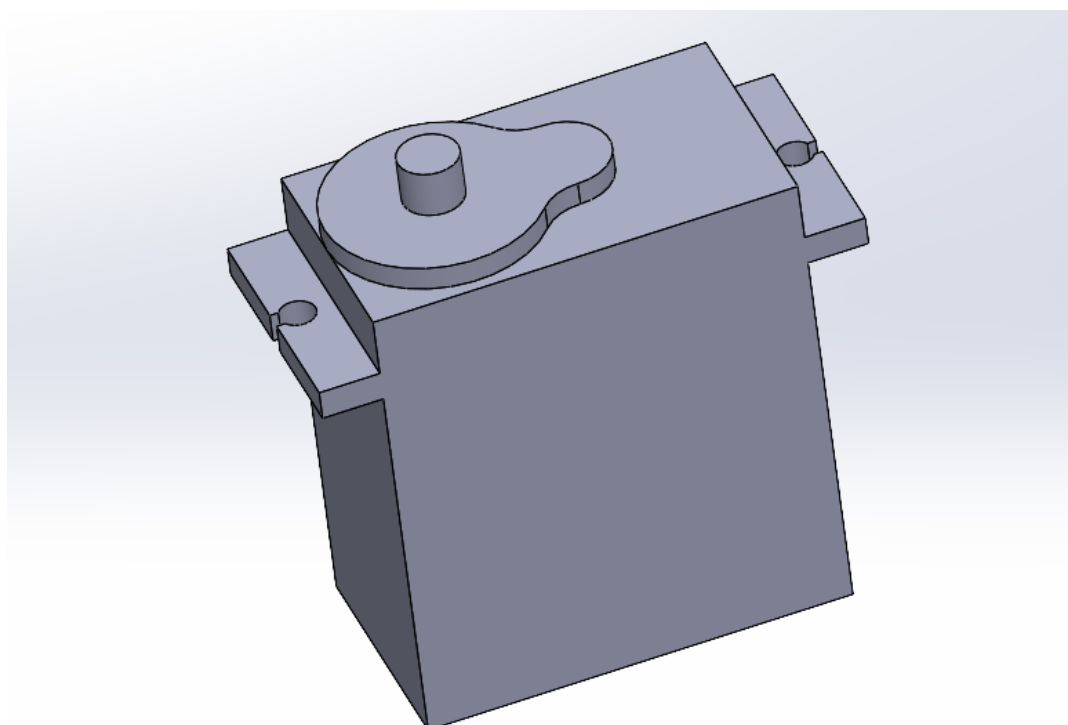


Рисунок 2.6 – 3D модель сервопривода

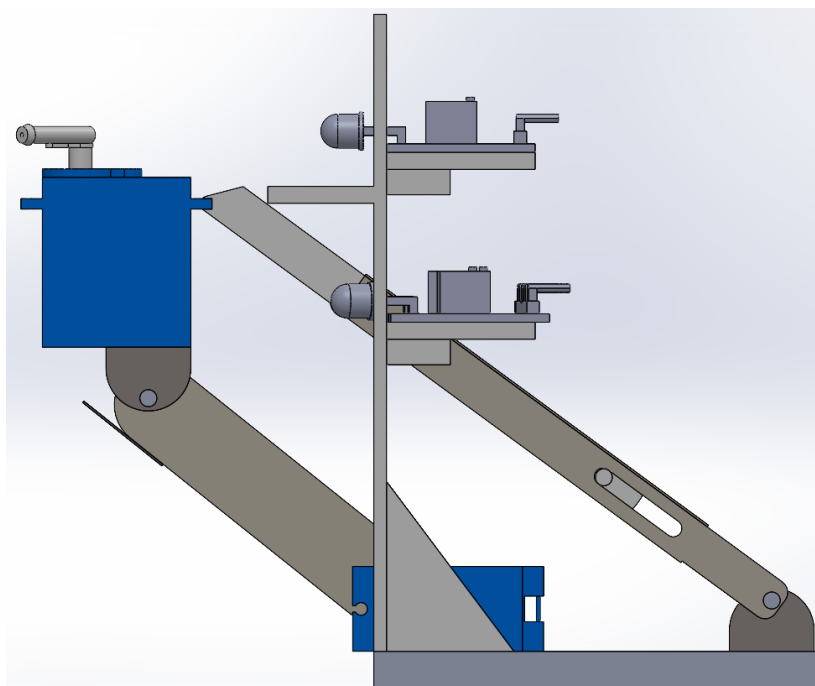


Рисунок 2.7 – 3D модель работы механизма манипулятора

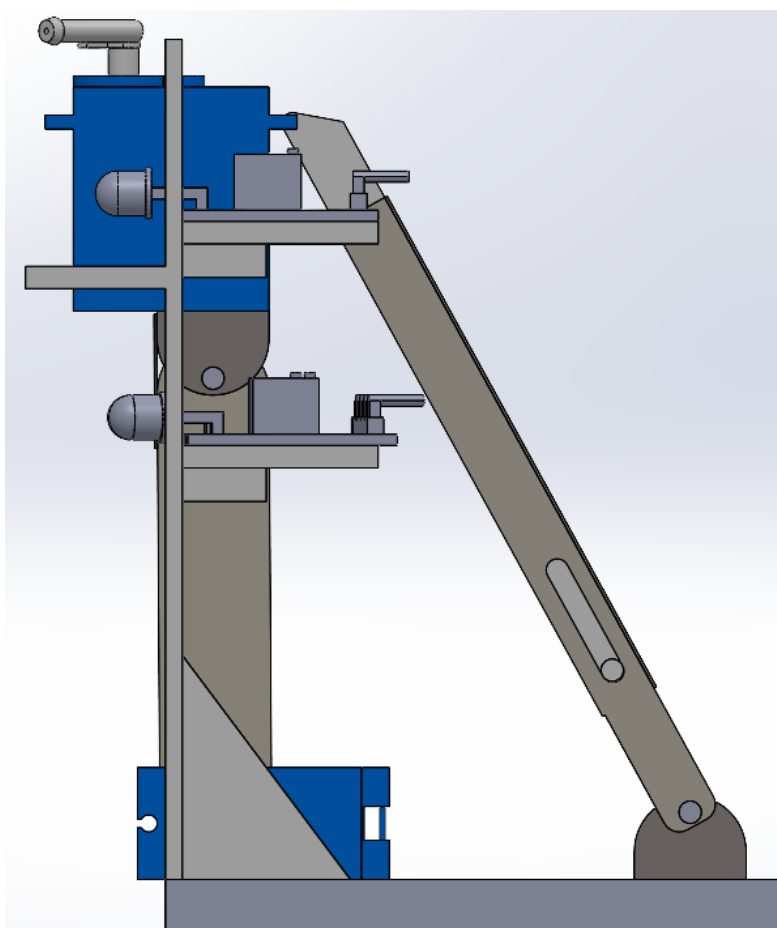


Рисунок 2.8 – 3D модель механизма манипулятора в начальном положении

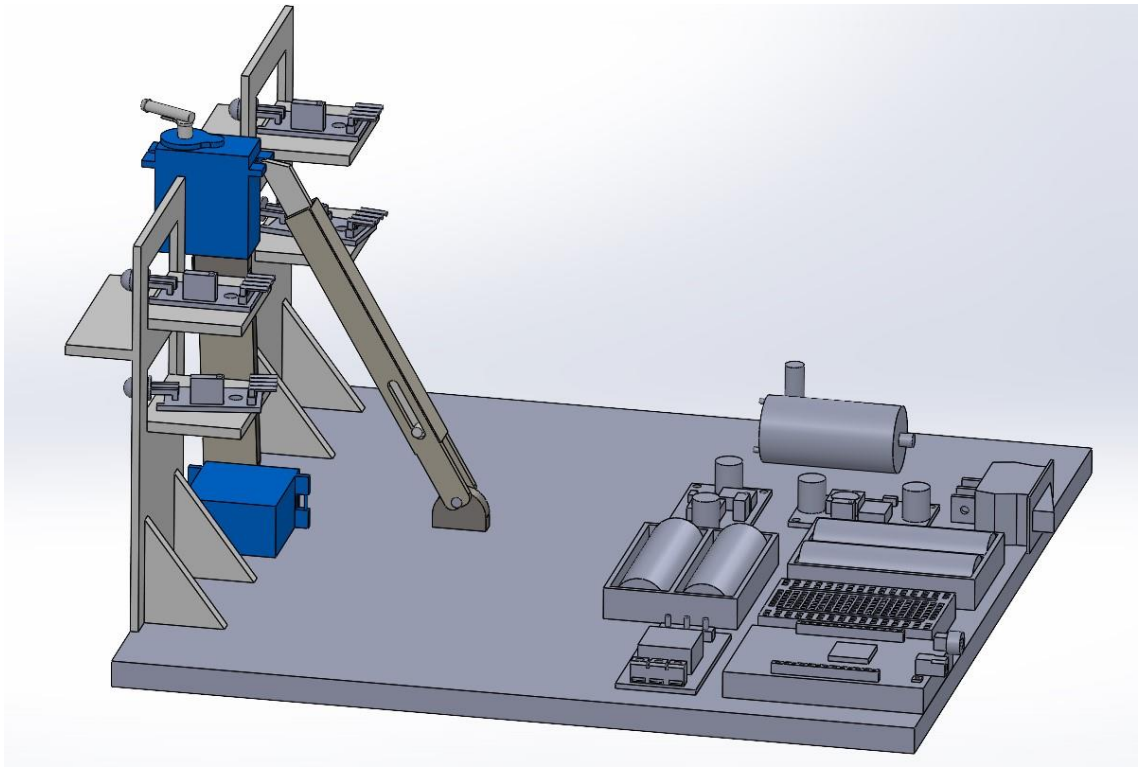


Рисунок 2.9 – 3D модель макета роботизированной системы в открытом виде

## 2.5 Программный код

Программный код был написан на интегрированной среде разработки Arduino IDE, разработанной на C и C++. Помимо этого, она включает в себя обширное количество библиотек и позволяет компилировать написанные программы в машинный код. Код для дипломного проекта в Приложении А.

Вначале кода включаем библиотеку `<Servo.h>` для работы с сервоприводами. Первым делом создаются объекты для управления сервоприводами и объявляются переменные самих сервоприводов и реле, каждому из них назначается свой пин на Arduino. Далее в блоке инициализации системы подключаются сервоприводы к указанному выходу, задаются режимы работы заданных пинов в формате ввода или вывода. Следующим шагом, создается четыре блока `void on_fire`, где в каждом из них прописывается четкие команды действия сервопривода и реле в случае одного из сценариев. К примеру, сервопривод должен будет отклониться на определенный угол и включиться реле. После этого в блоке цикла задаю начальные положения для каждого из сервоприводов и устанавливаю реле в режим LOW. Там же прописываются циклы `While`, что в случае, когда один из четырех сенсоров заметит воспламенение, срабатывает один из прописанных сценариев: сервопривод поворачивается в сторону источника огня, включается реле и насос подает воду через шланг для устранения очага пламени.

```
fire_robot | Arduino 1.8.7
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
fire_robot

#include <Servo.h>
Servo servol;
Servo servo2;
#define SERVO2 10
#define SERV01 11
#define RELAY_PIN 6

void setup()
{
  servo2.attach(SERVO2);
  servol.attach(SERV01);
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void on_fire() {
  delay(500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(140);
  delay(200);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}

void on_fire2() {
  delay(500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(40);
  delay(200);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}

void on_fire3() {
  delay(500);
  servol.attach(SERV01);
  servol.write(50);
  delay(500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(40);
  delay(500);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}

void on_fire4() {
  delay(500);
  servol.attach(SERV01);
  servol.write(50);
  delay(500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(140);
  delay(500);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}

void loop()
{
  delay(500);
  servo2.write(90);
  delay(500);
  servol.write(95);
  delay(500);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

  while (digitalRead(2) == 1 )
  {
    on_fire();
  }
  while (digitalRead(3) == 1 )
  {
    on_fire2();
  }
  while (digitalRead(4) == 1 )
  {
    on_fire3();
  }
  while (digitalRead(5) == 1 )
  {
    on_fire4();
  }
}
```

Рисунок 2.10 – пример кода в Arduino IDE

## 3 Расчеты

### 3.1 Расчет степеней свободы

Степени свободы в робототехнике представляют собой набор независимых путей перемещения и вращения, которые полностью определяют положение системы или объекта. Они включают в себя скорости и производные по времени, которые обеспечивают полную информацию о состоянии механической системы или объекта, включая их положение и движение.[8]

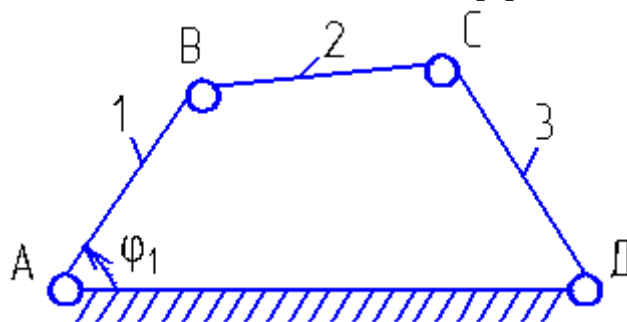


Рисунок 3.1 – Свободное твердое тело (звено)

Свободное твердое тело (звено) в пространстве обладает 6 степенями свободы, т.е. оно может совершать 3 независимых поступательных движения вдоль взаимно-перпендикулярных осей и 3 вращательных движения вокруг тех же осей. [9]

Если же звено входит в кинематическую пару, то на относительное движение его, т.е. на движение по отношению ко второму звену, входящему в эту пару накладываются определенные ограничения. Эти ограничения называются условиями связи - S. [9]

По числу условий связи, накладываемых на относительные движения звеньев, пары подразделяются на классы. Класс кинематической пары соответствует числу условий связи, накладываемых на относительное движение звеньев, входящих в эту пару. [9]

В зависимости от способа соединения звеньев в кинематическую пару число условий связи может меняться от 1 до 5. Поэтому все кинематические пары можно разделить на 5 классов:

К I классу относятся пары, на относительное движение звеньев которых накладывается одно условие. Их называют 5-ти подвижными парами.

Ко II классу относятся пары, на относительное движение звеньев которых накладывается два условия. Их называют 4-ех подвижными парами.

К III классу относятся пары, на относительное движение звеньев которых накладывается три условия. Их называют 3-ех подвижными парами.

К IV классу относятся пары, на относительное движение звеньев которых накладывается четыре условия. Их называют 2-ух подвижными парами.

К V классу относятся пары, на относительное движение звеньев которых накладывается пять условий. Их называют 1-о подвижные пары.

Если на движение звена в пространстве, не наложено никаких условий связи, то оно обладает 6 степенями свободы. [9]

В механике есть следующие обозначения:  $k$  – число звеньев кинематической цепи;  $p_1$  – число кинематических пар первого класса в данной цепи;  $p_2$  – число пар второго класса;  $p_3$  – число пар третьего класса;  $p_4$  – число пар четвертого класса;  $p_5$  – число пар пятого класса. [10]

Число степеней свободы кинематической цепи равно общему числу степеней свободы всех звеньев за вычетом связей, накладываемых на их относительное движение, и высчитывается по формуле  $W=6k-\sum S_i$ , где  $W$  является числом степеней свободы. [10]

У звена, принятого за неподвижное, отнимаются все шесть степеней свободы (на стойку накладывается шесть связей). Таким образом:  $S_1=p_1$ ,  $S_2=2p_2$ ,  $S_3=3p_3$ ,  $S_4=4p_4$ ,  $S_5=5p_5$ ,  $S_{стойки}=6$ , а сумма всех связей  $\sum S_i=p_1+2p_2+3p_3+4p_4+5p_5+6$ .

В результате получается следующая формула для определения числа степеней свободы пространственной кинематической цепи:  $W=6k-p_1-2p_2-3p_3-4p_4-5p_5-6$ . [10]

Сгруппировав первый и последний члены уравнения, получаем:  $W=6(k-1)-p_1-2p_2-3p_3-4p_4-5p_5$ , или окончательно:  $W=6n-p_1-2p_2-3p_3-4p_4-5p_5$ , где  $n$  – число подвижных звеньев кинематической цепи. Данное уравнение носит название структурной формулы кинематической цепи общего вида или как ещё её называют формулой Сомова-Малышева. [10]

На плоскости существуют только пары четвертого и пятого классов. На кинематическую пару четвертого класса приходится одна связь (в дополнение к трем общим связям, приходящимся на плоскость); на пару пятого класса приходится две связи; у стойки отнимаются все три степени свободы. Таким образом:  $\sum S_i=p_4+2p_5+3$ ,  $W=3k-p_4-2p_5-3$  или  $W=3(k-1)-p_4-2p_5$ , окончательно  $W=3n-2p_5-p_4$ . Это есть структурная формула для плоской кинематической цепи или как еще эту формулу называют формулой Чебышева. [10]

Так как мой робот включает себя простейший манипулятор, я буду производить расчеты степеней свободы по формуле Чебышева.

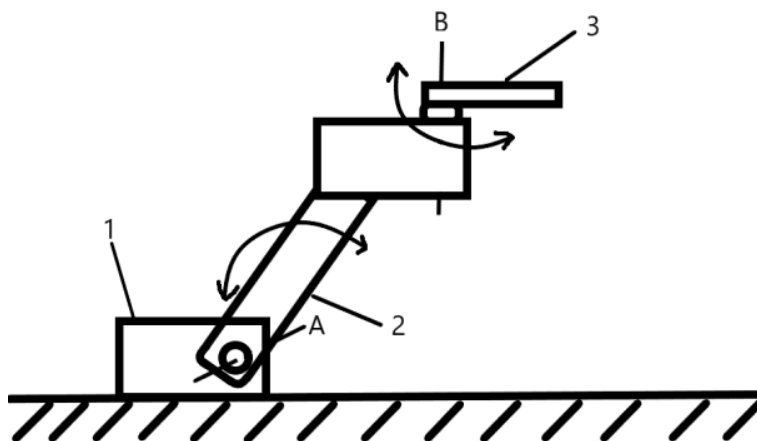


Рисунок 3.2 – Изображение кинематической цепи манипулятора

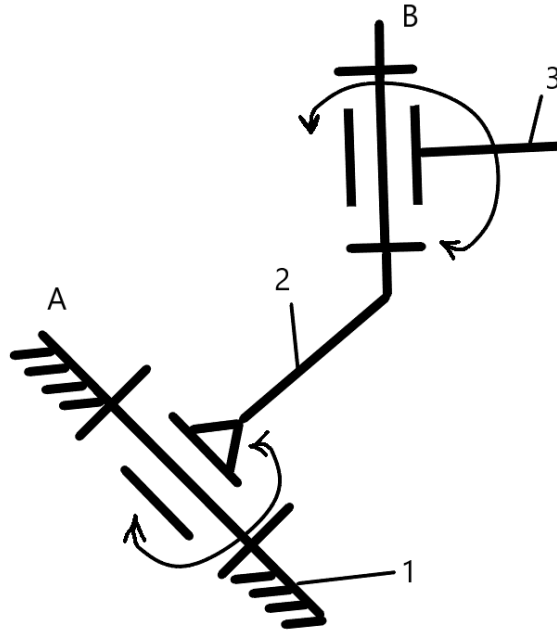


Рисунок 3.3 – Изображение схемы кинематической цепи

Выделим формулу для определения числа степеней свободы плоского механизма, звенья которого совершают движения параллельно одной какой-либо плоскости. [9] Звено 1 и 2 входят в кинематическую пару А(V класса), звено 2 и 3 входят в кинематическую пару В(V класса), то есть  $P_5 = 2$ ,  $n = 2$ .

Таким образом  $W = 3 \cdot n - 2P_5 - P_4$ , подставив значения в формулу получаем:  
 $W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 0 = 6 - 4 = 2$

$W = 2$ , мой робот имеет 2 степени свободы.



### 3.2 Прямая кинематическая задача

Прямая кинематическая задача — это вычисление положения ( $X, Y, Z$ ) рабочего органа манипулятора по его кинематической схеме и заданной ориентации ( $A_1, A_2 \dots A_n$ ) его звеньев ( $n$  — число степеней свободы манипулятора,  $A$  — углы поворота). Решение прямой задачи говорит — где будет находиться рабочий орган манипулятора, при заданных углах его суставов, а обратная задача, наоборот, говорит: как нужно «вывернуться» манипулятору, чтобы его рабочий орган оказался в заданном положении. [11]

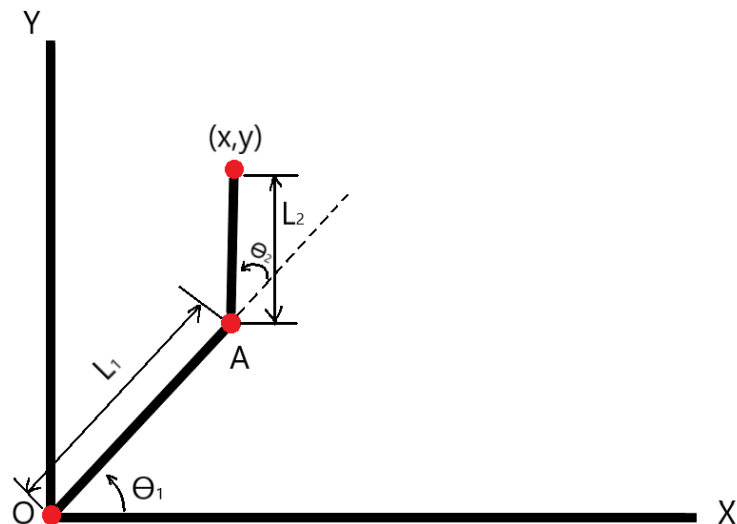


Рисунок 3.4 – Изображение прямой кинематической задачи

Здесь, мы имеем две системы отсчёта: первая, связанная с точкой крепления плеча  $L_1$  —  $O$ ; вторая, с началом координат в точке крепления локтя —  $A$ .

Найдём смещение второй системы относительно первой (координаты точки  $A$  в системе отсчёта  $O$ )[11]:

$$XA = L_1 * \cos(\Theta_1) = 14 * \cos(40^\circ) = 10,725$$

$$YA = L_1 * \sin(\Theta_1) = 14 * \sin(40^\circ) = 8,999$$

Координаты  $(x, y)$  в системе отсчёта локтя[11]:

$$x'' = L_2 * \cos(\Theta_2) = 5 * \cos(25^\circ) = 4,532$$

$$y'' = L_2 * \sin(\Theta_2) = 5 * \sin(25^\circ) = 2,113$$

По рисунку видно, что в системе  $O$ , локоть  $L_2$  повёрнут относительно плеча на  $Q_1+Q_2$ [11]:

$$x' = L_2 * \cos(\Theta_1 + \Theta_2) = 5 * \cos(40^\circ + 25^\circ) = 2,113$$

$$y' = L_2 * \sin(\Theta_1 + \Theta_2) = 5 * \sin(40^\circ + 25^\circ) = 4,532$$

Ответ:

$$x = XA + x' = L_1 * \cos(\Theta_1) + L_2 * \cos(\Theta_1 + \Theta_2) = 10,725 + 2,113 = 12,838 \approx 12,8$$

$$y = YA + y' = L_1 * \sin(\Theta_1) + L_2 * \sin(\Theta_1 + \Theta_2) = 8,999 + 4,532 = 13,531 \approx 13,5$$

Таким образом координаты рабочего органа манипулятора по осям  $x$  и  $y$  составляют  $(12,8; 13,5)$ .

### 3.3 Расчет надежности

Расчёт надёжности — это процедура определения значений показателей надёжности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надёжности элементов объекта, по данным о надёжности объектов-аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета. В результате расчета определяются количественные значения показателей надёжности. [12]

Структурные методы расчета надёжности применяются при проектировании объектов, которые могут быть разбиты на более мелкие элементы. Этот вид методов включает следующие этапы:

1) Представление объекта в форме структурной схемы, учитывающей логические взаимосвязи между состояниями элементов, структурно-функциональные связи, стратегию обслуживания и возможное резервирование.

2) Разработка математической модели структурной схемы, позволяющей вычислить показатели надёжности объекта на основе данных о надёжности его элементов и условиях эксплуатации. [12]

В своей дипломной работе я использовал только те компоненты, максимальная работоспособность которых влияет на автономную работу системы в целом.

- Arduino UNO,  $t_{\text{упо}}=88\ 000$  ч
- Погружной насос,  $t_{\text{насос}}=150\ 000$  ч
- Одноканальное реле,  $t_{\text{реле}}=80\ 000$  ч
- Сервопривод sg90 9g,  $t_{\text{серво}}=120\ 000$  ч
- Датчик пламени инфракрасный KY-026,  $t_{\text{датчик}}=69\ 000$  ч
- DC-DC понижающий преобразователь LM2596,  $t_{\text{преобр}}=70\ 000$  ч

Среднее время безотказной работы (средняя наработка до отказа) является показателем, характеризующим продолжительность работы электронных компонентов или элементов до возникновения первого отказа. Этот показатель представляет собой математическое ожидание времени, в течение которого компоненты функционируют без сбоев.

В общем случае этот показатель называется средней наработкой до отказа, так как он представляет собой среднее значение случайной величины, представляющей наработку до момента отказа. Среднее время безотказной работы может быть применено как к восстанавливаемым, так и к невосстанавливаемым продуктам.

Безотказность определяется как способность компонента работать без сбоев в течение определенного периода времени. [13]

Основываясь на этом, мой расчет надёжности проекта был выполнен в вычислительной программе MathCad.

Используемые формулы и пояснения:

- 1) Интенсивность отказа  $\lambda = \frac{1}{t}$
- 2) Вероятность безотказной работы всей системы  $T_i(t) = e^{-\lambda i t}$ , где  $t=1000$  ч
- 3) Расчет показателей системы  $T = \sum_{i=1}^n [T_i(t)]$

- 4) Средняя наработка до отказа системы  $P = \frac{1}{\lambda}$
- 5) Годовая наработка до отказа системы  $P_{\text{год}} = \frac{P_{\text{ср}}}{24 \cdot 365}$ .

Моя роботизированная система должна работать 24 часа в сутки, круглый год (365 дней).

$t_{\text{tuno}} := 88000$	$t_{\text{насос}} := 150000$	$t_{\text{реле}} := 80000$	$t_{\text{серво}} := 120000$	$t_{\text{датчик}} := 69000$	$t_{\text{преобр}} := 70000$
$\lambda_{\text{tuno}} := \frac{1}{t_{\text{tuno}}}$	$\lambda_{\text{насос}} := \frac{1}{t_{\text{насос}}}$	$\lambda_{\text{реле}} := \frac{1}{t_{\text{реле}}}$	$\lambda_{\text{серво}} := \frac{1}{t_{\text{серво}}}$	$\lambda_{\text{датчик}} := \frac{1}{t_{\text{датчик}}}$	$\lambda_{\text{преобр}} := \frac{1}{t_{\text{преобр}}}$
$\lambda_{\text{tuno}} = 1.136 \times 10^{-5}$	$\lambda_{\text{насос}} = 6.667 \times 10^{-6}$	$\lambda_{\text{реле}} = 1.25 \times 10^{-5}$	$\lambda_{\text{серво}} = 8.333 \times 10^{-6}$	$\lambda_{\text{датчик}} = 1.449 \times 10^{-5}$	$\lambda_{\text{преобр}} = 1.429 \times 10^{-5}$
$t := 1000$					
$T_{\text{tuno}}(t) := e^{-\lambda_{\text{tuno}} \cdot t}$	$T_{\text{насос}}(t) := e^{-\lambda_{\text{насос}} \cdot t}$	$T_{\text{реле}}(t) := e^{-\lambda_{\text{реле}} \cdot t}$	$T_{\text{серво}}(t) := e^{-\lambda_{\text{серво}} \cdot t}$	$T_{\text{датчик}}(t) := e^{-\lambda_{\text{датчик}} \cdot t}$	$T_{\text{преобр}}(t) := e^{-\lambda_{\text{преобр}} \cdot t}$
$T_{\text{tuno}}(t) = 0.989$	$T_{\text{насос}}(t) = 0.993$	$T_{\text{реле}}(t) = 0.988$	$T_{\text{серво}}(t) = 0.992$	$T_{\text{датчик}}(t) = 0.986$	$T_{\text{преобр}}(t) = 0.986$

Рисунок 3.5 – Расчет надежности

$$T_{\text{системы}} := \sum_{i=1}^n [T_i(t)]$$

$$T_{\text{системы}} := 0.989^2 \cdot 0.993^2 \cdot 0.988^2 \cdot 0.992^2 \cdot 0.986^2 \cdot 0.986^2 = 0.876$$

$$\lambda_{\text{системы}} := \frac{-\ln(0.876)}{1000} = 1.324 \times 10^{-4}$$

$$R_{\text{сис}} := \frac{1}{\lambda_{\text{системы}}} = 7.553 \times 10^3$$

$$R_{\text{сис}}'_{\text{год}} := \frac{R_{\text{сис}}}{24 \cdot 365} = 0.862$$

Рисунок 3.6 – Расчет надежности итоговые расчеты

В итоге годовая наработка до отказа системы при условии работы 24 часа в сутки 365 дней составляет 0,862 года или же 10 месяцев и 10 дней.

### 3.3 Экономический расчет макета проекта

Экономический расчет проекта означает оценку финансовых аспектов внедрения и эксплуатации данной роботизированной системы. Этот анализ важен для определения экономической целесообразности его использования и объема внедрения.

При исследовании экономического аспекта, важно учесть, что внедрение и эксплуатация данного проекта связана с затратами. Ценообразование должно основываться на реальных затратах, а не произвольных методах установления цен на продукцию.

Себестоимость продукта складывается из затрат на его производство, амортизации средств труда, затрат на труд работников и прибыли. Для оценки экономической целесообразности необходимо учитывать физический и моральный износ робота и другого оборудования. Расчеты должны учитывать среднюю рыночную, минимальную и максимальную стоимость проекта.

Важно отметить, что эффективность внедрения роботизированных систем зависит от выбора подходящего типа и поколения роботов для конкретных задач. Не всегда самые современные и дорогие роботы являются оптимальным решением. Рентабельность роботизации можно повысить, выбирая роботов, наиболее подходящих для решения конкретных задач, простых в эксплуатации и доступных по стоимости. В итоге целесообразно создавать или выбирать роботов, которые наилучшим образом соответствуют специфике задачи и могут быть эффективно применены в производственных процессах.

Экономическая эффективность роботизации пожарных систем зависит от нескольких ключевых факторов. Для начала роботизация поможет снизить расходы на количество материалов, затрачиваемых на установку и обслуживание роботов ввиду их эффективности. Так, например вместо установки несколько сотен спринклеров хватит и пары десятков роботов, которые не хуже справятся с работой. Из этого вытекает и следующее достоинство, а именно то, что за счет отсутствия надобности установки большого количества спринклеров, будет легче обслуживать и находить неисправности каждого отдельного робота, повышается удобность обслуживания. Другим важным аспектом является увеличение производительности, так как роботы могут работать более продолжительное время без перерывов и с высокой точностью. Однако, стоимость внедрения роботов и необходимость в обучении персонала и обслуживании оборудования также играют роль в оценке экономической целесообразности.

В моей таблице представлена минимальная, средняя и максимальная цена каждого отдельного комплектующего, с учетом актуальных цен на рынке, а также внесена итоговая стоимость проекта.

Таблица 3.1

Компоненты	Кол-во	Цена min	Цена mid	Цена max
Arduino Uno	1	8 000	12 000	15 000
Макетная плата	1	500	700	1 050
Погружной насос 3-5В	1	550	600	850
Датчик пламени инфракрасный KY-026	4	1000	1600	2000
Сервопривод sg90 9g	2	680	890	1300
Литий-ионные батареи 18650	4	6000	8000	12000
Батарея крона 9В	1	550	1000	1500
Одноканальный модуль реле 5В	1	600	850	1300
DC-DC понижающий преобразователь LM2596	2	800	1000	1400
Клавишный переключатель KCD3	1	200	350	450
Провода папа-папа 20см	40	650	700	800
Провода папа-мама 20см	40	650	700	800
Провода мама-мама 20см	40	650	700	800
Батарейный отсек для "Кроны"	1	450	500	600
Батарейный отсек 2x18650	2	200	250	300
ПВХ лист 1.2x2.4м, толщина 3мм	1	2200	2500	3000
Пистолет клеевой	1	800	1500	3000
Клеевые стержни	10	500	700	1000
<b>Итого</b>		<b>24980 52\$</b>	<b>34540 72\$</b>	<b>47150 98\$</b>

#### 4 Готовый макет робота

Данный роботизированная система обнаружения и ликвидации очагов пламени ввиду своей конструктивной особенности рассчитана на борьбу с огнем в помещениях по типу торговых и коммерческих зданий, включая ТРЦ. Так как данный робот является лишь прототипом, то в будущем возможно его техническое усовершенствование за счет замены источников питания, сервоприводов на более мощные или на шаговые двигатели, а также замены на более усовершенствованные датчики обнаружения огня.

Законченный прототип имеет такой вид:

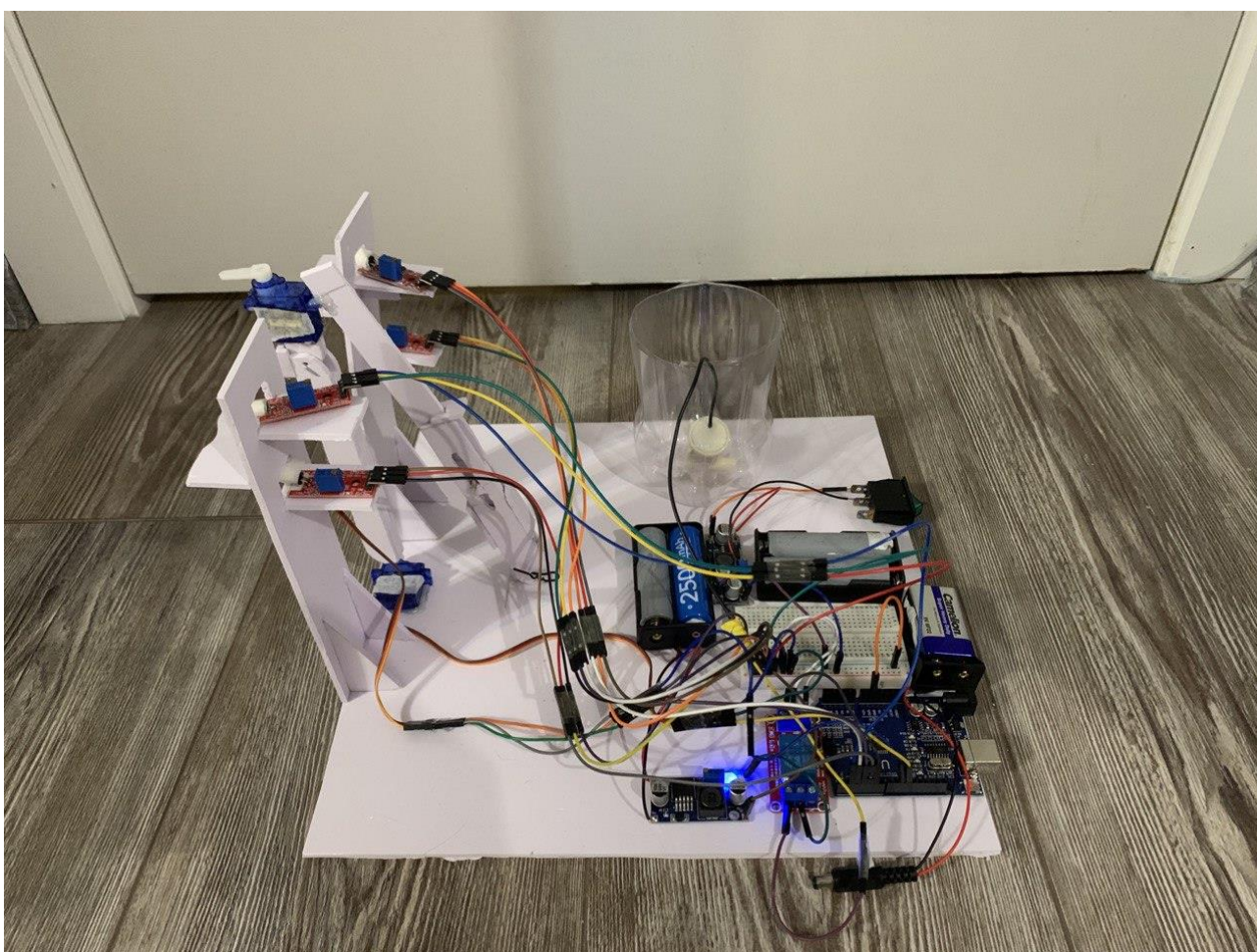


Рисунок 4.1 – Вид робота сбоку



Рисунок 4.2 – Вид спереди

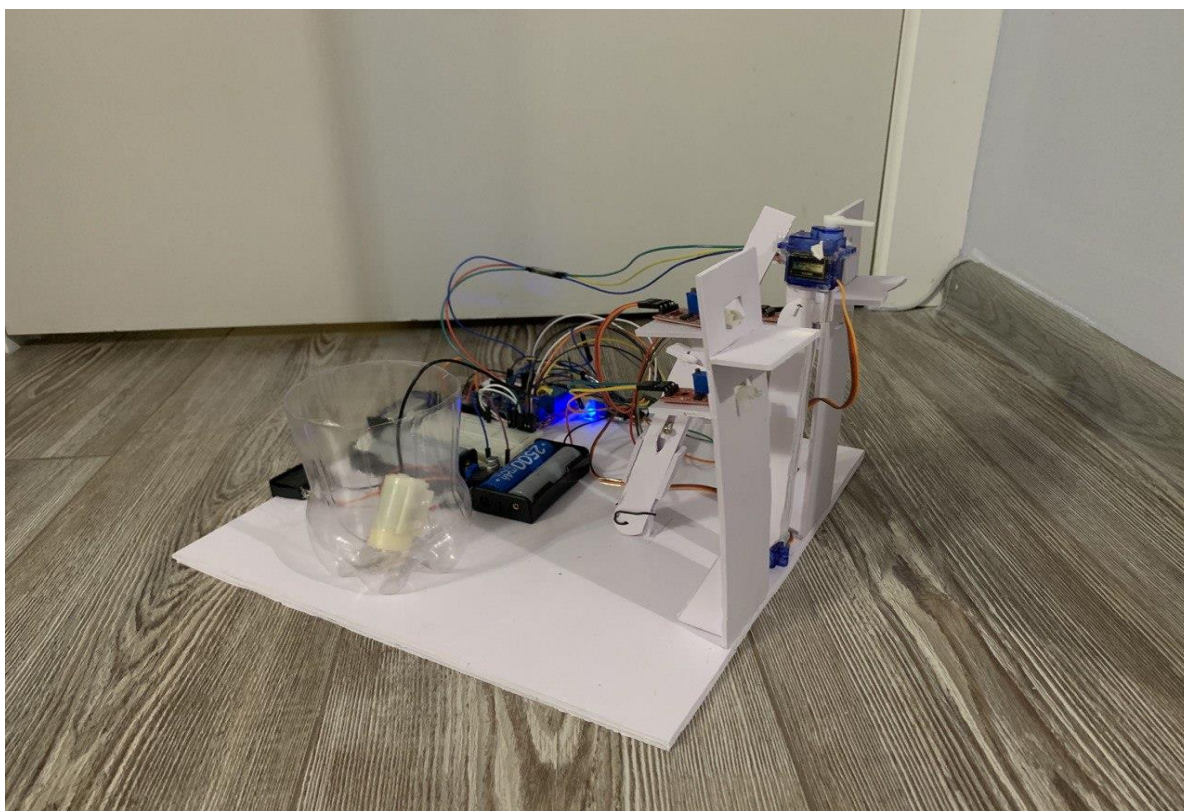


Рисунок 4.3 – Вид робота сбоку

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом моя дипломная работа призвана способствовать развитию технологий автоматизированного пожаротушения и обеспечить научное обоснование для широкого внедрения роботизированных систем в сфере пожарной безопасности.

В ходе работы были затронуты этапы исследования, анализа, расчетов, программной разработки и конструирования.

Результаты и выводы, полученные в рамках данного исследования, могут быть полезными как для инженеров и разработчиков, так и для экспертов в области чрезвычайных ситуаций и государственных органов, ответственных за обеспечение безопасности населения и имущества.

Разработанный проект является инновационным и более эффективным устройством по сравнению с современными альтернативами.

На основе поставленных целей и задач при разработке робота были:

- Изучены актуальность проблемы, нынешние методы борьбы с огнем, выявлены их слабые стороны и альтернативные способы улучшения;
- Проведены расчеты механики, надежности проекта, математический и финансовый анализ;
- Произведен анализ подбора комплектующих;
- Была проведена визуализация и 3Д моделирование робота.

В дальнейшем есть возможность улучшения проекта при выборе более мощных и дорогостоящих комплектующих.



## СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

ТРЦ – Торгово-развлекательный центр.

ТЦ – Торговый центр.

АППГ – Аналогичный период прошлого года.

Спринклер – ороситель, разбрызгиватель, автоматическая оросительная головка системы пожаротушения, установленная на сети водопроводных труб, в которых постоянно находится вода или воздух под давлением.

Пин – контакт(ножка) или специальное отверстие в электронике для соединения двух элементов схемы. В Arduino пины делятся на аналоговые и цифровые, с помощью функции pinMode их помощью можно настроить на режим работы заданного входа/выхода.

AFRL – Air Force Research Laboratory(Исследовательская лаборатория ВВС).

UFV – Unmanned Fire-fighting Vehicle(беспилотное пожарное транспортное средство).

Манипулятор – механизм для управления пространственным положением орудий, объектов труда и конструкционных узлов и элементов.

Микроконтроллер – микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Микроконтроллер Arduino является аппаратно-программным комплексом, небольшой управляющей платой с собственным процессором и памятью, для программирования и создания электронных устройств.

Редуктор – это преобразующее устройство, для передачи и преобразования крутящего момента. Используется для уменьшения частоты вращения ведомого вала при одновременном увеличении крутящего момента. Осуществляет механическую передачу энергии вращением, преобразуя частоту вращения и крутящий момент по величине.

AFFF – Aqueous Film Forming Foam(Водная пленкообразующая пена).

Стереозрение – вид зрения, при котором возможно восприятие формы, размеров и расстояния до предмета. Задача стереозрения состоит в использовании двух или нескольких камер для получения данных о дальности до объекта.

Noopter – гороптер, термин означающий восприятия пространства, обозначающий область пространства перед наблюдателем, все точки которой не видятся двоящимися, так как данные точки дают изображения в парных идентичных местах сетчатки, то есть в корреспондирующих точках.

LWIR– Long Wave Infrared(Длинноволновое инфракрасное излучение).

EO – electrical-optical(электрооптический).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Статистика пожаров: большинство пожаров в Казахстане  
<https://fire-tec.kz/2023/03/24/statistika-pozharov-bolshinstvo-pozharov-v-kazahstane/>
- [2] Суханов, И. В. Анализ пожаров в торгово-развлекательных центрах  
<https://moluch.ru/archive/399/88256/>
- [3] Do Fire Sprinklers Work? And How Effective Are They?  
<https://www.unifourfire.com/blog/are-fire-sprinklers-effective#:~:text=Sprinklers%20operate%20as%20intended%20a,total%20success%20rate%20of%2087%25>
- [4] Do Fire Sprinklers Damage Your Building: Fire Sprinkler New Jersey  
<https://www.confires.com/blog/fire-sprinklers-damage-building/>
- [5] Martinez, Lucas M. Trevvett, David K. Robotic Firefighting Technologies  
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA570942>
- [6] Пожар в торговом центре «Зимняя вишня»  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B6%D0%B0%D1%80\\_%D0%B2\\_%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BC\\_%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B5\\_%C2%AB%D0%97%D0%B8%D0%BC%D0%BD%D1%8F%D1%8F\\_%D0%B2%D0%B8%D1%88%D0%BD%D1%8F%C2%BB](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B6%D0%B0%D1%80_%D0%B2_%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BC_%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B5_%C2%AB%D0%97%D0%B8%D0%BC%D0%BD%D1%8F%D1%8F_%D0%B2%D0%B8%D1%88%D0%BD%D1%8F%C2%BB)
- [7] Пресс-центр ООО "Инженерный центр пожарной робототехники "ЭФЭР"  
<https://firerobots.ru/en/press-service>
- [8] Степени свободы (механика)  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B8\\_%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D1%8B\\_\(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B8_%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D1%8B_(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0))
- [9] Теория механизмов и машин. Степень подвижности механизма.  
[https://edu.tltsu.ru/er/book\\_view.php?book\\_id=1842&page\\_id=13979](https://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=1842&page_id=13979)
- [10] ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ  
<https://isopromat.ru/tmm/kratkij-kurs/chislo-stepenej-svobody-cepj>
- [11] Кинематика: прямая и обратная задачи  
<https://robocraft.ru/mechanics/756>
- [12] Расчёт надёжности  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82\\_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8#:~:text=%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82%20%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%E2%80%94%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%B4%D1%83%D1%80%D0%B0%20%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9,%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8#:~:text=%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82%20%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%E2%80%94%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%B4%D1%83%D1%80%D0%B0%20%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9,%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%8)

[6%D0%B8%D0%B8%2C%20%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%8F%20%D0%BA%20%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%83%20%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%D0%B0.](#)

[13] С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян, РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

[https://www.bsuir.by/m/12\\_101945\\_1\\_72356.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_101945_1_72356.pdf)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Программный код

```
#include <Servo.h>
Servo servo1;
Servo servo2;
#define SERVO2 10
#define SERVO1 11
#define RELAY_PIN 6

void setup()
{ servo2.attach(SERVO2);
  servo1.attach(SERVO1);
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void on_fire() {
  delay (500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(140);
  delay(200);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}
void on_fire2() {
  delay (500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(40);
  delay(200);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}
void on_fire3() {
  delay (500);
  servo1.attach(SERVO1);
  servo1.write(50);
  delay (500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(40);
  delay (500);
}
```

```

digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);

}
void on_fire4() {
  delay (500);
  servo1.attach(SERVO1);
  servo1.write(50);
  delay (500);
  servo2.attach(SERVO2);
  servo2.write(140);
  delay (500);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
}
void loop()
{ delay(500);
  servo2.write(90);
  delay(500);
  servo1.write(95);
  delay(500);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

  while (digitalRead(2) == 1 )
  { on_fire();
  }
  while (digitalRead(3) == 1 )
  { on_fire2();
  }
  while (digitalRead(4) == 1 )
  { on_fire3();
  }
  while (digitalRead(5) == 1 )
  { on_fire4();
  }
}

```

### РЕЦЕНЗИЯ

дипломного проекта Муратова Диаса Муратовича  
по специальности 6В07113 – «Робототехника и мехатроника»  
Satbayev University

**Тема дипломной работы:** «Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени»

#### Выполнено:

- а) В графическом разделе 28 рисунков
- б) Объяснительная записка 42 страниц

**Актуальность темы исследования** Дипломная работа затрагивает тему пожаров, в частности альтернативных и современных способов борьбы с ними, с использованием инновационных роботизированных систем обнаружения и ликвидации очагов пламени.

В настоящее время использование таких систем полностью не изучено, но уже может похвастаться своей результативностью по сравнению с нынешними способами пожаротушения. Данные методы способны оказать существенное влияние на сохранение жизни людей и чужого имущества благодаря своей эффективности борьбы с огнем.

**Структура работы.** Дипломная работа состоит из 4 глав и 11 подразделов, помимо этого, в работе имеется заключение, список сокращений и терминов, а также список использованной литературы.

Первая глава посвящена исследовательской части, в ней описаны актуальность проекта, постановка проблемы и методы ее решения.

Во второй главе представлена практическая часть в которой описаны характеристика робота, требования к его функционированию, используемые электронные компоненты и схема их подключения, 3D модель макета и программный код.

Третья глава посвящена расчетам, а именно экономическому расчету, оценке степеней свободы, надежности и решению прямой кинематической задачи.

Четвертая глава является заключительной и представляет собой обобщенные результаты проделанной работы, полученные в рамках исследования, и окончательный макет робота.

**Оценка работы.** Дипломная работа Муратова Д.М. свидетельствует о ее высоком качестве и завершенности, представляя собой значимый проект, рассматривающий актуальный вопрос в сфере борьбы с пожарами. Работа заслуживает высокой оценки 98% и рекомендуется для защиты.

#### Рецензент

Кафедра «Искусственного интеллекта и Big Data» факультета информационных технологий, КазНУ имени аль-Фараби.  
Ph.D., доцент, старший преподаватель

Карымсакова Н.Т.  
2023г.

Ф КазУ 04-22. Рецензия



## ОТЗЫВ

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6В07113 – «Робототехника и мехатроника»

**Муратова Диаса Муратовича**

На тему: «Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени»

Дипломный проект студента бакалавриата Муратова Диаса Муратовича посвящен "Разработке роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени".

Целью работы является создание роботизированной системы, которая за счет инфракрасных датчиков пламени может находить источники огня и тушить их. Для достижения поставленных целей предусмотрены следующие задачи: изучить нынешние методы борьбы с огнем в помещениях и инновационные им альтернативы; смоделировать модель и разобраться в электронной, математической и программной части робота; выбрать и обосновать лучшие конструкторские решения; подобрать комплектующие и протестировать систему. В основе этого робота лежит микроконтроллер на платформе Arduino UNO, инфракрасные датчики пламени KY-026, которые распознают источники огня, сервоприводы SG90, погружной насос, одноканальное реле, DC-DC понижающие преобразователи LM2596, а также источники питания в виде литий-ионных аккумуляторов 18650 и кроны 9В.

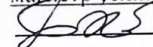
В первой главе описана исследовательская часть, во второй главе рассматривается практическая часть, третий раздел посвящен различным расчетам и задачам, а в окончательной главе подводится заключение и обобщение результатов проделанной работы.

Дипломный проект разработан по стандарту организации в соответствии с общими требованиями к созданию, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов. Считаю, что дипломный проект студента Муратов Диаса «Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени» выполнен полностью и на очень высоком уровне.

Ставлю дипломному проекту оценку «отлично» и считаю, что студент Муратов Диас заслуживает академической степени бакалавра.

### Научный руководитель

магистр технических наук, старший преподаватель

 Бигалиева Ж.С.

«23» 10 2023 г.

Ф КазННТУ 704-21. Отзыв научного руководителя



## Метаданные

Название

**Разработка роботизированной системы обнаружения и ликвидации очагов пламени**

Автор

**Муратов Диас Муратович**

Научный руководитель / Эксперт

**Жанар Бигалиева**

Подразделение

**ИАИИТ**

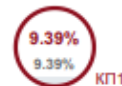
## Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

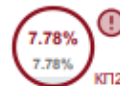
Замена букв		6
Интервалы		0
Микропробелы		1
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		20

## Объем найденных подоби

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

**25**

Длина фразы для коэффициента подобия 2

**6399**

Количество слов

**42967**

Количество символов

## Подобия по списку источников

Посмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника («криптоцитаты»).

### 10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	ЦВЕТ ТЕКСТА
1	<a href="https://lektsia.com/4x61b2.html">https://lektsia.com/4x61b2.html</a>	141	2.20 %
2	<a href="https://studfiles.net/preview/4200980/page-4/">https://studfiles.net/preview/4200980/page-4/</a>	139	2.17 %
3	<a href="https://wiki2.org/ru/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8">https://wiki2.org/ru/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8</a>	45	0.70 %
4	<a href="http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html">http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html</a>	42	0.66 %
5	<a href="https://lektsia.com/4x61b2.html">https://lektsia.com/4x61b2.html</a>	41	0.64 %



6	<a href="http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html">http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html</a>	32	0.50 %
7	<a href="http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html">http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html</a>	32	0.50 %
8	<a href="http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html">http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html</a>	26	0.41 %
9	<a href="https://leksijs.com/4x61b2.html">https://leksijs.com/4x61b2.html</a>	20	0.31 %
10	<a href="https://studfiles.net/preview/4200960/page:4/">https://studfiles.net/preview/4200960/page:4/</a>	18	0.28 %

из базы данных RefBooks (0.00 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.17 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Усовершенствование технологии обогащения труднообогатимой полиметаллической руды с использованием метода комбинированной микрофлотации 5/16/2022 Salbayev University (Г_М_И)	11 (1) 0.17 %

из программы обмена базами данных (0.00 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (9.22 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://leksijs.com/4x61b2.html">https://leksijs.com/4x61b2.html</a>	202 (3) 3.16 %
2	<a href="http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html">http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html</a>	167 (7) 2.61 %
3	<a href="https://studfiles.net/preview/4200960/page:4/">https://studfiles.net/preview/4200960/page:4/</a>	162 (3) 2.53 %
4	<a href="https://wiki2.org/ru/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8">https://wiki2.org/ru/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82_%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%91%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8</a>	45 (1) 0.70 %
5	<a href="http://www.teormach.ru/lect2.htm">http://www.teormach.ru/lect2.htm</a>	14 (1) 0.22 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИФНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---