



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника
ООП/ОПОП Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка алгоритма управления мобильного дефектоскопа на базе Kuka Youbot

УДК 621.865.5:620.179.1

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е92	Пыхов Егор Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОАР ИШИТР	Каранкевич Андрей Геннадьевич	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Шаманин Олег Максимович	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Поберезкина Екатерина Евгеньевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Киселев Александр Викторович	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Владеет физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем
ОПК(У)-3	Владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности
ОПК(У)-4	Готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по

	тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способен использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники
ПК(У)-2	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования
ПК(У)-3	Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий
ПК(У)-4	Способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск
ПК(У)-5	Способен проводить эксперименты на действующих макетах, образцах мехатронных и робототехнических систем по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств
ПК(У)-6	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем
ПК(У)-7	Готов участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок
ПК(У)-8	Способен внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
ПК(У)-9	Способен участвовать в качестве исполнителя в научно-исследовательских разработках новых робототехнических и мехатронных систем
ПК(У)-10	Готов участвовать в подготовке технико-экономического

	обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
ПК(У)-11	Способен производить расчёты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-12	Способен разрабатывать конструкторскую и проектную документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
ПК(У)-13	Готов участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	Способен проводить проверку технического состояния оборудования, обоснование экономической эффективности внедрения проектируемых модулей и подсистем мехатронных и робототехнических устройств, настройку системы управления и обработки информации с использованием соответствующих инструментальных средств



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мамонова Т.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Е92	Пыхов Егор Алексеевич

Тема работы:

Разработка алгоритма управления мобильного дефектоскопа на базе Kuka Youbot	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-87/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	04.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом проектирования является алгоритм управления роботом дефектоскопом.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор существующих решений в области роботизированной дефектоскопии. 2. Разработка структурной схемы и подбор оборудования. 3. Вывод кинематических уравнений платформы. 4. Разработка метода построения траектории. 5. Разработка алгоритма управления роботом-дефектоскопом.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема, блок-схемы алгоритмов.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Старший преподаватель ООД Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент	Доцент ОСГН Былкова Татьяна Васильевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОАР ИШИТР	Каранкевич Андрей Геннадьевич	к.т.н.		03.02.2023

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ОАР ИШИТР	Шаманин Олег Максимович	-		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е92	Пыхов Егор Алексеевич		03.02.2023

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
8E92	Пыхов Егор Алексеевич

Тема работы:

Разработка алгоритма управления мобильного дефектоскопа на базе Kuka Youbot

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	04.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОАР ИШИТР	Каранкевич Андрей Геннадьевич	к.т.н.		03.02.2023

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Шаманин Олег Максимович	-		03.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		03.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Пыхов Егор Алексеевич		03.02.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 77 страниц, 20 рисунков, 28 таблиц, список используемых источников из 29 наименований и приложение на 1 странице.

Ключевые слова: алгоритм управления, построение траектории, робот-дефектоскоп.

Объектом исследования является алгоритм управления для робота-дефектоскопа.

Цель работы – разработка алгоритма управления для робота-доставщика.

В процессе выполнения работы был проведен обзор аналогов, составлена структурная схема системы, подобрано оборудование. Выведены кинематические уравнения для мобильной платформы робота. Описан и реализован в виде программы на языке Python метод построения траектории для дефектоскопии по точкам. Разработан алгоритм управления. Была проведена оценка ресурсоэффективности и коммерческого потенциала проекта, был составлен план работ и произведена оценка стоимости выполнения различных исполнений проекта.

Была рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности в ходе разработки проекта.

Полученный алгоритм управления роботом-дефектоскопом может быть улучшен в дальнейшей работе в рамках магистерской диссертации за счет проектирования нового прототипа робота и внедрения дополнительных алгоритмов.

Содержание

Введение.....	11
1 Обзор существующих решений.....	12
2 Проектирование системы.....	18
2.1 Описание.....	18
2.2 Разработка структурной схемы.....	19
2.2 Выбор элементов системы.....	21
2.2.1 Выбор камеры.....	21
2.2.2 Выбор лазерного дальномера.....	22
2.2.3 Выбор УЗ дефектоскопа.....	23
3.1 Вывод кинематических уравнений мобильной платформы.....	24
3.2 Выбор технологии для построения траектории.....	28
3.3 Описание предлагаемого метода построения траектории.....	30
4 Разработка алгоритма управления.....	34
4.1 Разработка дерева вызова процедур.....	34
4.2 Разработка алгоритма построения траектории.....	36
4.3 Разработка алгоритма дефектоскопии.....	38
4.4 Разработка алгоритма движения мобильной платформы.....	40
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	43
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	46
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	47
5.4 Бюджет научно-технического исследования.....	54
5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	57
6. Социальная ответственность.....	63
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	63
6.2 Производственная безопасность.....	64
6.2.2 Повышенный уровень шума.....	66

6.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	68
6.2.4 Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	68
6.3 Экологическая безопасность.....	69
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
6.5 Вывод по главе	72
Заключение	73
Список используемых источников.....	74
Приложение А (рекомендуемое) Листинг программы	77

Введение

Роботы-дефектоскопы являются одними из важных инструментов в современной промышленности, где широко используются различные виды машин и оборудования. Дефектоскопам возможно быстро и эффективно обнаруживать дефекты на поверхностях различных материалов. Актуальность темы изучения роботов-дефектоскопов заключается в их широком применении в самых различных отраслях промышленности, начиная от автомобильной и авиационной и заканчивая промышленными комплексами и энергетическими объектами. Такие роботы могут использоваться для дефектоскопии различной труднодоступности объектов, таких как трубопроводы, газопроводы, мосты, здания, авиалайнеры, космические корабли и другие объекты. Это позволяет выявлять незаметные дефекты с высокой точностью, что в свою очередь ведет к уменьшению затрат на обслуживание оборудования. Также необходимо отметить, что использование роботов-дефектоскопов является более безопасным вариантом обследования объектов, так как они могут работать в технологических условиях, которые для человека могут быть опасными. В свете столь широких возможностей применения роботов-дефектоскопов, их усовершенствование и разработка новых методов имеет высокий спрос среди крупных компаний.

Целью данной работы является разработка алгоритма управления мобильным дефектоскопом.

1 Обзор существующих решений

Рассмотрим существующие прототипы и концепты роботов для диагностики. Особый интерес представляют конструкционные особенности и автономность.

Первый на обзоре - диагностический комплекс на гусеничном ходу внутритрубного назначения [2]. Конструкция предполагает движение только внутри труб с возможностью настройки удаленности траков от оси, что предполагает широкую применимость в трубах различных диаметров. Питание осуществляется от кабеля. Плюс такого питания заключается в возможности вытянуть робота из трубопровода в случае выхода из строя. Минус заключается в том, что с увеличением от удаленности исследуемой поверхности от точки входа увеличивается и необходимая длина кабеля.

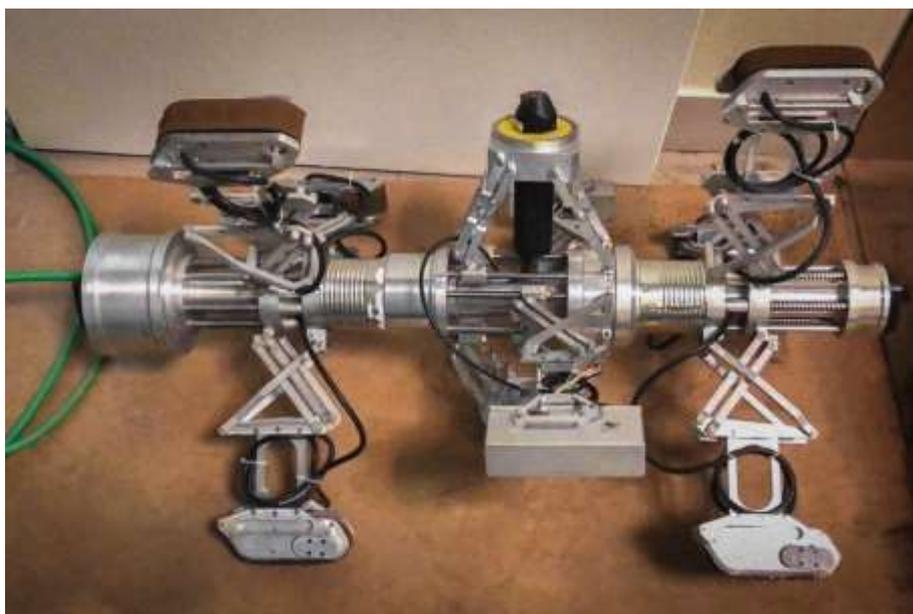


Рисунок 2 - Робот-дефектоскоп «Гидролекс»



Рисунок 3 – Дефектоскоп-сканнер А2072

Робот обладает WiFi модулем, оснащен магнитными колесами. В отличие от предыдущего робота, А2072 оснащен LiFe аккумуляторами, обеспечивающими до 8 часов автономной работы. Обладает относительно небольшими габаритами и область работы ограничена только минимальным диаметром трубы. А магнитные колеса с усилием отрыва 60кг позволят исследовать трубы любых размеров. За исключением труб из немагнитных материалов [1].



Рисунок 4 – ТДК-400-МЛ на гусеничном ходу

Данный робот требует питание по кабелю, обладает крупными размерами относительно двух предыдущих. Из-за внушительной массы для размещения в трубе необходим грузоподъемный механизм.



Рисунок 5 – Sigma P150

Минимальный размер труб для данного робота – 150 мм. Питается по кабелю. Оснащен автоматическим механизмом намотки кабеля,

синхронизированным с движениями робота. Обладает защитой от опрокидывания.



Рисунок 6 – Дефектоскоп-сканнер АВТОКОН

Данный робот отличается от всех предыдущих тем, что дефектоскопия проводится с внешней стороны трубы. Оснащен магнитными колесами. Пригоден для большого диапазона диаметров исследуемых труб [1].

Представим обзорные данные в виде сравнительной таблицы:

Таблица 1 – Сравнение роботов-дефектоскопов

Робот-Дефектоскоп	Расположение	Конкурентные преимущества	Выявленные недостатки
Гидролекс	внутреннее	Относительно небольшой вес Изменяемый диапазон рабочего диаметра	Отсутствие автономности
A2072	внутреннее\внешнее	Возможность использования на любых магнитных поверхностях. Не только труб. Автономность. Компактный размер. Сухой контакт	Проблематично достать робота из труднодоступного места в случае выхода из строя
ТДК-400-МЛ	внутреннее	Без явных преимуществ	Масса, габариты Отсутствие автономности
P150	внутреннее	Компактный размер. Применимость в других сферах	Отсутствие автономности
АВТОКОН	внешнее	Автономность	Габариты. Влажный точечный контакт требует перевозки смазки.

По результатам сравнения существующих аналогов сделаны следующие выводы: Для сохранения компактности следует использовать ультразвуковой датчик с сухим контактом, что также расширит области применения.

Автономность выбранной платформы и наличие манипулятора позволит проектируемой системе оставаться конкурентной в сравнении с аналогами. И применимой не только для дефектоскопии труб, но и других поверхностей.

Выявленные минусы разрабатываемой системы – мобильная платформа робота пригодна только для передвижения по ровным поверхностям, время автономной работы от аккумулятора составляет полчаса. Для увеличения области применения, например, вне помещений, возможно рассмотреть ее модификацию в качестве отдельной работы.

2 Проектирование системы

2.1 Описание

В данной дипломной работе рассматривается мобильный робот Kuka Youbot в качестве прототипа робота-дефектоскопа и разрабатывается алгоритм управления. Полученные результаты позволят определить возможности и ограничения данной модели робота-дефектоскопа, а также дать рекомендации по дальнейшему усовершенствованию и применению в различных отраслях промышленности.

Предлагается проводить дефектоскопию сварных швов на трубах в труднодоступных местах. Чтобы робот был пригоден к выполнению данной задачи, требуется оснастить его камерой, лазерным дальномером, ультразвуковым дефектоскопом, головку которого следует закрепить в захвате манипулятора, предполагается использование подпружиненной каретки, для более плотного прилегания датчика к поверхности трубы. В данной работе не разрабатывается конструкция крепления датчика, крепления камеры и лазерного дальномера. Дефектоскоп, камера и дальномер используются как готовые модули с подключением по USB.



Рисунок 1 – Мобильный робот Kuka Youbot

2.2 Разработка структурной схемы

Учитывая специфику системы, описанной выше, робот должен быть оснащен камерой, для предоставления изображений оператору, по которым он сможет ориентироваться во время проведения работ. Информация с камеры должна поступать на бортовой компьютер робота и пересылаться на компьютер оператора.

Для построения траектории в алгоритме, упрощающем процесс дефектоскопии, робота следует оснастить лазерным дальномером с выводом информации по USB. Информация с дальномера будет записываться в массив, по которому, в последствии, будет построена траектория движения. Обработку массива точек следует производить на бортовом компьютере робота. Также требуется подсчет СКО, отправка и вывод на экране компьютера оператора для оценки качества построенной траектории. Дефектоскоп также должен подключаться по USB, для предоставления данных по процессу дефектоскопии оператору.

Управление роботом следует осуществить удаленно через компьютер оператора. Для отчетности требуется сохранение данных с дефектоскопа. Управление движением следует осуществить в понятном для оператора виде – кнопок направлений движения. В таком случае роботу будут отсылаться лишь направления и требуемые скорости, а также команды о запуске функций. Дальнейшие процессы регулирования скоростей должны происходить на нижнем уровне робота.

Получившаяся структура системы показана на рисунке 7.

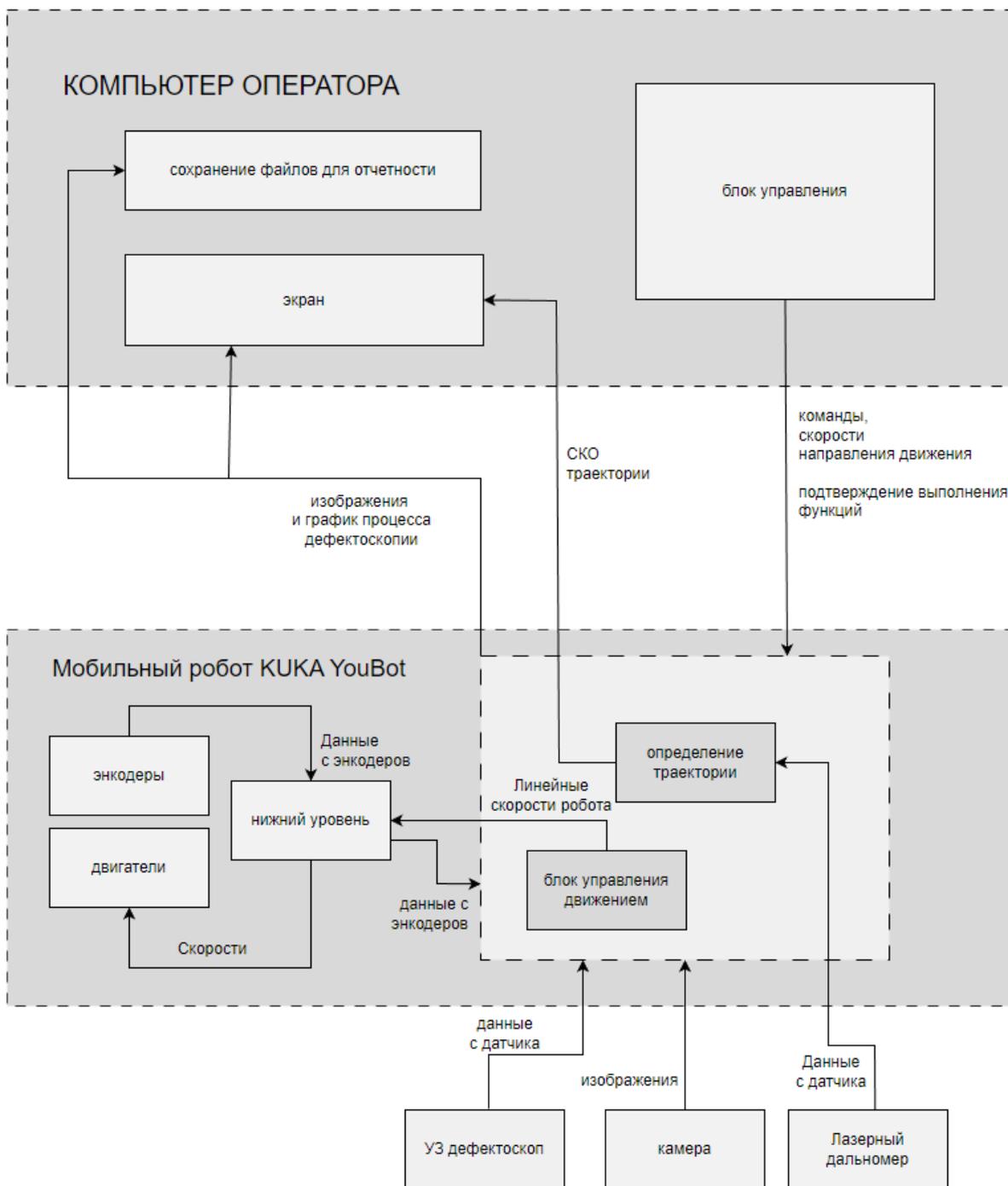


Рисунок 7 – Структурная схема системы

2.2 Выбор элементов системы

2.2.1 Выбор камеры

Камера в данной системе предназначена для проведения удаленных работ в труднодоступных местах. Фактором выбора камеры является частота кадров, разрешение и скорость передачи данных и интерфейс, а также габариты. В результате обзора предоставленных на рынке продуктов, были выделены следующие камеры, предоставленные в таблице.

Таблица 2 – Характеристики камер

Наименование	Prestigio Solutions 13MP	Creative Live! Cam SYNC V2	Logitech HD Webcam C270	Oklick OK-C8852
Разрешение, пикс.	3840 * 2160	1920 * 1080	1280 * 720	640 * 480
МП матрицы	13	2	3	0.3
Частота кадров	30	30	30	30
Интерфейс	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0
Габариты, мм	116*55*48	83*60*58	73*32*67	90 * 70 * 110
Цена, Руб.	9499	3999	2300	550

Все предоставленные камеры удовлетворяют требованиям. Камера Oklick обладает наименьшей ценой, но при этом также обладает наименьшим разрешением и относительно большими габаритами. Было решено остановить выбор на камере от Logitech, т.к. она обладает оптимальным разрешением и габаритами, а также демократичной ценой.

2.2.2 Выбор лазерного дальномера

Лазерный дальномер в проектируемой системе используется для построения облака точек траектории, по которым будет вычислена траектория для проведения дефектоскопии. Фактором выбора являются минимальное расстояние, точность, считывание данных по USB, габариты и цена. В результате обзора рынка лазерных дальномеров была составлена таблица характеристик.

Таблица 3 – характеристики дальномеров

Наименование	НОТО smart laser	Xiaomi AtuMan	LS-P	Xiaomi Mijia Smart Laser
Мин.Расст-е.	5 см	3 см	5 см	5 см
Точность	2 мм	2 мм	2 мм	2 мм
USB data	Нет	Нет	Нет	Да
Габариты	75*20*14	96*26*13	86*22*11	80*35*21
Цена	1940	2180	2490	2900

Решено выбрать дальномер Xiaomi Mijia, из-за средних размеров, не слишком высокой цены и возможности считывания данных по USB.

2.2.3 Выбор УЗ дефектоскопа

Ультразвуковой дефектоскоп в данной работе используется по прямому назначению. Фактором выбора дефектоскопа является габариты, цена, подключение по USB, сухое пятно контакта. В результате обзора рынка дефектоскопов, были выделены следующие изделия.

Таблица 4 – Характеристики дефектоскопов

Наименование	A1212- мастер mini	USM GO+	Mantis	УСД-20
Габариты мм	161*70*24	175*111*50	311*88*220	155*65*28
USB покл.	Да	Да	Да	Да
Сухой контакт	Да	Да	Да	Да
Цена, руб.	270 000	300 000	500 000	180 000

По результатам обзора дефектоскопов решено выбрать дефектоскоп Российского производства УСД-20 [3], обладающего наименьшими габаритами, ценой, сухим контактом, а также USB-C.

3.1 Вывод кинематических уравнений мобильной платформы

Мобильная платформа оснащена четырьмя независимыми всенаправленными механум-колесами. Для описания кинематики следует рассматривать вклад каждого колеса в проекции линейных скоростей по осям и угловой скорости относительно геометрического центра платформы. Для расчета обязательно следует учитывать угол наклона роликов в колесе.

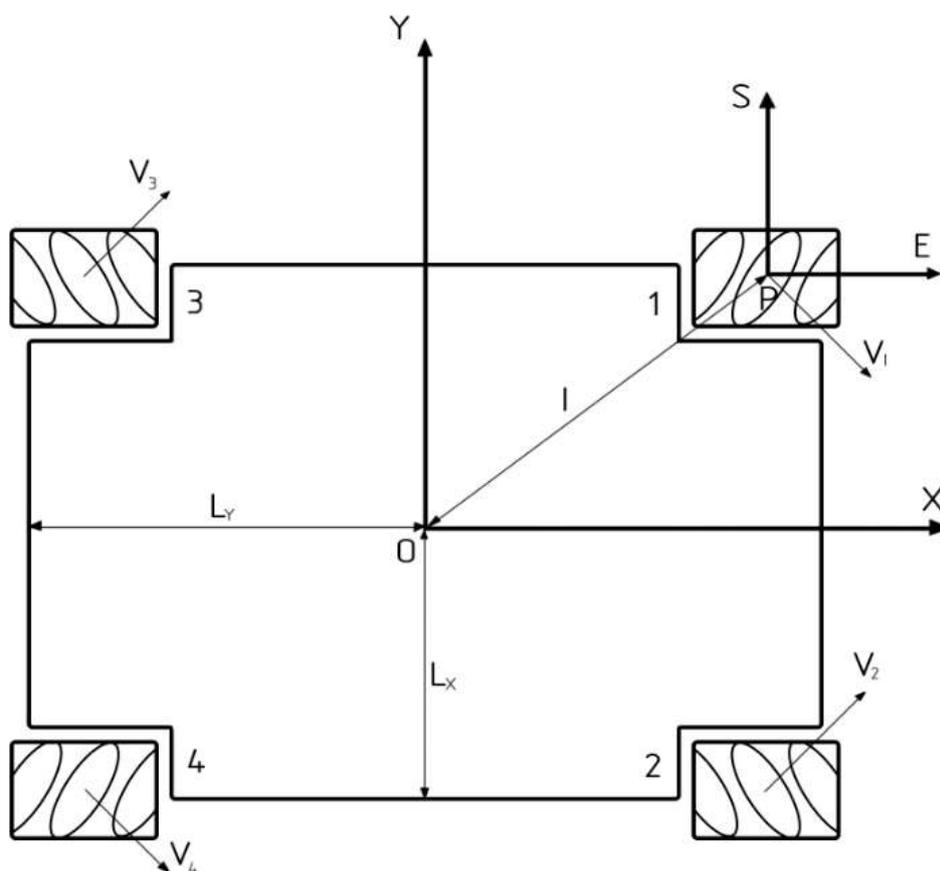


Рисунок 8 – Схема платформы с проекциями скоростей

Произведем расчеты для одного колеса

$$v_r = \frac{1}{\cos 45} r_r \omega \text{ [9]}, v = r \omega, \quad (1)$$

Где v_r – линейная скорость ролика ω -угловая скорость колеса

r_r - радиус ролика, r - радиус колеса v - линейная скорость колеса

С учетом уравнений 1. скорость колеса может быть описана

$$v_s = v_r \sin y, v_E = \omega r + v_r \cos y, \quad (2)$$

Где v_s, v_E – линейные скорости колеса вдоль осей S и E соответственно,

y – угол между осью E и роликом, ω -угловая скорость колеса, r -радиус колеса.

$$\begin{bmatrix} v_s \\ v_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin y \\ r & \cos y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ v_r \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \omega \\ v_r \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Матрица перехода от скоростей ролика к центру колеса [10]

$$T = \begin{bmatrix} 0 & \sin y \\ r & \cos y \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Выполним переход от центра колеса к центру робота, β – угол поворота колеса (угол оси S относительно Y). v_x, v_y - скорости колеса в XOY.

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s \\ v_e \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Поскольку колеса не поворачиваются, имеем следующий вид:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -l_y \\ 0 & 1 & l_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_R \end{bmatrix} = T' \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_R \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Где V_x, V_y, ω_R - линейные и угловая скорости робота.

Существует такая взаимосвязь, что

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_R \end{bmatrix} = T^+ \begin{bmatrix} \omega \\ v_r \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \omega \\ v_r \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_R \end{bmatrix}, [11] \quad (7)$$

Учитывая, что $l_x = l \sin a, l_y = l \cos a$

Имеем:

$$T = \frac{1}{-r} \begin{bmatrix} \frac{\cos(\beta-y)}{\sin y} & \frac{\sin(\beta-y)}{\sin y} & \frac{L\sin(-a+\beta-y)}{\sin \varphi} \\ -\frac{r \cos \beta}{\sin \beta} & -\frac{r \sin \beta}{\sin y} & \frac{L\sin(-a+1)r}{\sin y} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$T^+ = \frac{1}{Lr^2+1} \begin{bmatrix} 0.5M & -0.5N \\ -0.5M & 0.5N \\ \cos(a-\beta)lr & \cos(a-\beta+y)l \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Где

$$M = r(lr^2 \sin \beta + 2lr^2 \sin(-\beta + 2a) + 4 \sin(\beta))$$

$$N = r(lr^2 \cos(y - \beta + 2a) + lr^2 \cos(-y + \beta) + 2 \cos(-y + \beta))$$

Упростив выражение, получаем:

$$T = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(l_x + l_y) \\ 1 & 1 & (l_x + l_y) \\ 1 & 1 & -(l_x + l_y) \\ 1 & -1 & (l_x + l_y) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$T^+ = \frac{r}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ \frac{1}{(l_x+l_y)} & \frac{1}{(l_x+l_y)} & \frac{-1}{(l_x+l_y)} & \frac{1}{(l_x+l_y)} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

Теперь, подставляя в уравнения 6, получим:

Угловые скорости колес от требуемых скоростей робота:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{r} (v_x - v_y - (l_x + l_y)\omega) \\ \omega_2 = \frac{1}{r} (v_x + v_y + (l_x + l_y)\omega) \\ \omega_3 = \frac{1}{r} (v_x + v_y - (l_x + l_y)\omega) \\ \omega_4 = \frac{1}{r} (v_x - v_y + (l_x + l_y)\omega) \end{cases}, \quad (12)$$

Выведенные уравнения скоростей робота:

$$\begin{cases} v_x = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) * \frac{r}{4} \\ v_y = (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) * \frac{r}{4} \\ \omega_R = (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) * \frac{r}{4(l_x+l_y)} \end{cases} \quad (13)$$

Полученные уравнения проверены экспериментально на реальном роботе Кука Youbot в подвешенном состоянии (на опорах), результаты приведены в таблице ниже. Уравнения могут применяться для дальнейшего использования в проектировании системы.

Таблица 5 – экспериментальные данные

Направление	v_x м/с	v_y м/с	v_1 м/с	v_2 м/с	v_3 м/с	v_4 4 м/с
Вперед	2	0	1.98	1.98	1.98	1.98
Назад	-2	0	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98
Влево	0	2	-1.98	1.98	1.98	-1.98
Вправо	0	-2	1.98	-1.98	-1.98	1.98
Влево-вперед	2	2	0	3.96	3.96	0
Влево-вперед	2	-2	3.96	0	0	3.96

3.2 Выбор технологии для построения траектории

Для наиболее эффективной работы с роботом требуется подобрать подходящую технологию сбора информации об исследуемом объекте. Рассмотрим два популярных метода, подходящих для выполнения поставленной задачи – построение траектории с помощью компьютерного зрения или использование лазерного дальномера.

Т.к. камера обязательно должна быть установлена на захват, (иначе оператор не сможет управлять роботом), логично рассмотреть методы компьютерного зрения для построения траектории. Но, учитывая то, что камера установлена в количестве 1 шт. – процесс построения траектории будет представлять непростую задачу, невозможную без вспомогательных сенсоров или второй камеры. Даже если допустить возможность установки дополнительной камеры, с целью нахождения расстояния до исследуемого объекта и его геометрии, вряд ли удастся обеспечить достаточную точность, необходимую для проведения дефектоскопии.

Вместо этого, предлагается использовать лазерный дальномер, как раз предназначенный для задач по определению геометрии объектов. Подойдет датчик, с минимальным расстоянием не более 10 см. и как можно меньшей погрешностью, но не более 0.5мм (требование определяется технологией проведения процесса дефектоскопии для УЗ датчиков, не допускающее проскока датчика вдоль траектории за шаг более чем на 2 мм). Ниже описана технология построения траектории.

С помощью лазерного дальномера предлагается проведение сбора расстояний от зафиксированной оси до исследуемого объекта (трубы), по полученным точкам, методом наименьших квадратов осуществляется подбор коэффициентов для функции параболы. Данный способ подходит, поскольку в допустимом приближении часть параболы совпадает с дугой исследуемой окружности. Использование такого способа предлагается для оптимизации использования вычислительных мощностей. Далее требуется получить

уравнение нормали к функции, направление которой, по технологии, должно совпадать с осью захвата манипулятора в каждой точке исследуемой траектории.

Таким образом, будут получены уравнения, описывающие траекторию движения захвата по исследуемой поверхности и ориентации захвата в каждой ее точке.

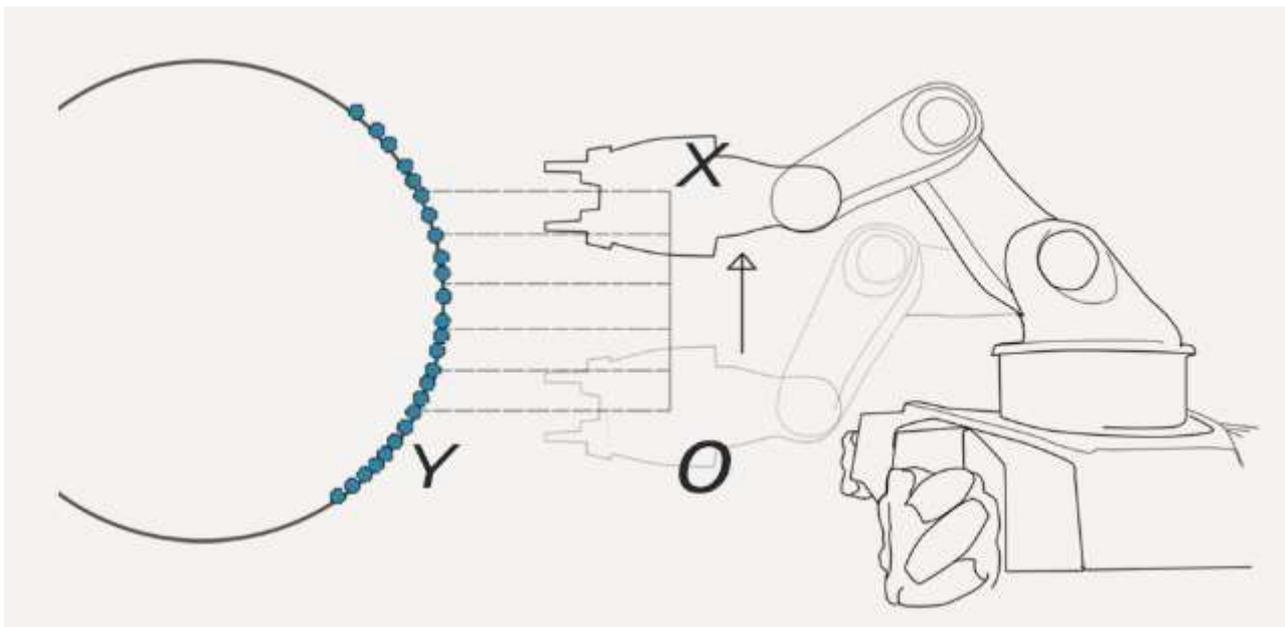


Рисунок 9 – Схематично, процесс замера расстояний

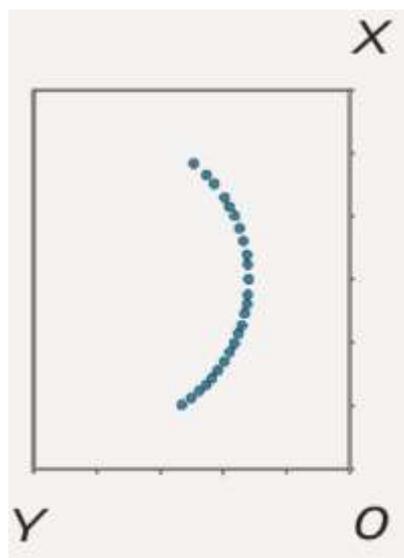


Рисунок 10 – Точки на плоскости

3.3 Описание предлагаемого метода построения траектории

Для описания алгоритма построения траектории следует отталкиваться от математики данного процесса. Можно подобрать такие коэффициенты для уравнения параболы, чтобы интересующий нас участок трубы приблизительно описывался уравнением параболы в некоторой окрестности точки минимума функции.

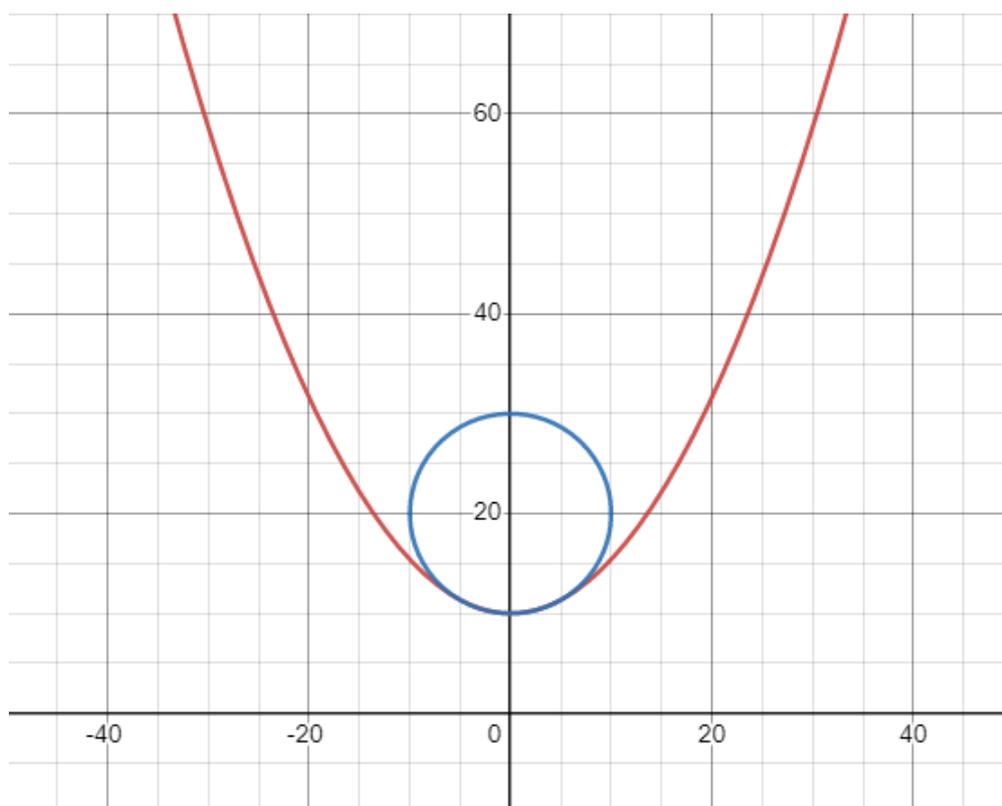


Рисунок 11 – Парабола, приблизительно совпадающая с окружностью

Далее, приняв параболу за интересующую нас траекторию, необходимо получить ее коэффициенты для общего случая. А также определить коэффициенты уравнения нормали. Поскольку захвату манипулятора необходимо перемещаться по траектории, чтобы его ось совпадала с нормалью. Из математического анализа [1] известно, что функция параболы в общем виде описывается следующим образом:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (14)$$

Имея в качестве исходных данных набор точек в координатах ХОУ, получаемых при помощи лазерного дальномера, реализуем нахождение коэффициентов параболы методом наименьших квадратов.

Таким, образом имеем функцию трех переменных, вида:

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (15)$$

Требуется найти минимальные значения функции, из математического анализа известно, что функция будет принимать наименьшие значения при частных производных, равных нулю.

$$\begin{cases} S'(a) = 0 \\ S'(b) = 0 \\ S'(c) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} S'(a) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \cdot x_i^2 = 0 \\ S'(b) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \cdot x_i = 0 \\ S'(c) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \cdot 1 = 0 \end{cases} \quad (17)$$

Раскрыв скобки, получим:

$$\begin{cases} (\sum_{i=1}^n x_i^4)a + (\sum_{i=1}^n x_i^3)b + (\sum_{i=1}^n x_i^2)c = (\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i) \\ (\sum_{i=1}^n x_i^3)a + (\sum_{i=1}^n x_i^2)b + (\sum_{i=1}^n x_i)c = (\sum_{i=1}^n x_i y_i) \\ (\sum_{i=1}^n x_i^2)a + (\sum_{i=1}^n x_i)b + (\sum_{i=1}^n 1)c = (\sum_{i=1}^n y_i) \end{cases} \quad (18)$$

Далее введем следующие обозначения, для большего удобства:

$$\sum_{i=1}^n x_i^4 = S, \sum_{i=1}^n x_i^3 = D, \sum_{i=1}^n x_i^2 = K, (\sum_{i=1}^n x_i) = M \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i = L, \sum_{i=1}^n x_i y_i = N, \sum_{i=1}^n y_i = P \quad (20)$$

Тогда система имеет вид:

$$\begin{cases} S * a + D * b + K * c = L \\ D * a + K * b + M * c = N \\ K * a + M * b + n * c = P \end{cases} \quad (21)$$

Далее решим полученную систему уравнений методом Крамера.[12]

Составим матрицу коэффициентов

$$A = \begin{pmatrix} S & D & K \\ D & K & M \\ K & M & n \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} L \\ N \\ P \end{pmatrix} \quad (22)$$

Получим определитель матрицы

$$\Delta = S * K * n + D * M * K + D * M * K - D * D * n - S * M * M - K * K * K \quad (23)$$

Далее, поочередно заменяя столбцы матрицы A на элементы матрицы B, найдем вспомогательные определители.

$$\Delta_1 = L * K * n + D * M * P + K * N * M - P * K * K - M * M * L - D * N * n \quad (24)$$

$$\Delta_2 = S * N * n + L * M * K + K * P * D - K * N * K - P * M * S - L * D * n \quad (25)$$

$$\Delta_3 = S * K * P + D * N * K + L * D * M - P * D * D - M * N * S - K * K * L \quad (26)$$

Согласно методу Крамера [12], a, b и c, вычисляются следующим образом

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad (27)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad (28)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} \quad (29)$$

По итогам данных вычислений, получаем функцию, описывающую траекторию движения, в некоторой окрестности минимума.

$$\tilde{y} = ax^2 + bx + c \quad (30)$$

Зная коэффициенты, можно посчитать среднеквадратичное отклонение, по формуле ниже, для вывода ошибки оператору работа.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y - \tilde{y})^2}{n}} \quad (31)$$

Из курса математического анализа известно уравнение нормали [1]

$$y_n = y(x_0) - \frac{1}{y'(x_0)} \cdot (x - x_0) \quad (32)$$

Для нашего случая

$$y_n = (ax_0^2 + bx_0 + c) - \frac{1}{2ax_0 + b} \cdot (x - x_0) \quad (33)$$

Где x_0 -точка пересечения нормали с параболой.

Предложенный метод реализован в виде программы, результаты приведены ниже.

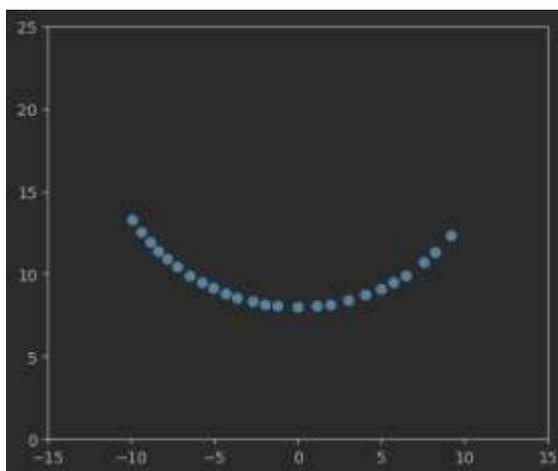


Рисунок 12 – Точки, принадлежащие окружности

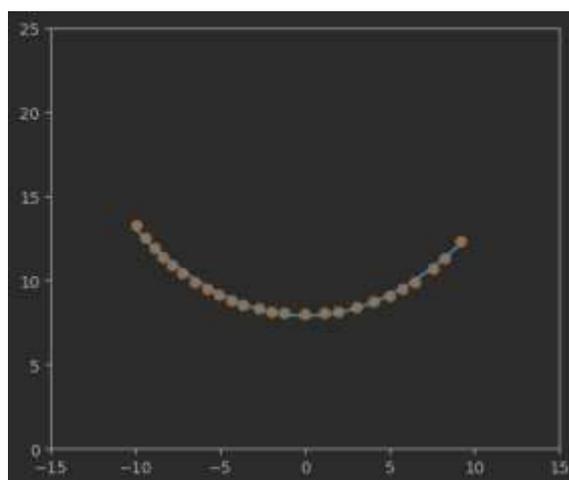


Рисунок 13 – Результат работы программы.

4 Разработка алгоритма управления

4.1 Разработка дерева вызова процедур

Чтобы разработать программное обеспечение необходимо определиться с функциями системы. При разработке сложных систем принято представлять функции в виде дерева вызова процедур. Согласно структурной и функциональной схемам разработки, робот должен выполнять следующие функции:

- работа с оператором;
- определение траектории для дефектоскопии;
- дефектоскопия;
- управление платформой;
- сбор данных с датчиков;
- контроль уровня напряжения.

Процедура работы с оператором должна обрабатывать вводимые данные, преобразовывать их и передавать в другие блоки программы. Помимо этого, также должны выводиться на экран изображения с камеры и графики при проведении дефектоскопии.

Для определения траектории для дефектоскопии необходим сбор данных с датчиков. Запись данных в массив, их обработка. Вычисление коэффициентов, описанным способом.

При проведении процедуры дефектоскопии требуется считывать данные с датчиков, преобразовывать их. Также на данном этапе требуется управлять манипулятором вдоль полученной траектории с соблюдением ориентации захвата.

Для выполнения функции управления платформой необходимо применить алгоритм движения, преобразующий понятный для оператора вид движения в направления движения колес илона, соответственно для каждого из направления движения.

Процедура контроля напряжения должна обрабатывать данные с цифрового вольтметра и сравнивать их с заданным в системе значением напряжения. Выполнять оповещение о низком заряде аккумуляторной батареи и принимать решение об отключении питания.

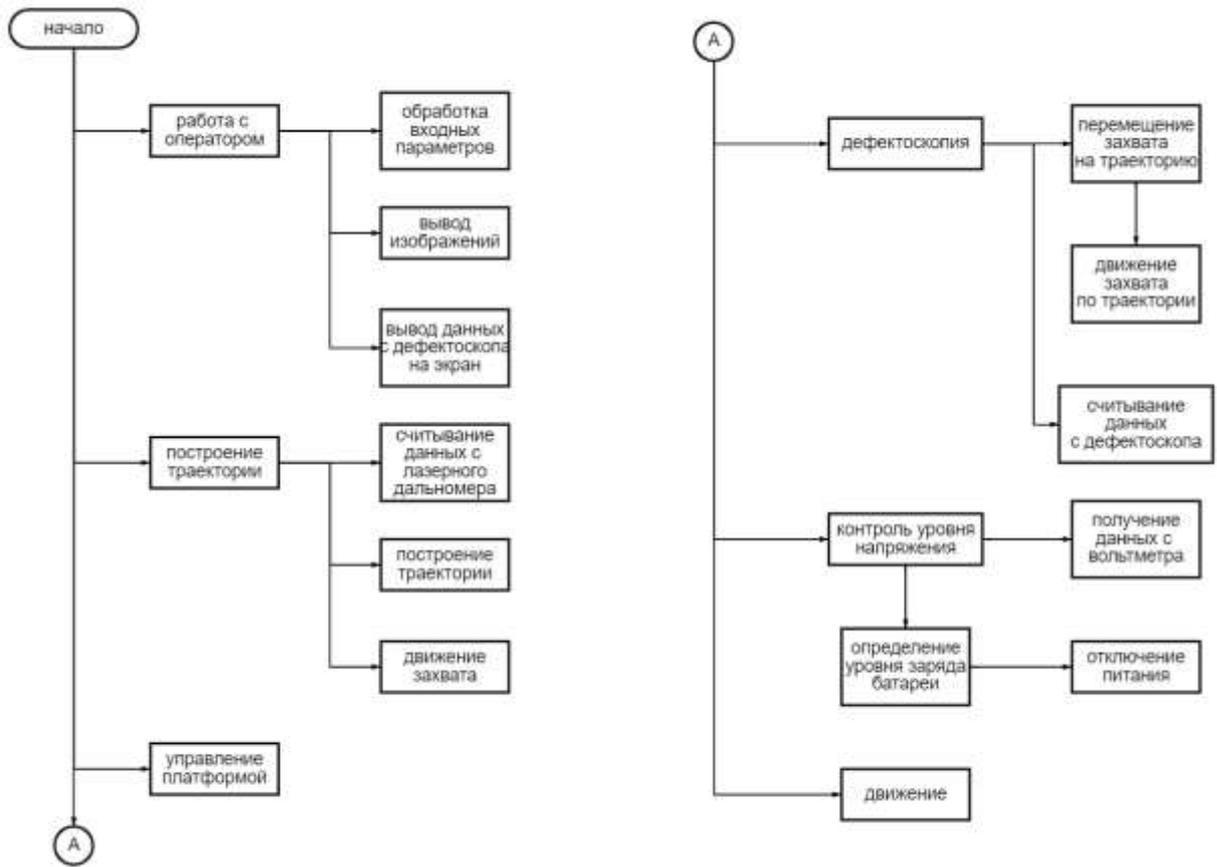


Рисунок 14 – Дерево вызова процедур

4.2 Разработка алгоритма построения траектории

Алгоритм построения траектории должен вызываться, когда манипулятор находится в рабочем положении – ориентирован перпендикулярно исследуемой трубе и расположен напротив одного из краев.

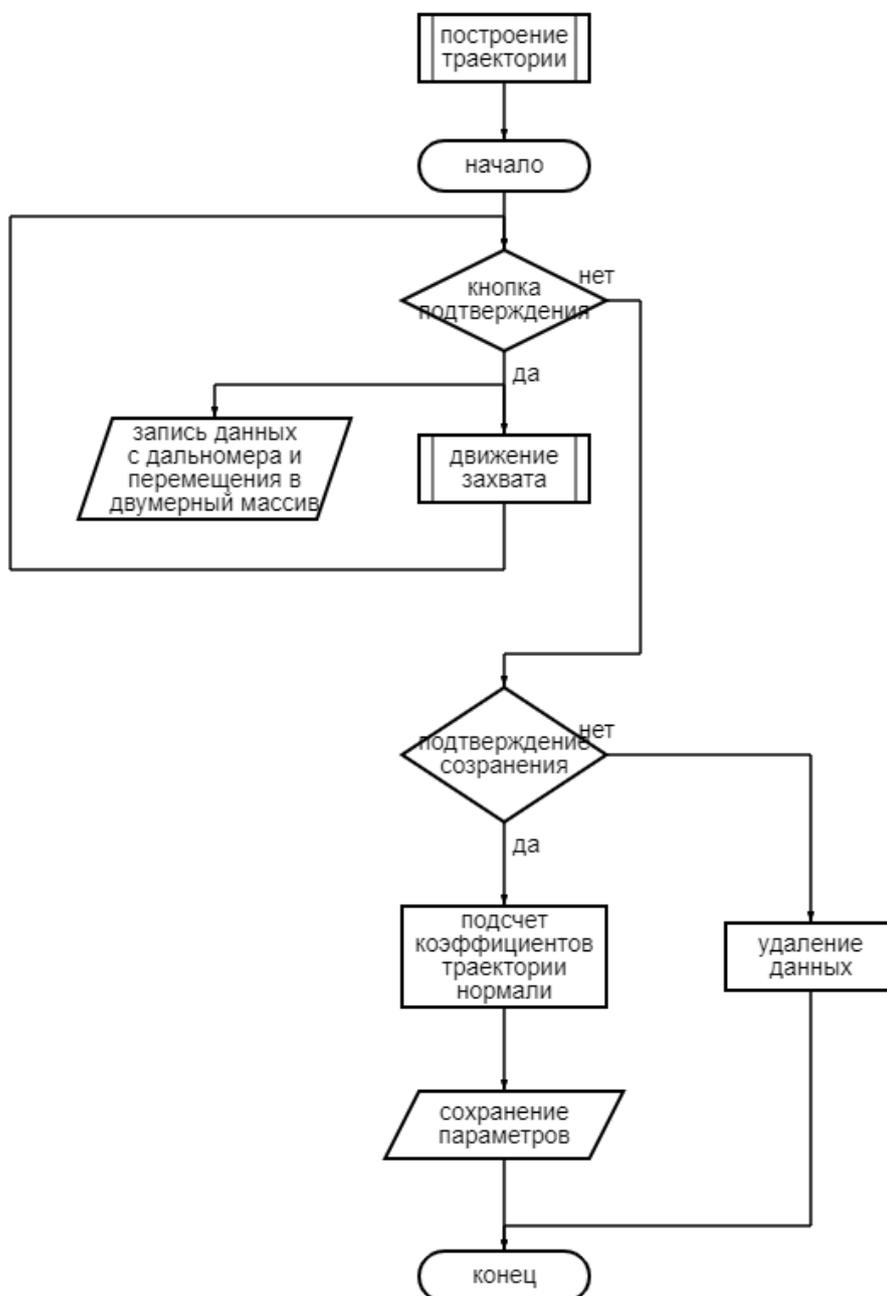


Рисунок 15 – Алгоритм построения траектории



Рисунок 16 – Подпрограмма движения захвата

4.3 Разработка алгоритма дефектоскопии

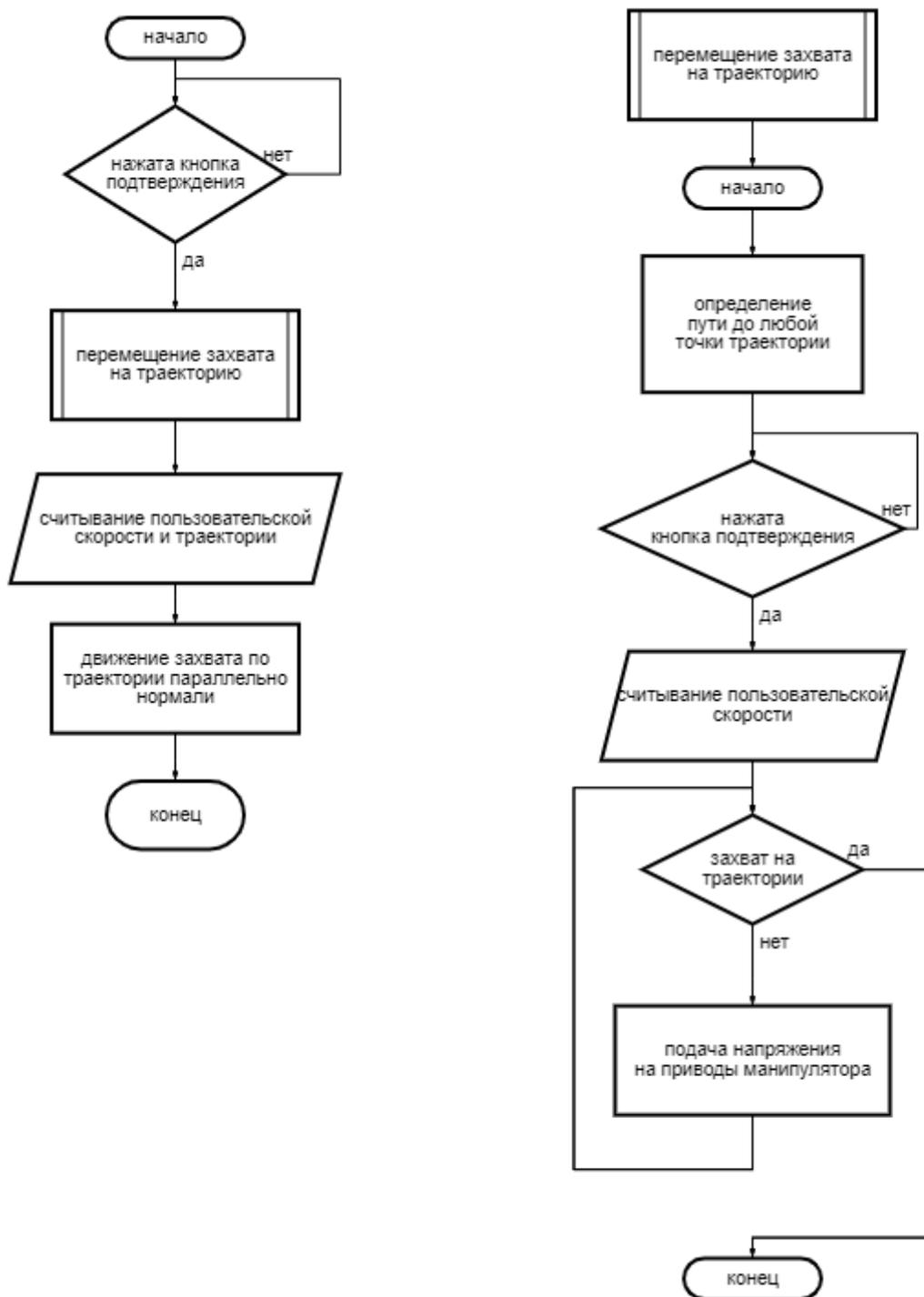


Рисунок 17 – Алгоритм дефектоскопии часть 1



Рисунок 18 – Алгоритм дефектоскопии, подпрограмма движения

4.4 Разработка алгоритма движения мобильной платформы

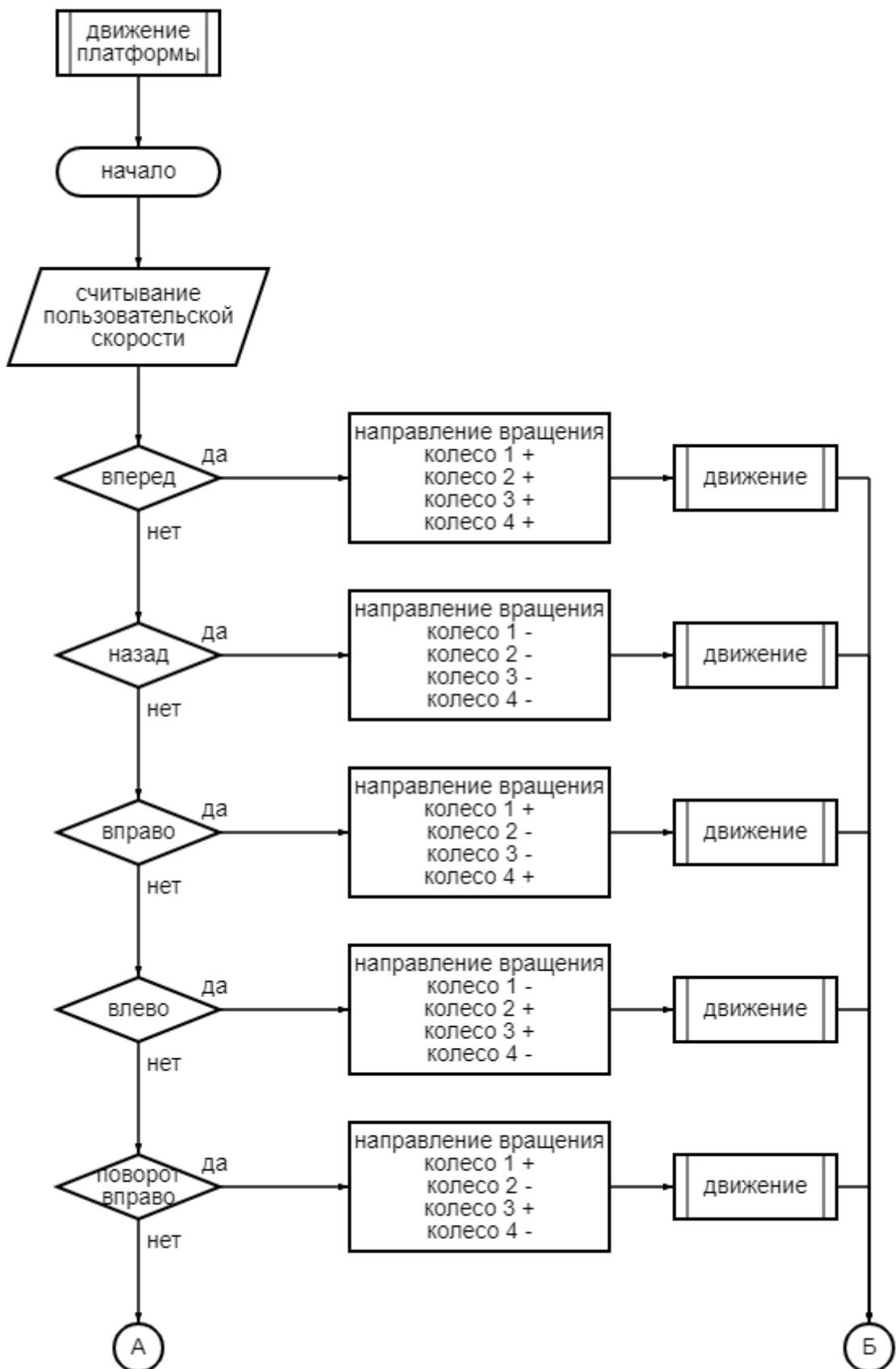


Рисунок 19 – Алгоритм управления мобильной платформой 1 часть

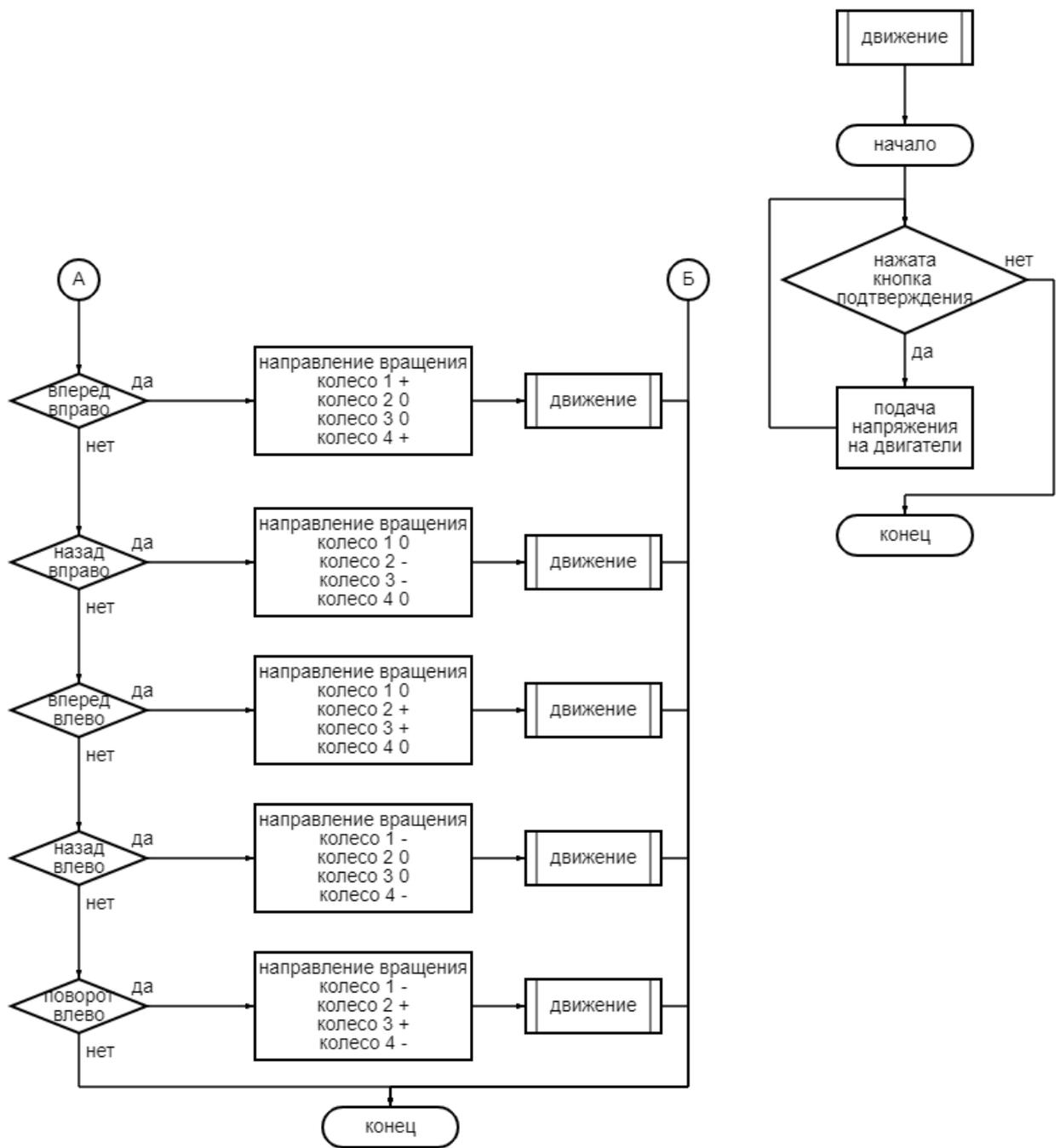


Рисунок 20 – Алгоритм управления мобильной платформой часть 2

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8E92	Пыхов Егор Алексеевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов определялась по средней рыночной стоимости, в соответствии с окладами сотрудников организации
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 3.5 руб кВт/ч, 30 % районный коэффициент, 20% коэффициент доплат и надбавок, 30% премиальный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определить возможные альтернативы проведения научных исследований
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Представить структуру работ в рамках НИ. Определить трудоемкость выполнения работ. Разработать график проведения НИ, составить план бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Провести оценку сравнительной эффективности НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИ	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон. наук		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Пыхов Егор Алексеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынок можно разделить на три сегмента, по характеру применения разработки:

- 1) Крупные Нефте\газодобывающие компании – коммерческие и некоммерческие разработки, практическое использование.
- 2) Средние компании, имеющие свое производство – практическое использование.
- 3) Научные и образовательные учреждения – некоммерческие разработки.

На основе целевых рынков можно составить карту сегментирования, представленную в таблице 4.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка

Группа потребителей	Использование продукции		Практическое использование
	Некоммерческая разработка	Коммерческая разработка	
ВУЗы и НИИ			
Крупные компании			
Средние компании			
ТПУ		Газпром	НИПИ Нефть

Согласно карте сегментирования рынка, можно сделать вывод об относительной свободе сегмента разработки роботов-дефектоскопов для служб доставки.

Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции технических и экономических критериев будет основываться на сравнении разрабатываемого алгоритма сегментации и двух конкурентов. В качестве конкурентов были выбраны робота-дефектоскопы «Гидролекс» (к1) [ССЫЛКА] и система зрения «Автокон» (к2) [ССЫЛКА]. В таблице 5 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных решений.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Работа на основе построенной траектории	0.08	3	1	1	0.24	0.08	0.08
Работа на основе конструкции	0.08	0	4	4	0	0.32	0.32
Требования к вычислительным мощностям	0.3	3	1	1	0.9	0.3	0.3
Способность обеспечивать работу в сложных условиях (труднодоступные или опасные пространства)	0.24	3	3	3	0.72	0.72	0.72
Точность работы системы роботизированной дефектоскопии	0.3	3	4	4	0.9	1.2	1.2
Итого	1	12	13	13	2.76	2.62	2.62

Разработка, представленная в данной работе, превосходит своих конкурентов в ряде технических параметров, при этом ее структура является более сложной, требует большего количества датчиков и систем, но также больших вычислительных ресурсов, что позволит осуществлять конкуренцию, рассмотренным технологиям.

SWOT-анализ

Проведем исследование внутренних и внешних факторов проекта с помощью методики SWOT-анализа. Представим интерактивные матрицы в таблицах 6 – 7.

Таблица 8 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

		Сильные стороны			Слабые стороны		
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	0	0	+	0	0	-
	В2	+	0	+	-	-	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и угроз

		Сильные стороны			Слабые стороны		
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	-	0	+	+	+	0
	У2	-	-	-	+	-	0

Составим матрицу SWOT-анализа (таблица 8).

Таблица 10 – Матрица SWOT анализа

	Сильные стороны: С1. Гибкость использования С2. Возможность модернизации С3. Высокая точность	Слабые стороны: Сл1. Низкий уровень приспособленности к тяжелым условиям Сл2. Отсутствие дополнительных
--	--	---

	работы	датчиков для анализа данных СлЗ. Недостаточная подготовленность для повсеместного внедрения
Возможности: В1: Инновационная инфраструктура ТПУ В2: Сотрудничество с разработчиками ПО	Использование инфраструктуры ТПУ и сотрудничество способствует получению высоких показателей качества работы системы.	Привлечение большего штата сотрудников.
Угрозы: У1: Наличие сильных конкурентов У2: Нехватка финансирования	Участие в соревнованиях и грантах.	Внедрение дополнительных подсистем в техническое решение для улучшения работы алгоритма управления.

5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив воспользуемся морфологическим подходом. В качестве вариантов исполнения примем:

- исполнение 1 – Алгоритм построения траектории по облаку точек с дальномера;
- исполнение 2 – Алгоритм построения траектории методами компьютерного зрения;

- исполнение 3 – Алгоритм построения траектории под контролем оператора.

Таблица 11 – Морфологическая матрица для системы определения поверхностей

	1	2	3
А. Основной датчик, считывания информации	Лазерный дальномер	RGB камера	RGB камера
Б. Вид считываемых данных	Облако точек	Трехмерный массив	Трехмерный массив
В. Метод анализа данных	Математические методы построения траектории	Методы компьютерного зрения, математические методы, нейросети	Анализ данных не производится
Г. Визуализация обработанных данных	График траектории	График траектории	отсутствует

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителей
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент
Выбор направления	2	Подбор и изучение материалов	Студент

исследований	3	Проведение патентных исследований	Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Вывод формул физических процессов	Студент
	6	Вывод математического метода построения траектории	Студент
	7	Разработка алгоритма построения траектории	Студент
	8	Разработка алгоритма управления роботом-дефектоскопом	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка блок-схемы алгоритма	Студент
	12	Проверка правильности оформления технической документации	Руководитель
Испытания	13	Испытания системы	Студент
Оформление отчета по НИР	14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула (2):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (34)$$

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

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (3):

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (35)$$

где T_p – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

График проведения научного исследования будет выполнен в виде диаграммы Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (4):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (36)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

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

Коэффициент календарности определяется по формуле (5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (37)$$

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

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

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

Для 2023 года коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-118} = 1.48. \quad (38)$$

Результаты расчетов показателей проведения научного исследования приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работы									Исполнители	Длительность работ T_p , раб.дн.			Длительность работ T_k , кал.дн.		
	t_{min} , чел-ни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	4	4	4	2.8	2.8	2.8	Руководитель, студент	1.4	1.4	1.4	2	2	2
Подбор и изучение материалов	4	4	4	8	8	8	5.6	5.6	5.6	Студент	5.6	5.6	5.6	9	9	9
Проведение патентных исследований	1	1	1	2	2	2	1.4	1.4	1.4	Студент	1.4	1.4	1.4	2	2	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1.4	1.4	1.4	Руководитель, студент	0.7	0.7	0.7	1	1	1
Вывод формул физических процессов	15	15	8	25	25	12	21	21	9.6	Студент	19	19	9.6	26	26	15
Вывод математического метода построения траектории	3	3	3	4	4	4	3.4	3.4	3.4	Студент	3.4	3.4	3.4	5	5	5
Разработка алгоритма построения траектории	2	2	2	3	3	3	2.4	2.4	2.4	Студент	2.4	2.4	2.4	4	4	4

Продолжение таблицы 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Разработка алгоритма управления роботом-дефектоскопом	2	2	2	3	3	3	2.4	2.4	2.4	Студент	2.4	2.4	2.4	4	4	4
Оценка эффективности полученных результатов	1	1	1	2	2	2	1.4	1.4	1.4	Руководитель	1.4	1.4	1.4	2	2	2
Определение целесообразности проведения ОКР	2	2	2	3	3	3	2.4	2.4	2.4	Руководитель	2.4	2.4	2.4	4	4	4
Разработка блок-схемы алгоритма	2	2	2	4	4	4	2.8	2.8	2.8	Студент	2.8	2.8	2.8	5	5	5
Проверка правильности оформления технической документации	4	4	4	6	6	6	4.8	4.8	4.8	Руководитель	4.8	4.8	4.8	8	8	8
Испытания системы	3	3	3	5	5	5	3.8	3.8	3.8	Студент	3.8	3.8	3.8	6	6	6
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	10	10	10	20	20	20	14	14	14	Студент	14	14	14	21	21	21
Итого										Руководитель	65.	65.	56.	99	99	88
										Студент	5	5	1			

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение ТЗ	Р, С	2	■											
2	Подбор и изучение материалов	С	9	■	■										
3	Проведение патентных исследований	С	2		■										
4	Календарное планирование работ по теме	Р, С	1		■										
5	Вывод формул физических процессов	С	26		■	■	■	■							
6	Вывод математического метода построения траектории	С	5					■	■						
7	Разработка алгоритма построения траектории	С	4					■	■						
8	Разработка алгоритма управления роботом-дефектоскопом	С	4						■	■					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Р	2							■	■				
10	Определение целесообразности проведения ОКР	Р	4							■	■	■			

Продолжение таблицы 12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

11	Разработка блок-схемы алгоритма	С	5								■				
12	Проверка правильности оформления технической документации	Р	8								■	■			
13	Испытания системы	С	6									■			
14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	С	21										■	■	■

■ - руководитель
■ - студент

5.4 Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат НИИ

Представим в таблице 15 расчет материальных затрат.

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Электроэнергия	кВт*ч	250	3.5	875
Интернет	Тариф*Месяц	2	242.5	485
Итого				1360

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Представим в таблице 16 расчет затрат на специальное оборудование.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, руб.		
	Ис. п. 1	Ис. 2	Ис. 3	Ис. 1	Ис. 2	Ис. 3	Ис.1	Ис.2	Ис.3
Персональный компьютер	1			250000			250000		
Мобильный робот Kuka Youbot	1			2000000			2000000		
УЗ-Дефектоскоп				300000					
RGB Камера	1	1	1	1000			1000	0	0
Лазерный дальномер	1	0	0	10000			0	10000	0
Лидар	0	0	1	200000			0	0	200000
Программное обеспечение (MS Windows)	1			16000			16000		
Итого							2561000	2551000	2751000

Основная заработная плата исполнителей

Данная статья расхода включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (6).

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} T_p, \quad (39)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. (7);

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m M}{F_d}, \quad (40)$$

где Z_m – месячных должностной оклад работника, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни -праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени -отпуск -невыход по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника (8):

$$Z_M = Z_{TC} (1 + k_{пр} + k_d) k_p, \quad (41)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0.3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, примем равным 0.2;

k_p – районный коэффициент, равный 1.3 в г. Томск.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , тыс.руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , тыс.руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.			$Z_{осн}$, руб.		
							Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	30	0.3	0.2	1.3	58,5	3057	10.7	10.7	10.7	32710	32710	32710
Студент	15	0.3	0.2	1.3	29.25	1528	56.9	56.9	47.5	86943	86943	72580
Итого $Z_{осн}$							Исп.1			119653		
							Исп.2			119653		
							Исп.3			105290		

Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (9):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} Z_{осн}, \quad (42)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30 %.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	32710	32710	32710
Студент	86943	86943	72580
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.3		
Итого	35895.5	35895.5	31587

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 18.

Таблица 20 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	1360	1360	1360
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	287000	486000	486000
3. Затраты по основной заработной плате	119653	119653	105290
4. Отчисления во внебюджетные фонды	35895.5	35895.5	31587
5. Бюджет затрат НТИ	443908.5	642908.5	624237

5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как (10):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (43)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{443908.5}{642908.5} = 0.69;$$

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{642908.5}{642908.5} = 1;$$

$$I_{финр}^{исп3} = \frac{624237}{642908.5} = 0.97.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле (11):

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (44)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 19.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.Требования к вычислительным мощностям	0.2	3	1	1
2.Способность обеспечивать работы в сложных условиях	0.2	2	4	3

Продолжение таблицы 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

3.Точность работы системы	0.4	2	4	4
4.Работа на основе построенной траектории	0.1	4	1	1
5.Работа на основе данных с лидара	0.1	0	4	4
Итого	1	11	14	13

$$I_{p-исп1} = 3 * 0.2 + 2 * 0.2 + 2 * 0.4 + 4 * 0.1 = 2.2;$$

$$I_{p-исп2} = 1 * 0.2 + 4 * 0.2 + 4 * 0.4 + 1 * 0.1 + 4 * 0.1 = 3.1;$$

$$I_{p-исп3} = 1 * 0.2 + 3 * 0.2 + 4 * 0.4 + 1 * 0.1 + 4 * 0.1 = 2.9.$$

Интегральные показатели эффективности вариантов исполнения (12):

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}}, \quad (45)$$

$$I_{исп.1} = \frac{2.2}{0.69} = 3.19;$$

$$I_{исп.2} = \frac{3.1}{1} = 3.1;$$

$$I_{исп.3} = \frac{2.9}{0.97} = 3;$$

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле (13):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.i}}, \quad (46)$$

Проведем сравнение относительно первого исполнения:

$$\mathcal{E}_{ср2} = \frac{3.19}{3.1} = 1.03;$$

$$\mathcal{E}_{ср3} = \frac{3.19}{3} = 1.06$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.69	1	0.97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2.2	3.1	3
3	Интегральный показатель эффективности	3.19	3.1	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1.03	1.06

Таким образом, сравнительная эффективность вариантов исполнения показала, что исполнение 2 превосходит текущий проект (исп.1) на 3 %, исполнение 3 превосходит текущий проект на 6 %. Это связано с тем, что для текущего проекта используется меньшее количество аппаратных и программных систем. Но за счет использования меньшего количества систем и более дешевых элементов интегральный финансовый показатель текущего исполнения ниже показателей исполнений 2 и 3, что показывает более низкую стоимость его реализации.

На основании данных показателей можно сделать вывод о том, что данный научно-исследовательский проект в рамках исполнения 1 имеет достаточно высокую ресурсоэффективность в сравнении с двумя иными исполнениями.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа 8Е92		ФИО Пыхов Егор Алексеевич	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ДЕФЕКТОСКОПА НА БАЗЕ КУКА YUUBOT	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: Алгоритм управления мобильным дефектоскопом ___ на базе Kuka Youbot Область применения: Робототехника, Дефектоскопия Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения: (6 * 7)м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Персональный компьютер, мобильный робот Kuka Youbot Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Управление мобильным роботом Kuka Youbot.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» ГОСТ 22269-76 «Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» ГОСТ Р 60.0.2.1-2016 . Роботы и робототехнические устройства. Общие требования по безопасности;</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Обоснование мероприятий по снижению воздействия 	<p>Вредные факторы: - повышенная температура воздуха рабочей зоны; - повышенные уровни шума - повышенный уровень общей вибрации - отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения. Опасные факторы: - факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник.</p>

	Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: Соблюдение техники безопасности и распорядка дня на рабочем месте, использование защитных перчаток.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Воздействие на селитебную зону: негативное воздействие на зону при неправильной утилизации компонентов робота и компьютера Воздействие на литосферу: твердые отходы при изготовлении или утилизации составных элементов робота и компьютера Воздействие на гидросферу: отходы, попавшие в сточные воды при изготовлении или утилизации составных частей робота и компьютера Воздействие на атмосферу: выбросы при изготовлении или утилизации составных элементов робота и компьютера
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	Возможные ЧС: - Пожар - Землетрясения Наиболее типичная ЧС: Пожар, причина - короткое замыкание
Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком	17.02.2023

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Пыхов Егор Алексеевич		

6. Социальная ответственность

Область применения алгоритма управления роботом-дефектоскопом – робототехника, дефектоскопия.

Данный алгоритм разрабатывается для робота-дефектоскопа и позволит осуществлять дефектоскопию газопроводов.

Потенциальными потребителями данного алгоритма являются организации и компании, занимающиеся добычей и переработкой нефти и газа, а также для компаний, занимающихся разработкой роботов.

Рабочей зоной является лаборатория (офис), площадью 42 м². Работа осуществляется за персональным компьютером, расположенным в рабочей зоне. Рабочим процессом в лаборатории является разработка алгоритма управления роботом-дефектоскопом.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовое регулирование трудовых отношений в Российской Федерации выполняется согласно Трудовому кодексу Российской Федерации [1].

Согласно Трудовому кодексу, для проведения работы по научно-исследовательскому проекту установлена шестидневная рабочая неделя с одним выходным днем. Рабочее время с понедельника по пятницу с 15:00 по 20:00, в субботу с 10:00 по 18:00, обеденный перерыв 13:00-14:00. Рабочее время перенесено в будние дни во вторую половину дня в связи с тем, что один из исполнителей проекта является студентом и совмещает работу над проектом с учебой в университете. Таким образом, продолжительность рабочего времени равна 32 часам в неделю.

В соответствии с [2] рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. Согласно [3] взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием, а также возможность

ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Выполнение требований на рабочем месте в процессе разработки отражено в таблице 1.

Таблица 24 – Требования к рабочему месту

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	655 мм (630 мм – для женщин, 680 мм – для мужчин)	700 мм
Высота рабочего сиденья	420 мм (400 мм – для женщин, 430 мм – для мужчин)	420 мм
Размещение средств отображения информации, требующей точного и быстрого считывания	В вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости	Не соответствует

В ГОСТ Р 60.0.2.1-2016 [4] указаны требования по безопасности к конструкции робота, находящегося в рабочей зоне, требования по обеспечению безопасности персонала, а также регламент проверки характеристик робота, влияющих на безопасность.

6.2 Производственная безопасность

Условия труда, в которых производится разработка алгоритма управления, в том числе и устройство, на котором производится работа, могут вызывать появление вредных и опасных факторов производства.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [5] при разработке алгоритма управления могут возникнуть следующие факторы, которые представлены в таблице 2.

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные производственные факторы в лаборатории

Факторы	Нормативные документы
Вредные факторы	
Повышенная температура воздуха рабочей зоны	СП 1.2.3685-2021. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
Повышенный уровень шума	СП 51.13330.2011. Защита от шума
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52. 13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Опасные факторы	
Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

6.2.1 Повышенная температура воздуха рабочей зоны

Повышенная температура воздуха при продолжительном воздействии негативно сказывается на работоспособности и самочувствии работника. Повышает утомляемость и снижает сосредоточенность.

На рабочих местах должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата. Обеспечение оптимальных и допустимых норм параметров микроклимата регламентируется исходя из требований СанПиН 1.2.3685-21 [], приведены в таблице 4.

Таблица 26 – Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в лаборатории

Период года	Категория помещения или наименование	Температура воздуха, °С		Температура результирующая, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодный	Помещения, в которых люди заняты умственным трудом	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60-30	0,2	0,3
Теплый		23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65-30	0,15	0,25

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть приняты следующие меры: организация вентиляции помещений, кондиционирование воздуха, отопление.

6.2.2 Повышенный уровень шума

Источниками шума непосредственно в рабочей зоне являются система охлаждения и видеокарта ПК.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и

сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

В таблице 3 приведены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума для помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума [6].

В качестве мероприятий по снижению шума можно:

- Для снижения уровня шума, издаваемого персональным компьютером, необходимо регулярно производить чистку от пыли его системы охлаждения, замену термоинтерфейса и прочее техническое обслуживание
- увеличить поверхностную плотность полотна дверей между лабораторией и мастерской, плотно пригнать полотно к коробке, устранить щели между дверью и полом при помощи порога с уплотняющими прокладками или фартука из прорезиненной ткани или резины, а также применить уплотняющие прокладки в притворах дверей.

Таблица 27 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях лабораторий для проведения экспериментальных работ

Уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука L_A (эквивалентный уровень звука L_A экв), дБА	Максимальный уровень звука $L_{A\text{MAX}}$, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	90

6.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Освещение рабочего места, которое не удовлетворяет нормам может затруднять длительную работу так, как вызывает высокое напряжение глаз работников и способствует развитию нарушений зрения.

Нормы освещённости кабинетов, рабочих комнат, офисов и представительств указаны в СП 52. 13330.2016 «Естественное и искусственное освещение [8].

Регламентированные допустимые характеристики освещённости искусственным светом рабочих мест [9], при характеристике зрительных работ, описанных ранее, приведены в таблице 3.

Таблица 28 – Допустимые характеристики освещённости

Освещённость, лк		При системе общего освещения	Показатель дискомфорта, UGR, не более	Коэффициент пульсации освещённости, K_p , %, не более
При комбинированном освещении	В том числе от общего			
Всего	В том числе от общего			
400	200	200	25	20

В офисах, где используются персональные компьютеры, освещение должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Вдобавок, окна в офисе должны располагаться на севере или северо-востоке.

6.2.4 Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Травма, которую человек может получить в результате воздействия фактора на него имеет название поражение электрическим током.

При работе с компьютером и мобильным роботом существует опасность поражения электрическим током:

- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках (блоке питания);

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением.

Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие.

Мерами защиты от воздействия электрического тока согласно [7] являются основная изоляция, защитные оболочки, ограждения (временные или стационарные), барьеры, безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями, ограничение напряжения, применение сверхнизкого (малого) напряжения, выравнивание потенциалов, предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности, электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты.

6.3 Экологическая безопасность

Проектируемое решение разрабатывалось для применения на мобильном роботе с помощью персонального компьютера. Таким образом, предполагаемые источники загрязнения окружающей среды возникают в процессе изготовления и утилизации компонентов робота и компьютера.

Составные элементы робота и компьютера при утилизации относятся к разным классам опасности отходов:

- ртутные лампы, используемые в мониторах, относятся к I классу;
- платы и аккумуляторы, которые содержат свинец, кадмий или олово, относятся ко II классу опасности;
- трансформаторы и провода – к III классу;
- металлические и неметаллические детали практически безопасны, и им присвоена V степень опасности.

Процедура утилизации данных отходов должна быть проведена в соответствии с [11]. При этом одним из этапов является безопасное размещение отходов I-IV классов опасности на соответствующих полигонах или уничтожение, если захоронение отходов I-IV классов опасности угрожает здоровью и жизни людей, может нанести непоправимый вред окружающей среде.

При этом происходит негативное воздействие как на селитебную зону при неправильной утилизации компонентов робота и компьютера, так и на литосферу при изготовлении и утилизации составных элементов, а также на гидросферу в случае попадания отходов в сточные воды и атмосферу посредством выбросов при изготовлении и утилизации составных элементов робота и компьютера.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, а также ущерб здоровью человека или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности.

К наиболее вероятной ЧС при выполнении работ по разработке относится возникновение пожара.

Основные источники возникновения пожара:

- неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях;
- электрические приборы с дефектами;
- перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке.
- Таким образом, в соответствии с [12] возможный пожар по виду горючего материала имеет класс Е в связи с наличием электроустановок, находящихся под напряжением.

- Средствами обеспечения пожаробезопасности из требований пожарной безопасности [13] являются:
- огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании;
- системы автоматической пожарной сигнализации;
- средства организации эвакуации, в том числе технические.
- Мероприятиями, обеспечивающими пожаробезопасность, являются:
- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении;
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

6.5 Вывод по главе

В данной главе были рассмотрены основные источники возникновения опасных факторов при разработке и эксплуатации предлагаемого в ВКР алгоритма управления роботом-дефектоскопом. Проведен анализ данных факторов на соответствие нормам, устанавливаемым государственными стандартами. По возможности были предложены меры по минимизации влияния данных факторов на производственную безопасность.

Согласно пункту 1.1.13 [14] рабочая зона является помещением без повышенной опасности. Согласно «Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок» [15] персонал должен иметь первую группу по электробезопасности.

В связи с тем, что большую часть времени работник проводит сидя за компьютером, а также взаимодействует с мобильным роботом, можно присвоить категорию тяжести труда Ib, подразумевающую работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением.

В связи с наличием горючих материалов и веществ в рабочем помещении, ему можно присвоить категорию В по взрывопожарной и пожарной безопасности согласно [16].

Объекту можно присвоить 4 категорию в плане оказывающего негативное воздействие на окружающую среду по той причине, что на объекте планируется использование только оборудования для исследований.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты:

- проведен обзор существующих решений в области роботизированной дефектоскопии;
- была разработана структурная схема системы;
- произведен подбор оборудования;
- выведены кинематические уравнения движения мобильной платформы;
- был предложен и описан метод построения траектории для проведения дефектоскопии с помощью робота;
- разработан алгоритм управления роботом-дефектоскопом.

Список используемых источников

1. Habr Российские роботы для неразрушающего контроля: сайт – URL: <https://habr.com/ru/articles/566000/> (дата обращения 15.09.2022). – Текст:Электронный.
2. СПбГУ Инновационный робот-дефектоскоп инженеров СПбГУ: сайт – URL: <https://spbu.ru/news-events/novosti/innovacionnyy-robot-defektoskop-inzhenerov-spbgu-stanet-chastyu-povsednevnoy> (дата обращения 20.09.2022). – Текст:Электронный.
3. Эксперт Ультразвуковой дефектоскоп УСД-20: сайт – URL: <https://ntcexpert.ru/uc/ultrazvukovoi-defektoscop/2394-ultrazvukovoy-defektoscop-usd-20> (дата обращения 25.09.2022). – Текст:Электронный.
4. Эксперт Ультразвуковой дефектоскоп Mantis: сайт – URL: <https://ntcexpert.ru/uc/ultrazvukovoi-defektoscop/2361-ultrazvukovoy-defektoscop-mantis> (дата обращения 25.09.2022). – Текст:Электронный.
5. Эксперт Ультразвуковой дефектоскоп А1212 МАСТЕР: сайт – URL: <https://ntcexpert.ru/uc/ultrazvukovoi-defektoscop/576-ultrazvukovoj-defektoskop-a1212-master> (дата обращения 25.09.2022). – Текст:Электронный.
6. Я Маркет Дальномер Xiaomi Mijia: сайт – URL: <https://market.yandex.ru/product--dalnomer-xiaomi-mijia-smart-laser-rangefinder-mjgcjyd001qw/1756018808/сpec?сра=1&sku=101769469410> (дата обращения 27.09.2022). – Текст:Электронный.
7. Я Маркет Лазерный дальномер HOTO Smart: сайт – URL: <https://market.yandex.ru/product--lazernyi-dalnomer-hoto-smart-laser-measure-negru-qwcjy001-eu-30-m/1662629759?сра=1&sku=101595804328&nid=61099> (дата обращения 27.09.2022). – Текст:Электронный.
8. Я Маркет Лазерный дальномер Xiaomi Atuman: сайт – URL: <https://market.yandex.ru/product--lazernyi-dalnomer-xiaomi-atuman-duka-ls5-laser-range-finder-40-m/853201006/сpec?сра=1&sku=101203243791> (дата обращения 27.09.2022). – Текст:Электронный.

9. Баранова, Е. Ю. Кинематика шестиколесного механум-робота / Е. Ю. Баранова, В. Е. Павловский // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 13(177). – С. 147-152. – EDN VDOCFT.
10. Волынец, Р. Д. Кинематика всенаправленного колеса для транспортного устройства / Р. Д. Волынец, М. В. Корнейчук // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 27 ноября 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. – С. 198-201. – EDN RPPKSX.
11. Бондаренко, Ю. В. Линейная алгебра: алгебра матриц и системы линейных уравнений / Ю. В. Бондаренко, К. В. Чудинова. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. – 50 с. – EDN RJBREW.
12. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 29 с
13. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023)
14. ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя»
15. ГОСТ 22269-76 «Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования»
16. ГОСТ Р 60.0.2.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Общие требования по безопасности»
17. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

- 18.СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
- 19.ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 20.СП 52.13330.2016. «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
- 21.ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 22.Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
- 23.ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.
- 24.Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- 25.ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 26.ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
- 27.Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок".
- 28.СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приложение А
(Рекомендуемое)
Листинг программы

Листинг 1 – Программный код

```
1. import numpy as np
2. import matplotlib.pyplot as plt
3. import random
4. import math
5.
6. x = np.array([-9.96, -9.41, -8.89,-8.37,-7.86,-7.23,-6.51,-5.77,-5.08,-4.33,-3.64,-2.71,-1.97,-
  1.21,0,1.11,1.97,3.01,4.08,4.99,5.76,6.49,7.6,8.26, 9.21])
7. y = np.array([13.3 , 12.55, 11.94, 11.4,10.93,10.42, 9.92, 9.48, 9.13, 8.81, 8.57, 8.31, 8.16,
  8.06,8,8.05,8.16,8.38,8.72,9.09,9.47, 9.9,10.71,11.3,12.3])
8.
9. S = np.sum(np.power(x, 4))
10. D = np.sum(np.power(x, 3))
11. K = np.sum(np.power(x, 2))
12. M = np.sum(x)
13. L = np.sum(np.multiply(np.square(x), y))
14. N = np.sum(np.multiply(x, y))
15. P = np.sum(y)
16. n = len(y)
17.
18. DELTA = (S * K * n) + 2*(D * M * K) - (D * D * n) - (S * M * M) - (K * K * K)
19. DELTA
20.
21. DELTA_1 = (L * K * n) + (D * M * P) + (K * N * M) - (P * K * K) - (M * M * L) - (D * N * n)
22. DELTA_2 = (S * N * n) + (L * M * K) + (K * P * D) - (K * N * K) - (P * M * S) - (L * D * n)
23. DELTA_3 = (S * K * P) + (D * N * K) + (L * D * M) - (P * D * D) - (M * N * S) - (K * K * L)
24. print(DELTA_1, DELTA_2, DELTA_3)
25.
26. coef_a = DELTA_1 / DELTA
27. coef_b = DELTA_2 / DELTA
28. coef_c = DELTA_3 / DELTA
29. print(coef_a,coef_b,coef_c)
30.
31. para = coef_a * np.square(x) + coef_b * x + coef_c
32.
33. plt.xlim(-15, 15)
34. plt.ylim(0, 25)
35. ax = plt.gca()
36. ax.set_aspect('equal', adjustable='box')
37. plt.scatter(x,y)
38.
39. plt.xlim(-15, 15)
40. plt.ylim(0, 25)
41. ax = plt.gca()
42. ax.set_aspect('equal', adjustable='box')
43. plt.scatter(x,y)
44. plt.plot(x,para)
45. plt.scatter(x,y)
46. ratio = 1
47. plt.show()
```