



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 системы управления роботизированного электробайка				

УДК 004.415.2:629.326.2-026.661

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е92	Акилбаева Адеми Бекенкызы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Былкова Татьяна Васильевна	К.Э.Н.		

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Е92	Акилбаева Адеми Бекенкызы

Тема работы:

Разработка системы управления роботизированного электробайка	
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 <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 система управления роботизированного электробайка. Разработка должна затрагивать алгоритм автоматизированной балансировки.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <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 методов и решений в области балансировки 2. Разработка дерева вызова процедур 3. Разработка алгоритмов определения положения байка в пространстве 4. Разработка имитационной модели системы балансировки

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Дерево вызова процедур, блок-схемы алгоритмов
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	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Акилбаева Адеми Бекенкызы		03.02.2023

Содержание

Реферат	10
Введение.....	11
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	13
1 Обзор существующих решений в области систем балансировки и их применения в роботизированных байках	14
2 Проектирование системы управления	21
2.1 Эскизный проект	21
2.2 Разработка структурной схемы.....	22
2.3 Выбор компонентов	24
2.3.1 Расчет и выбор двигателя.....	24
2.3.2 Выбор микроконтроллера	27
2.3.3 Выбор драйвера управления двигателем.....	27
2.3.4 Выбор гироскопа и акселерометра.....	28
2.4 Разработка функциональной схемы	29
2.5 Разработка дерева вызова процедур.....	31
3 Разработка алгоритмов определения положения байка в пространстве	31
3.1 Описание работы гироскопа и акселерометра	31
3.2 Реализация алгоритмов калибровки гироскопа, расчета угла.....	37
3.3 Реализация методов	40
4 Разработка имитационной модели	43
4.1 3D-моделирование в среде Autodesk Fusion 360.....	43
4.2 Модель в среде SimMechanics Matlab	44
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	51
5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	54
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	55
5.4 Бюджет научно-технического исследования	62
5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	65
6 Социальная ответственность	71
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
6.2 Производственная безопасность	74
6.2.1 Повышенный уровень шума	74
6.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	75
6.2.3 Монотонность труда, вызывающая монотонию	76
6.2.4 Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	77
6.3 Экологическая безопасность.....	78
6.3.1 Защита литосферы.....	78
6.3.2 Защита атмосферы	78
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
Заключение	82
Список используемых источников.....	83
Приложение А (обязательное) Дерево вызова процедур.....	86

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 43 рисунка, 21 таблицу, 34 источника.

Ключевые слова: роботизированный электробайк, балансировка, система управления, алгоритм.

Объектом исследования является система управления роботизированного электробайка.

Цель работы – разработать алгоритм автоматизированной балансировки электробайка, являющийся основой системы управления.

В ходе выполнения работы был проведен аналитический обзор существующих решений в области балансировки, были выделены их ключевые особенности, достоинства и недостатки. На основании проведенного обзора были спроектированы структурная и функциональная схемы системы. В процессе исследования было установлено, что описать процесс автоматизированной балансировки затруднительно, поэтому было решено разработать дерево вызова процедур. На основании спроектированного дерева вызова процедур был разработан алгоритм для определения положения байка в пространстве. Данный алгоритм был реализован и протестирован. Для проверки алгоритмов балансировки была разработана 3D-модель, на основе которой собрана имитационная модель системы балансировки. В дальнейшем планируется проведение тестирования алгоритмов.

Введение

Согласно данным компании «TomTom» от 2021 [1] года одиннадцать городов России входят в рейтинг ста городов мира по уровню пробок. Так в Москве люди за год теряли до 140 часов, проводя время в пробках, в Санкт-Петербурге – 115, Новосибирске – 110, а в Томске – 73 часа [2]. В связи с этим за последние пять лет популярность таких средств передвижения высокой маневренности как мотоциклы в России выросла на 34% [3]. Электробайки представляют собой более экономичный и экологичный вариант транспорта по сравнению с автомобилями. Роботизация же данного вида транспорта может расширить возможности их использования и увеличить привлекательность.

В настоящее время исследования и разработки в области автономного транспорта продолжают активно развиваться. С появлением беспилотных автомобилей, электробайки могут также стать частью этой экосистемы. Роботизированные электробайки находят применение в различных сценариях: транспортное средство должно самостоятельно вернуться к своему владельцу или передвигаться до определенного пункта без пилота; доставка небольших грузов в городских условиях, где использование автомобилей неэффективно из-за пробок или отсутствия парковки. В городах по всему миру становится популярной система проката различных транспортных средств [4], роботизированные электробайки же могут улучшить эту услугу, позволяя устройству автоматически возвращаться на базу или передвигаться в районы с большим спросом. Также данный тип технологии может стать инструментом, помогающим людям с ограниченными физическими возможностями передвигаться более самостоятельно.

Система управления роботизированным электробайком в контексте данной работы – это совокупность проектных и программных решений, обеспечивающих самостоятельную балансировку устройства.

Таким образом, целью данной работы является разработка системы управления роботизированным электробайком, а именно – разработка системы автоматизированной балансировки. Система балансировки является одной из ключевых систем байка, поскольку позволяет осуществлять контроль положения в пространстве, без риска повредить окружающие объекты.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

UART: Универсальный асинхронный приёмопередатчик (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

I²C: Последовательная двунаправленная двухпроводная шина для организации межмикросхемного взаимодействия (Inter-Integrated Circuit).

ШИМ: Способ управления подачей мощности к нагрузке, особенность которого заключается в изменении длительности импульса при постоянной частоте следования импульсов.

МЭМС: Устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты (микроэлектромеханические системы).

АЦП: Устройство, которое преобразует аналоговый сигнал в цифровой формат (аналогово-цифровой преобразователь).

1 Обзор существующих решений в области систем балансировки и их применения в роботизированных байках

Разработкой систем самобалансировки двухколесной конструкцией занимаются достаточно давно. Одним из первых решением данной задачи занялся русский граф Петр Шиловский и изобрел гирокар [5] в 1914 году, который представлял собой конструкцию весом 2750 килограммов, из которых 600 весил маховик метрового диаметра. Машина была оснащена двумя двигателями — обычным ДВС и приводимым от него генератором, питавшим электромотор, который раскручивал гироскоп.

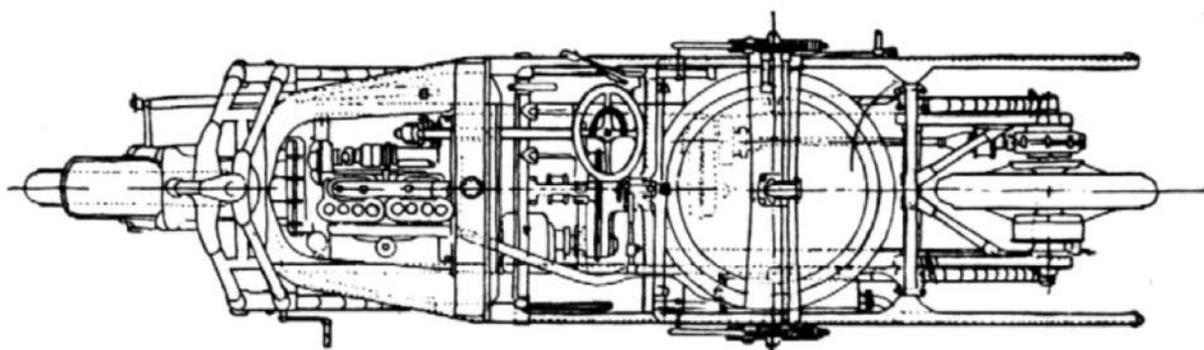


Рисунок 1 – Гирокар Шиловского

С развитием технологий подход изменился в сторону облегчения конструкции несмотря на то, что возможность применения раскрученных маховиков остается.

В более современном подходе, предложенном Галласпи [6] в 1999 году, велосипед можно сбалансировать, регулируя крутящий момент, прикладываемый к рулевому колесу. В зависимости от величины крена контроллер регулирует величину крутящего момента, прикладываемого к рулю для балансировки велосипеда. К преимуществам такой системы относятся малая масса и низкое энергопотребление. Недостатками такой системы является ее недостаточная устойчивость к большим колебаниям крена.

Для устранения этих недостатков была разработана конструкция с применением гироскопов управления моментом (рисунок 2). Гироскоп управления моментом состоит из вращающегося ротора и моторизованного подвеса, которые изменяют угловой момент ротора. При наклоне ротора изменяющийся угловой момент вызывает гироскопический крутящий момент, который вращает устройство.

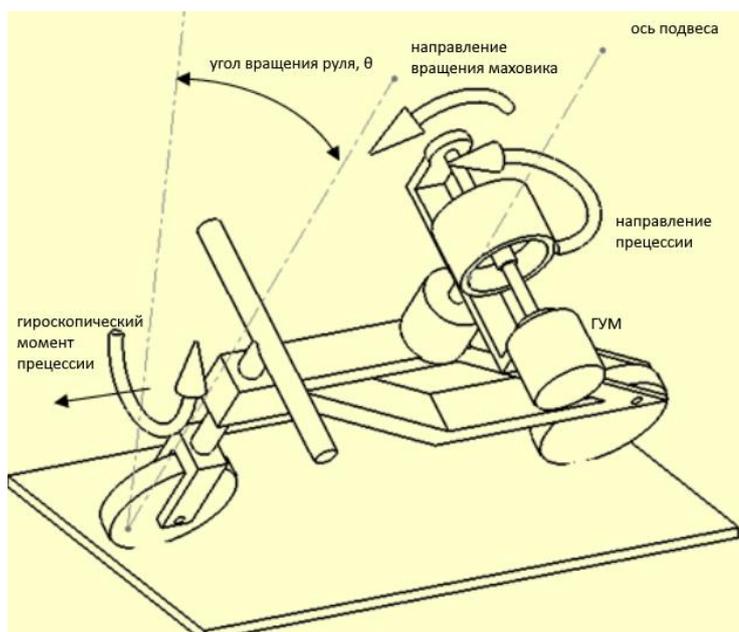


Рисунок 2 – Балансирование байком применением гироскопического момента создаваемого гиromотором

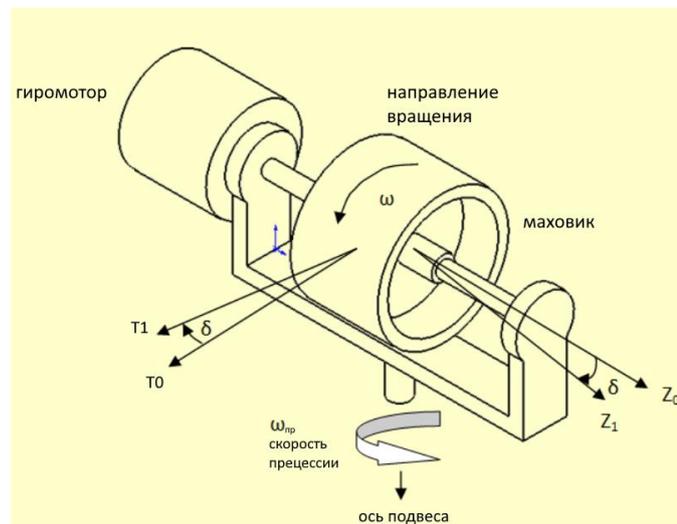


Рисунок 3 – Гиромотор

С развитием схмотехники появилась возможность заменять механические массивные гироскопы миниатюрными гиродатчиками. Уже в 2006 году ученые из Массачусетского университета технологий Мичини и Торрес оснастили стандартные городские велосипеды соответствующими датчиками и приводами для достижения автоматической самобалансировки. В их работе [7] цепной привод соединяет переднюю вилку велосипеда с рулевым двигателем. Использование электрических линейных приводов в робототехнике, таких как приведение в действие суставов рук антропоморфных роботов, достижение высокой скорости передвижения у четвероногих роботов и обеспечение требуемого крутящего момента в суставах при ходьбе в силовых протезах, постепенно находит все больше научных обоснований. В результате велосипедный робот отличался от предыдущих экспериментов тем, что в нем использовался контроль крутящего момента при повороте, а не угла поворота или наклона.

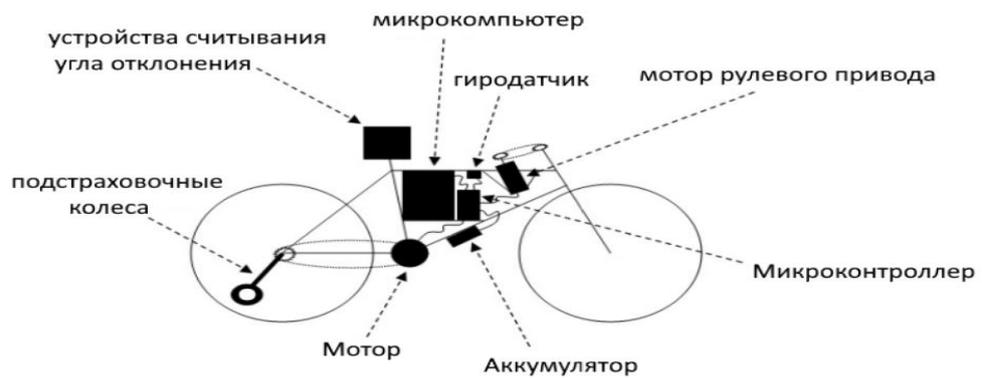


Рисунок 4 – Модель Мичини и Торреса

Из всех перечисленных методов, используемых для балансировки двухколесной конструкцией, наиболее подходящим для разрабатываемого байка является метод, предложенный Мичини и Торресом в силу облегченной конструкции. Рассмотрев различные методы балансировки, рассмотрим аналоги – роботизированные байки, чтобы ознакомиться с их техническими характеристиками.

Одним из аналогов является электромотоцикл ИЖ «Пульсар», который разработан по заказу Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы [8]. Развивает максимальную скорость до 100 км/ч при запасе хода до 150 км. Использование ИЖ «Пульсар» в среднем в 12 раз дешевле расходов на топливо у мотоциклов на бензиновом двигателе. В соответствии с Правилами Европейской экономической комиссии ООН № 41, уровень шума проходит ниже максимальных требований и составляет менее 75 дБ. Простота управления обеспечивается отсутствием коробки передач и сцепления. Конструкция мотоцикла предусматривает возможность установки дополнительного оборудования под требования конкретных городских служб.



Рисунок 5 –Иж Пульсар

Пекинская компания Da Vinci Dynamics представила свой DC100 (рисунок 6), высокопроизводительный электрический уличный байк, который уже доступен к предзаказу [9]. Производитель обещает функцию автоматического контроля равновесия машины и электронного управления, это позволит электробайку самостоятельно поддерживать равновесие и следовать за своим владельцем, если тот решит пройтись пешком. Электроника Davinci DC100 позволяет ему измерять температуру окружающего воздуха, аккумуляторов и мотора, а также положение в пространстве по нескольким осям. Также модель обладает системой помощи при езде (Driving Assistance), позволяющую плавно трогаться и сохранить устойчивость и зацеп при езде на малых скоростях. Датчики DC100 позволяют ему определять наклон в повороте и уклон, и определив подъём или спуск, использует различные алгоритмы помощи на склоне (например, торможение двигателем на спуске). Для удобства парковки и маневрирования Davinci DC100 обладает функцией заднего хода, что весьма полезно, с учётом веса и размера электромотоцикла.

Недостатками Davinci DC100 являются большая собственная масса (255 кг) и его высокая стоимость.



Рисунок 6 – Da Vinci DC100

Электробайк Tesla [10] (рисунок 7) считается одним из самых быстрых экземпляров среди существующих электрических велосипедов. Преимуществами данной модели являются комфортное и простое взаимодействие с пользователем через OLED экран, высокая скорость (разгон до 120 км/ч за 5 секунд), высокий показатель грузоподъемности (200 кг), но также недостатком является большая стоимость (550 000 рублей).



Рисунок 7 – Электробайк Tesla

Отечественные Mars Bike [11], а также электровелосипед «CHARGER», и вовсе не обладают системой балансировки, а их система навигации, основанная лишь на датчиках расстояния, носит лишь вспомогательный характер.



Рисунок 8 – Mars Bike



Рисунок 9 – Электровелосипед «CHARGER»

Сравнительная характеристика имеющихся аналогов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная таблица характеристик аналогов

Характеристики	Иж «Пульсар»	Da Vinci DC100	Электро- байк Tesla	Электрове- лосипед CHARGER	Mars Bike
Максимальная скорость, км/ч	100	200	120	100	45
Запас хода, км	150	400	200	250	100
Собственная масса, кг	165-245	255	80	60	30
Грузоподъем- ность, кг	320		200	140	160
Время зарядки, ч	8	0,5	8	6	8
Цена, руб	590 000	2 000 000	550 000	380 000	150 000
Страна- производитель	Россия	Китай	США	Россия	Россия
Самобалансиров- ка	-	+	-	-	-
Навигация	-	+	-	-	-

Представленные в таблице электрические велосипеды и мотоциклы обладают такой собственной массой, которая осложняет управление устройством на низких скоростях и не решают выявленной проблемы с обеспечением безопасности пользователя во время езды. Исключением является Da Vinci DC100, который стал доступен к предзаказу только в конце 2022 года и все еще не опробован пользователями, вследствие чего его заявленные характеристики и функции не являются подтвержденными на практике. Таким образом, задача разработки роботизированного байка является актуальной.

2 Проектирование системы управления

2.1 Эскизный проект

Чтобы разобраться с устройством системы, разработаем эскизный проект, разбив разрабатываемую систему управления на блоки. Для взаимодействия с пользователем выделим отдельный блок. Несмотря на то, что байк является беспилотным, оператор должен иметь возможность настройки параметров езды

в зависимости от местности и задач, для решения которых применяется байк. Построим эскизный проект (рисунок 10). Сигнал от блока взаимодействия с пользователем подается на блок питания, от которого подается на электробайк. Данные с камеры, лидаров и сенсоров отправляются на блоки навигации и обнаружения препятствий и после обрабатываются блоком построения траектории. Блок управления, получая сигналы от блоков балансировки, обнаружения препятствий, навигации и построения траектории, передает их блоку исполнения движений. На рисунке 10 представлен эскизный проект системы управления.

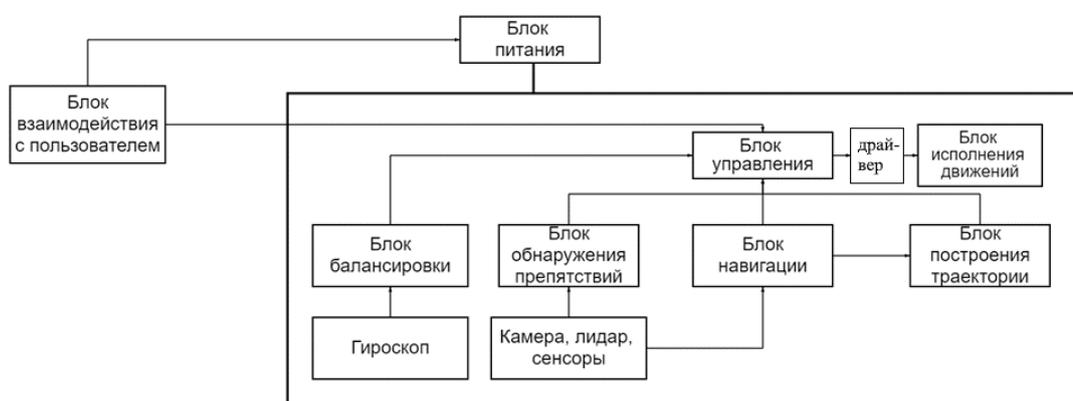


Рисунок 10 – Эскизный проект

2.2 Разработка структурной схемы

Питание логики осуществим от аккумулятора, подключенного через выключатель. Система балансировки будет основываться на показаниях гироскопа и акселерометра. Для балансировки будет использован гироскоп управления моментом. Кроме того, управление скоростью движения будет осуществляться через привод заднего колеса, поворот – через управление приводом передней вилки. На рисунке 11 представлена структурная схема системы.

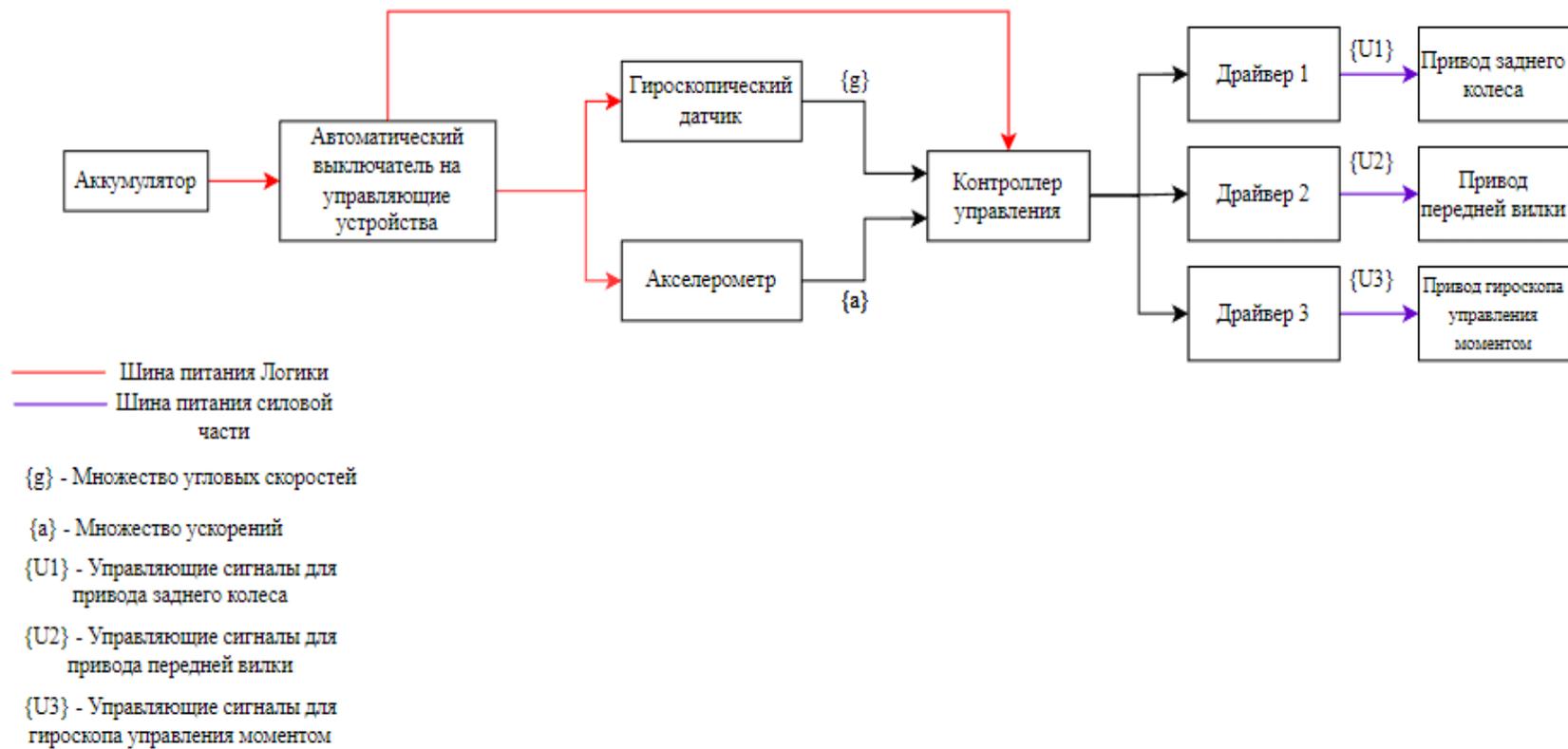


Рисунок 11 – Структурная схема

2.3 Выбор компонентов

2.3.1 Расчет и выбор двигателя

Примем угол наклона поверхности равным 3° .

Схематично изобразим векторы сил, действующих на электробайк на наклонной плоскости (рисунок 12).

На байка действуют сила тяжести $m\vec{g}$ (g – ускорение свободного падения на Земле, равное 9.81 м/с^2), сила реакции опоры \vec{N} , сила трения качения $\vec{F}_{\text{тр.кач}}$, сила тяги $\vec{F}_{\text{тяги}}$. Эти четыре силы образуют уравновешенную систему. Максимально снаряженная масса электробайка – 200 кг.

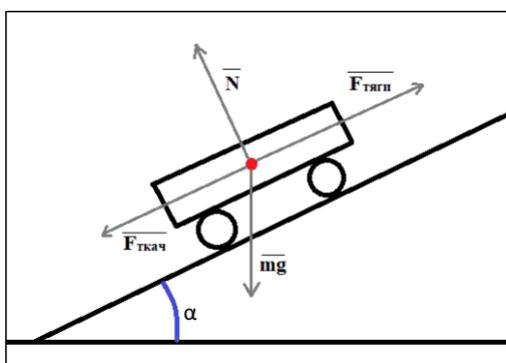


Рисунок 12 – Схематичное изображение расположения векторов сил, действующих на тело

Мысленно проведем оси OX (вдоль направления движения) и ось OY (перпендикулярную оси OX) и спроецируем на них векторы сил:

$$OX: F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр.кач}} - mg \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

$$OY: N - mg \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

Выражение силы трения качения имеет вид

$$F_{\text{тр.кач}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha \quad (3)$$

Коэффициент трения качения автомобильной шины об асфальт $\mu = 0.02$ [12].

Из формулы 1 выразим силу тяги, подставив преобразованное выражение силы трения качения

$$F_{\text{тяги}} = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha \quad (4)$$

Полезная работа, совершенная по отношению к рабочему телу силой тяги:

$$A_{\text{полезн}} = F_{\text{тяги}} S \quad (5)$$

где S – пройденный телом путь.

$$S = v t \quad (6)$$

где v – скорость движения (примем 7 м/с), t – время, затраченное на преодоление пути S .

Подставим в выражение выше преобразованную силу тяги

$$A_{\text{полезн}} = (\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha) v t \quad (7)$$

Полная (затраченная) работа, которая была затрачена при перемещении тела равна

$$A_{\text{полн}} = P t \quad (8)$$

где P – мощность.

Коэффициент полезного действия η

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Подставим в формулу КПД выражения полезной и полной работ

$$\eta = \frac{(\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha) v t}{P t} \cdot 100\% = \frac{(\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha) v}{P} \cdot 100\% \quad (10)$$

Выразим из формулы выше мощность и подставим известные значения

$$P = \frac{(\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha) v}{\eta} \cdot 100\% = \frac{(0.02 \cdot 200 \cdot 9.81 \cdot \cos 3^\circ + 200 \cdot 9.81 \cdot \sin 3^\circ) \cdot 7}{85} \cdot 100\%$$

$$100\% = 993 \text{ Вт.} \quad (11)$$

Таким образом, общая мощность двигателя равна около 1 кВт (≈ 2 л.с.).

Рассмотрим двигатели постоянного тока (таблица 2), так как в сравнении с остальными типами двигателей данный тип обладает самым высоким КПД (может превышать 90 %, в среднем 80 %), большим диапазоном регулирования по частоте вращения, минимальным пусковым током, большим пусковым моментом, а также избавит от необходимости использования преобразователей напряжения.

Таблица 2 – Сравнительная таблица двигателей

Двигатель	ZY 1020	MY 1020	Kunray 1000	Bafang 1000
Тип двигателя	Двигатель постоянного тока коллекторный	Двигатель постоянного тока коллекторный	Двигатель постоянного тока бесщеточный	Двигатель постоянного тока бесщеточный
Мощность, Вт	1000	1000	1000	1200
Напряжение, В	36	48	48	48
Цена, руб	9500	6045	6358	19768

Выберем Kunray 1000 (рисунок 13), так как двигатель бесщеточный, что говорит о его неподверженности перегреву, бесшумной работе, а отсутствие щеточно-коллекторного узла уменьшит износ и продлит срок службы.



Рисунок 13 – Двигатель Kunray 1000

2.3.2 Выбор микроконтроллера

На данный момент на рынке преобладают микроконтроллеры STM, они являются доступным и бюджетным вариантом. Основным их преимуществом над микроконтроллерами AVR является существенно более высокая производительность, а также более высокая частота.

В рамках обучения студенты ТПУ работают с микроконтроллерами STM32, в частности – с отладочными платами на базе STM32F303VET6, поэтому логичным является выбор именно данного микроконтроллера.

2.3.3 Выбор драйвера управления двигателем

Для управления двигателем при помощи контроллера, необходимо выбрать драйвер. При этом, стоит учитывать, что выбранный драйвер должен обеспечивать напряжение не менее 48 В.

В таблице 3 представлены драйверы двигателей [13-14], которые могут быть использованы в работе.

Таблица 3 – Выбор драйвера двигателя

Наименование	ZHAUTO WS38-30	ES16-1000
Максимальная мощность подключаемых двигателей, Вт	1250	1200
Максимальное напряжение, В рабочее	50	50
Максимальный выходной ток, А	50	25
Номинальный выходной ток, А	5	5
Частота ШИМ, кГц	50,8	53,6
Цена, руб.	8400	6300

Как видно из таблицы 4, представленные на рынке драйверы двигателей сходят по характеристикам. В таком случае, резонным является выбор в пользу более дешевого ES16-1000.

2.3.4 Выбор гироскопа и акселерометра

За последние несколько лет широкое распространение по всему миру получили датчики, основанные на микроэлектромеханических системах, так называемых МЭМС. Популярность данных устройств обусловлена рядом причин, основными из которых являются простота их использования, относительно низкая цена и малые габариты. МЭМС-датчики, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала и не имеют движущихся частей. Этим обуславливается их высокая надежность и способность обеспечивать стабильные показания [15].

Таким образом, в данной работе возможно применение гироскопа и акселерометра, спроектированных именно по технологии MEMS

Одним из наиболее популярных решений является MPU6050 [16], датчик, оснащенный как гироскопом, так и акселерометром. Таким образом, применение

MPU6050 позволит уменьшить число компонентов, используемых в системе, сделав ее более простой и удобной.

2.4 Разработка функциональной схемы

Разработка функциональной схемы проводилась с некоторыми отступлениями от структурной схемы. Так, было решено отказаться от управления передней вилкой и сосредоточиться именно на системы балансировки. Функциональная схема с учетом выбранных компонентов, представлена на рисунке 14.

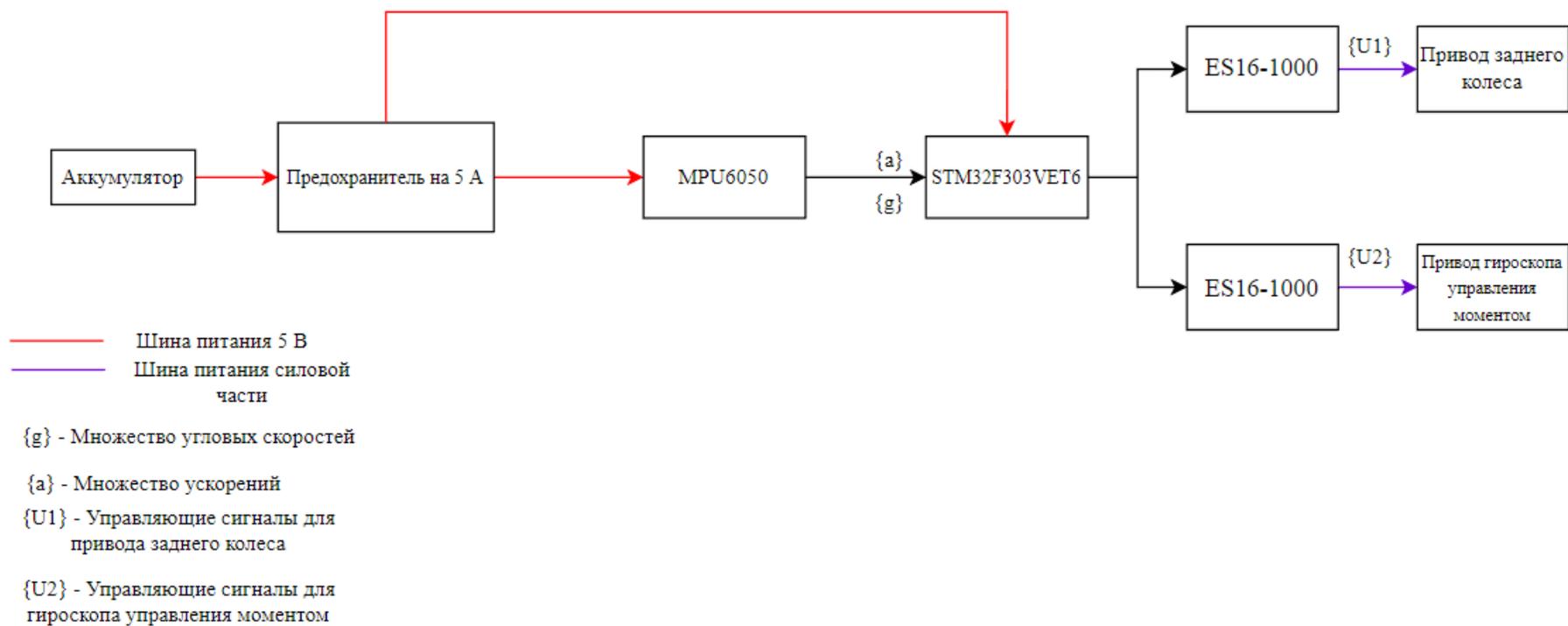


Рисунок 14 – Функциональная схема

2.5 Разработка дерева вызова процедур

Для обеспечения требуемых функций разработаем дерево вызова процедур. Роботизированный байк должен не только взаимодействовать с пользователем, но и самостоятельно сохранять своё положение в пространстве. Добиться этого можно путем опроса датчиков, расчета возмущающих воздействий, а также дальнейшего регулирования положения в пространстве. Для обеспечения контроля положения можно применить ПИД-регулятор с динамическими коэффициентами. Дерево вызова процедур представлено в приложении А.

Разработав дерево вызова процедур в целом, распишем в виде алгоритма одну из процедур, а именно – процедуру расчета ПИД-регулятора, поскольку она является одной из ключевых в области балансировки. В приложении Б представлен алгоритм расчета, а также алгоритм выбора управляющего воздействия: в зависимости от возмущений и реакции системы, оно может увеличиваться или уменьшаться.

3 Разработка алгоритмов определения положения байка в пространстве

3.1 Описание работы гироскопа и акселерометра

Микросхема MPU6050 содержит на борту как акселерометр, так и гироскоп, а также температурный сенсор. MPU6050 является главным элементом модуля GY-521. Помимо этой микросхемы на плате модуля расположена необходимая обвязка MPU6050, в том числе подтягивающие резисторы интерфейса I2C, а также стабилизатор напряжения на 3,3 вольта с малым падением напряжения (при питании уже в 3,3 вольта на выходе стабилизатора будет 3 ровно вольта) с фильтрующими конденсаторами [17].

Функции MPU6050:

- трех осевой MEMS гироскоп с 16 битным АЦП;
- трех осевой MEMS акселерометр с 16 битным АЦП;

- i2c для подключения к микроконтроллеру;
- i2c для подключения к микросхеме дополнительного датчика;
- регистры данных датчиков;
- прерывания;
- температурный сенсор;
- самопроверка гироскопа и акселерометра;
- регистр идентификации устройства.

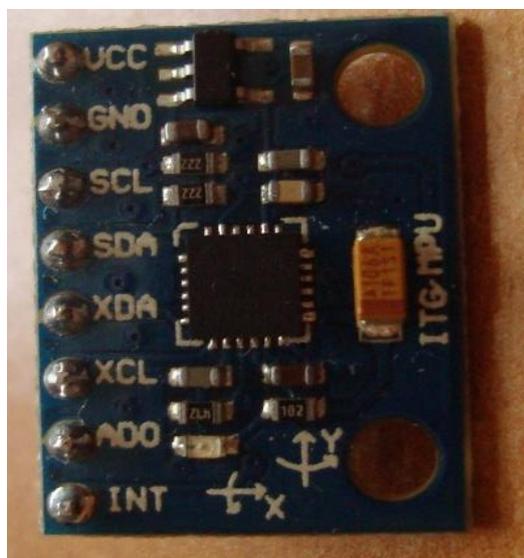


Рисунок 15 – Внешний вид MPU 6050

Гироскоп измеряет угловую скорость вращения вокруг оси, условно в градусах/секунду. Если датчик лежит на столе – по всем трём осям будет значение около нуля. Для нахождения текущего угла по скорости нужно интегрировать эту скорость. Гироскоп может чуть привирать, поэтому ориентироваться на него для расчёта текущего угла не получится даже при идеальной калибровке [18].

Акселерометр измеряет ускорение вдоль оси, условно в метрах/секунду. Если датчик лежит на столе или движется с постоянной скоростью – на оси будет спроецирован вектор силы тяжести. Если датчик

движется с ускорением – вдобавок к ускорению свободного падения получим составляющие вектора ускорения. Если датчик находится в свободном падении – величины ускорений по всем осям будут равны 0.

Одной из ключевых особенностей датчика является возможность передачи данных при помощи I2C. I2C является протоколом синхронной связи, это означает, что обмен данными происходит по общему для всех связанных устройств сигналу синхронизации. Генерацией сигнала занимается только единое главное устройство, оно же Ведущее. Устройство “говорит” и “дает слово” остальным, которые называются Ведомыми. Все ведомые устройства имеют уникальный номер, даже если такое устройство на всю сеть одно. Мастер номера не имеет. Ведомые молчат, слушают, что говорит ведущий и откликаются только при обращении к ним с ведущего устройства [19]. Структура сообщения выглядит следующим образом:



Рисунок 16 – Структура сообщения I2C

Каждый бит передается в своем временном цикле, то есть нужно 8 временных циклов чтобы передать байт информации. После каждого переданного или принятого байта 9-й временной цикл используется для подтверждения/не подтверждения (ACK/NACK) приема информации. Этот бит подтверждения (ACK bit) формируется либо ведомым, либо ведущим в зависимости от ситуации. Для подтверждения приема информации (ACK) на линии SDA ведущим или ведомым устанавливается низкий уровень (low) в 9 временном цикле, в противном случае происходит не подтверждение приема информации (NACK) [20]. На рисунке 17 представлена временная диаграмма напряжений на линии SDA и SCL.

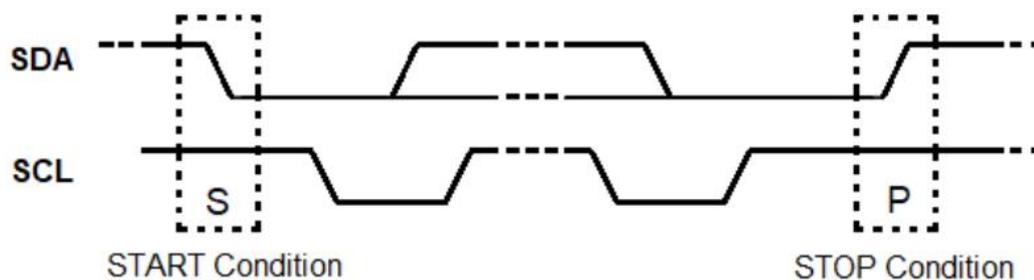


Рисунок 17 – Временная диаграмма напряжений на линиях SDA и SCL

Датчик содержит в себе более 50 регистров, каждый из которых отвечает за свою задачу: позволяют задать конфигурацию, режим работы, дают возможность считывать данные с устройства. Одним из ключевых регистров является регистр 6В, отвечающий за режимы работы датчика. Выставление нулей по данному адресу позволяет выключить спящий режим и подготовить датчик к штатной работе.

6B	107	PWR_MGMT_1	R/W	DEVICE_RESET	SLEEP	CYCLE	-	TEMP_DIS	CLKSEL[2:0]
----	-----	------------	-----	--------------	-------	-------	---	----------	-------------

Рисунок 18 – Регистр 6В

Данные, получаемые с акселерометра, датчика температуры и гироскопа, тоже содержатся в своих регистрах. Каждый датчик получает два байта информации на каждую ось (для датчика температуры – просто два байта информации). Для получения данных нас интересуют регистры 3В-48.

3B	59	ACCEL_XOUT_H	R	ACCEL_XOUT[15:8]
3C	60	ACCEL_XOUT_L	R	ACCEL_XOUT[7:0]
3D	61	ACCEL_YOUT_H	R	ACCEL_YOUT[15:8]
3E	62	ACCEL_YOUT_L	R	ACCEL_YOUT[7:0]
3F	63	ACCEL_ZOUT_H	R	ACCEL_ZOUT[15:8]
40	64	ACCEL_ZOUT_L	R	ACCEL_ZOUT[7:0]
41	65	TEMP_OUT_H	R	TEMP_OUT[15:8]
42	66	TEMP_OUT_L	R	TEMP_OUT[7:0]
43	67	GYRO_XOUT_H	R	GYRO_XOUT[15:8]
44	68	GYRO_XOUT_L	R	GYRO_XOUT[7:0]
45	69	GYRO_YOUT_H	R	GYRO_YOUT[15:8]
46	70	GYRO_YOUT_L	R	GYRO_YOUT[7:0]
47	71	GYRO_ZOUT_H	R	GYRO_ZOUT[15:8]
48	72	GYRO_ZOUT_L	R	GYRO_ZOUT[7:0]

Рисунок 19 – Регистры для получения данных с акселерометра, датчика температуры и гироскопа

Для того чтобы разработать алгоритм определения угла при помощи гироскопа и акселерометра, необходимо ознакомиться с принципами работы данных устройств. Акселерометр можно упрощенно представить в виде грузов на пружинках (рисунок 20).

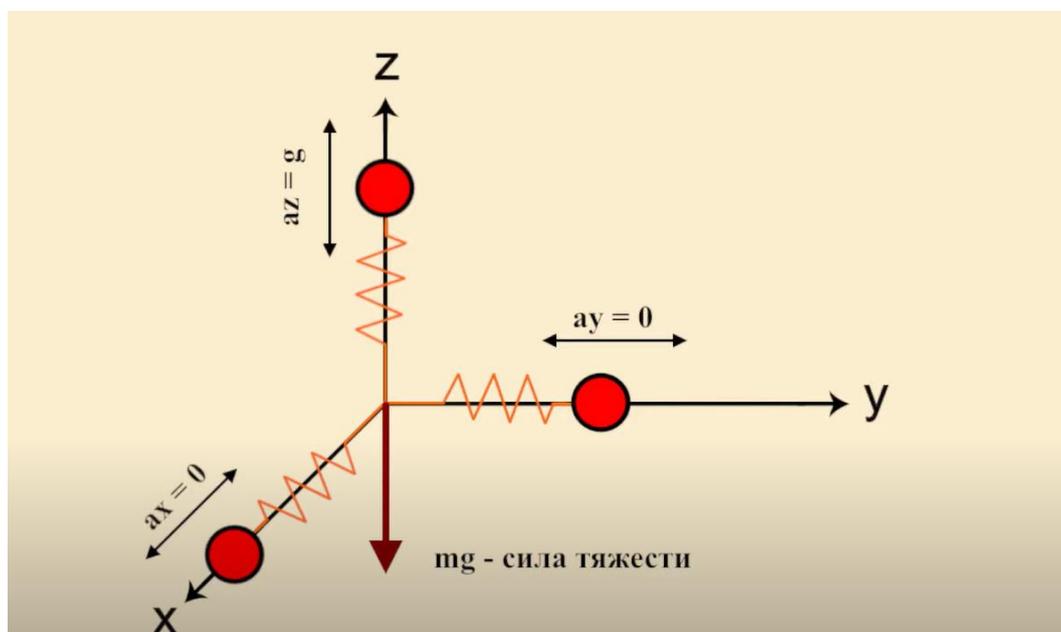


Рисунок 20 – Схематичное представление акселерометра

Под действием силы тяжести грузики отклоняются и, зная проекции, можно легко рассчитать углы отклонения при помощи базовых тригонометрических преобразований.

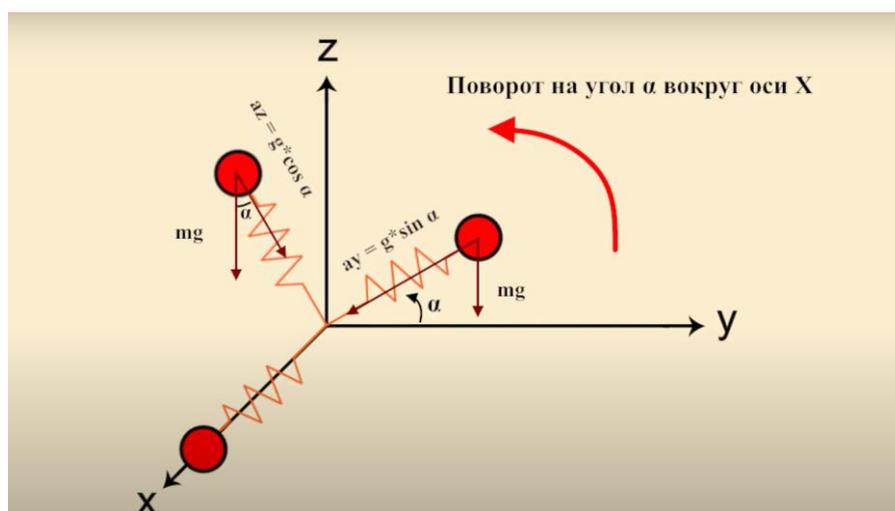


Рисунок 21 – Расчет углов при помощи акселерометра

В данном случае было принято решение рассчитывать угол через арктангенс, то есть соотношение проекций. Необходимо также перевести рассчитанное значение в градусы из радианов. Кроме того, для корректного расчета необходимо учитывать чувствительность акселерометра MPU 6050. Для этого обратимся к его документации.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
ACCELEROMETER SENSITIVITY						
Full-Scale Range	AFS_SEL=0		±2		g	
	AFS_SEL=1		±4		g	
	AFS_SEL=2		±8		g	
	AFS_SEL=3		±16		g	
ADC Word Length	Output in two's complement format		16		bits	
Sensitivity Scale Factor	AFS_SEL=0		16,384		LSB/g	
	AFS_SEL=1		8,192		LSB/g	
	AFS_SEL=2		4,096		LSB/g	
	AFS_SEL=3		2,048		LSB/g	
Initial Calibration Tolerance			±3		%	
Sensitivity Change vs. Temperature	AFS_SEL=0, -40°C to +85°C		±0.02		%/°C	
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.5		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	

Рисунок 22 – Чувствительность акселерометра

Как видно из рисунка 22, чувствительность акселерометра составляет 16384 LSB/g. LSB – минимальный значащий разряд.

Поскольку акселерометр является очень чувствительным прибором, реагирующим даже на самые слабые колебания, при работе с ним может наблюдаться сильное зашумление сигнала. Чтобы разрешить данную проблему, возможно применение гироскопа для расчета углов вторым способом, а затем – нахождения «итогового варианта», являющегося наиболее верным. Гироскоп измеряет угловую скорость вокруг осей. Для того, чтобы получить при помощи нее значение угла поворота, нужно знать предыдущее значение угла и добавить к нему изменение угла, которое есть произведение угловой скорости по выбранной оси на время, в течение которого данная скорость действовала.

Иными словами, зная начальное значение угла, можно измерить текущий угол при помощи простой формулы для углового движения:

$$\varphi(t) = \varphi(0) + \sum \omega * \Delta t \quad (12)$$

В формуле (12) ω – угловая скорость, Δt –время.

Одной из проблем применения гироскопа является измерение угла даже при нахождении гиродатчика в неподвижном положении. Решить данную проблему можно путем калибровки гиродатчика. Выполнить калибровку можно следующим образом: произвести N измерений по каждой оси, а затем усреднить полученные значения. Кроме того, по умолчанию при использовании гироскопа неизвестен начальный угол, то есть по умолчанию $\varphi(0)$ принимается равным нулём. Это может привести к искажению показаний углов, называемому «дрейфом нуля».

Таким образом, для более точного расчета углов отклонения, необходимо объединить показания гироскопа и акселерометра. Сделать это позволяет комплементарный фильтр [21]. Итоговая величина угла наклона представляет собой сумму интегрированного значения гироскопа и мгновенного значения акселерометра. Задача комплементарного фильтра состоит в том, чтобы с помощью показаний акселерометра нивелировать дрейф нуля гироскопа и ошибки акселерометра.

Разобравшись с теоретической частью, приступим к реализации вышеописанных алгоритмов в виде блок-схем, а затем – на языке Си.

3.2 Реализация алгоритмов калибровки гироскопа, расчета угла

На рисунке 23 представлены блок-схема метода `setup()`, позволяющего установить соединение платы с компьютером, произвести инициализацию гироскопа и акселерометра, провести калибровку, а также функции `loop()`, в которой происходит непрерывное считывание данных с гироскопа и акселерометра, расчет углов, а также фильтрация значений при помощи комплементарного фильтра и вывод отфильтрованных углов на экран.

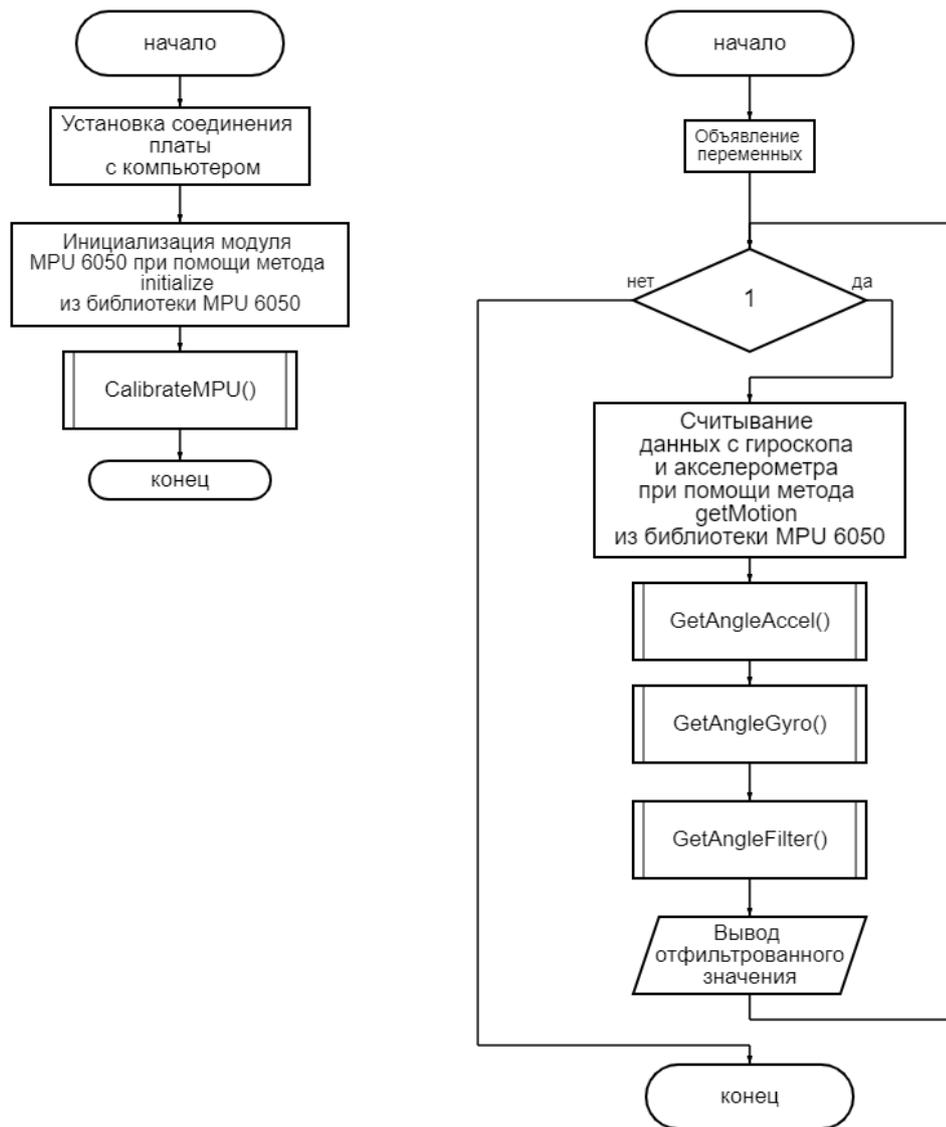


Рисунок 23 – Блок-схема методов setup () и loop ()

На рисунке 24 представлена блок-схема метода CalibrateMPU, который позволяет откалибровать ноль гироскопа. В данном методе находится сумма ста измерений в статичном положении, после чего измеренное значение усредняется. Это позволяет достичь стабильного начального значения.

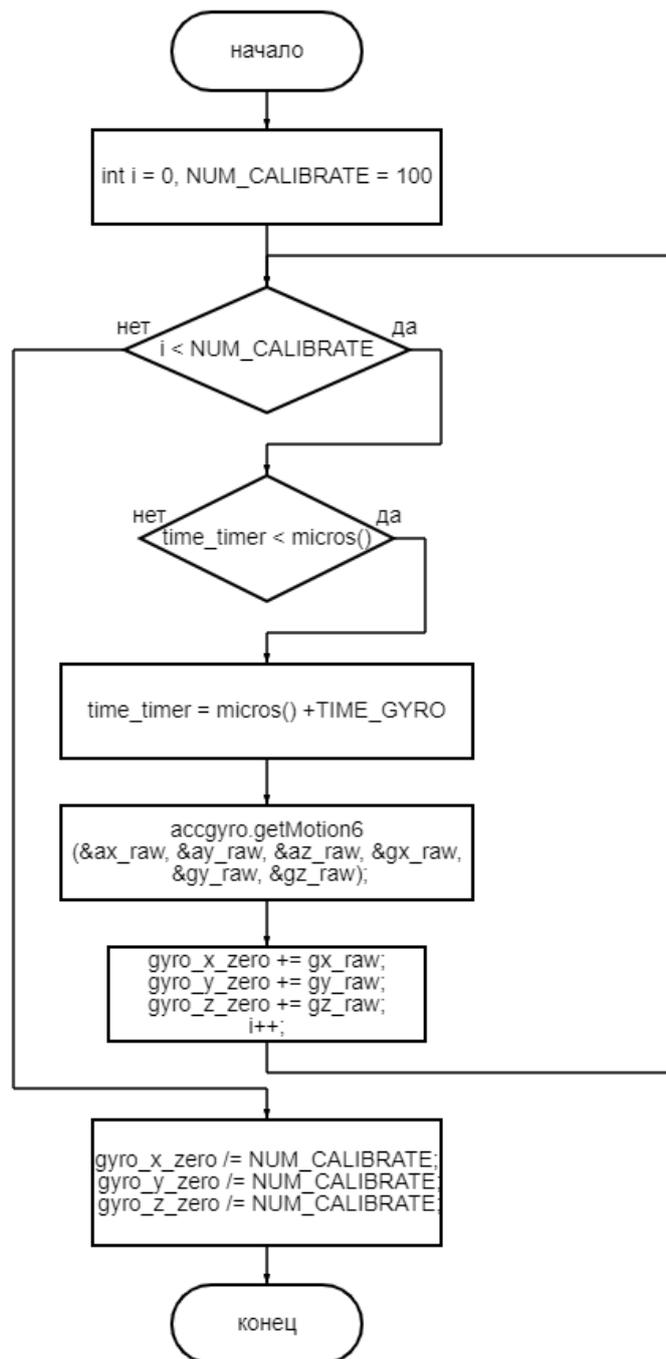


Рисунок 24 – Блок-схема метода CalibrateMPU ()

На рисунке 25 представлены блок-схемы методов GetAngleAccel(), GetAngleGyro (), GetAngleFilter (), позволяющих рассчитать углы отклонения через акселерометр, гироскоп и акселерометр и гироскоп одновременно. Расчет угла по акселерометру происходит через проекции сил и тангенс двойного угла, что позволяет охватить 180 градусов сразу. Расчет угла по гироскопу происходит с учетом времени опроса и угловой скорости, которая

находится как скорость в предыдущем состоянии, сложенная с текущей скоростью. Комплементарный фильтр объединяет показания двух датчиков. Итоговая величина угла наклона представляет собой сумму интегрированного значения гироскопа и мгновенного значения акселерометра.

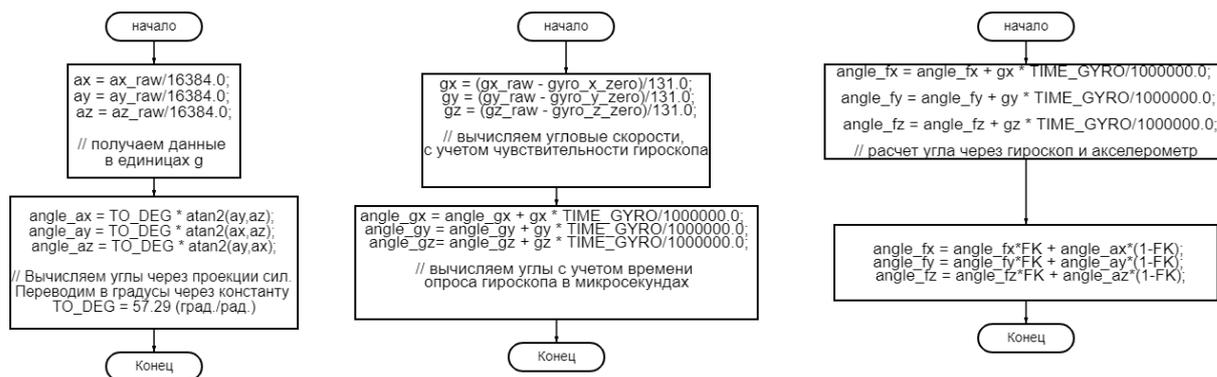


Рисунок 25 – Блок-схемы методов GetAngleAccel(), GetAngleGyro (), GetAngleFilter ()

Реализуем вышеописанные методы и проверим их.

3.3 Реализация методов

Все описанные в предыдущих главах методы были реализованы в среде Arduino, а затем проверены на макетной плате. Было установлено, что гироскоп необходимо калибровать, поскольку отсутствие калибровки приводило к смещению нулевого значения. На рисунках 26 и 27 представлены снятые с гироскопа в нулевом положении углы до и после калибровки.

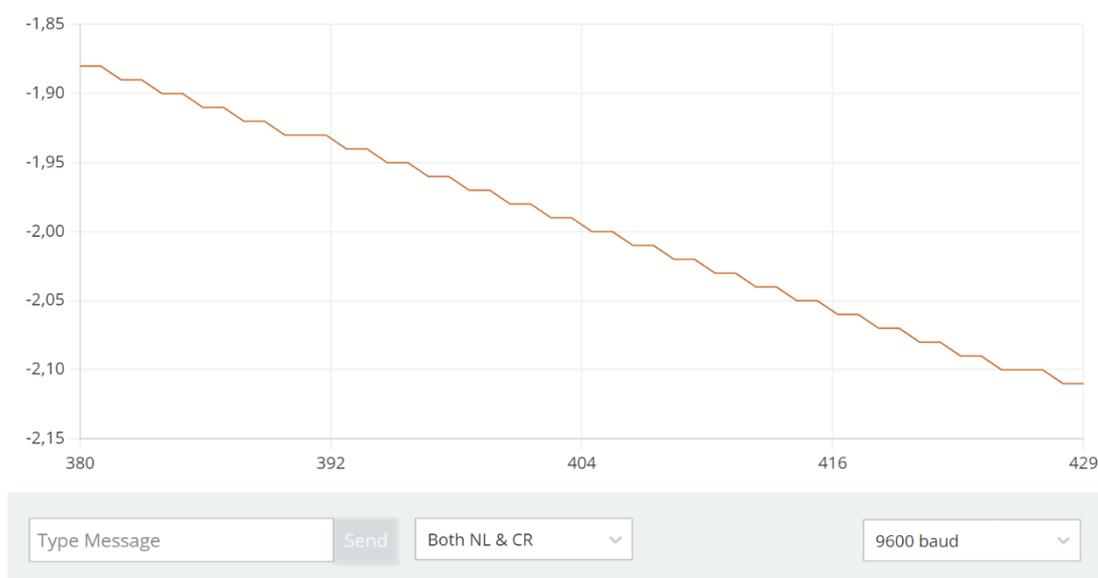


Рисунок 26 – Нулевой угол гироскопа до калибровки. Наблюдается дрейф нуля

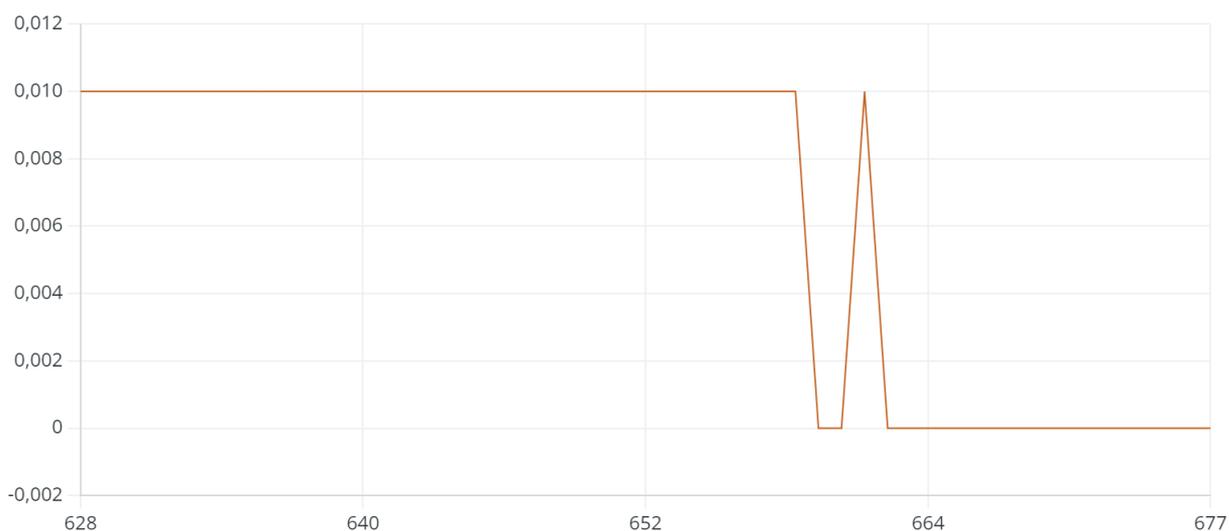


Рисунок 27 – Нулевой угол гироскопа после калибровки. Дрейф нуля сведен к минимуму

Кроме того, было установлено, что, в силу высокой чувствительности акселерометра, значение угла, снятое с данного датчика, сильно колеблется. Таким образом, была подтверждена необходимость применения комплементарного фильтра.



Рисунок 28 – Угол без фильтра, снятый с акселерометра. Колебания в пределах 0,5 градусов

19

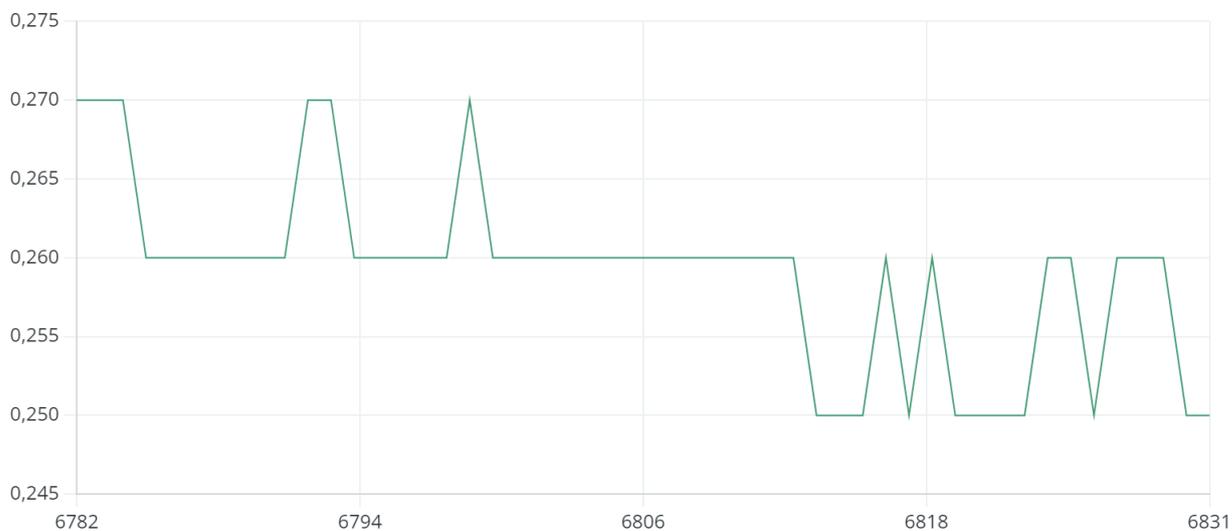


Рисунок 29 – Отфильтрованный угол. Колебания в пределах 0,02 градуса

4 Разработка имитационной модели

4.1 3D-моделирование в среде Autodesk Fusion 360

Разработанная модель представляет собой миниатюрный стенд, в основании которого расположена треугольная рама, позволяющая имитировать падение байка. Основная часть модели - маховик, при помощи которого осуществляется балансировка. Маховик имеет две степени свободы и способен вращаться как вокруг своей оси, так и в наклонной плоскости. Это необходимо для более точной балансировки при движении. Вся конструкция находится внутри прямоугольной «клетки» из профилей, защищающих маховик от механических ударов, возможных, например, при аварии.

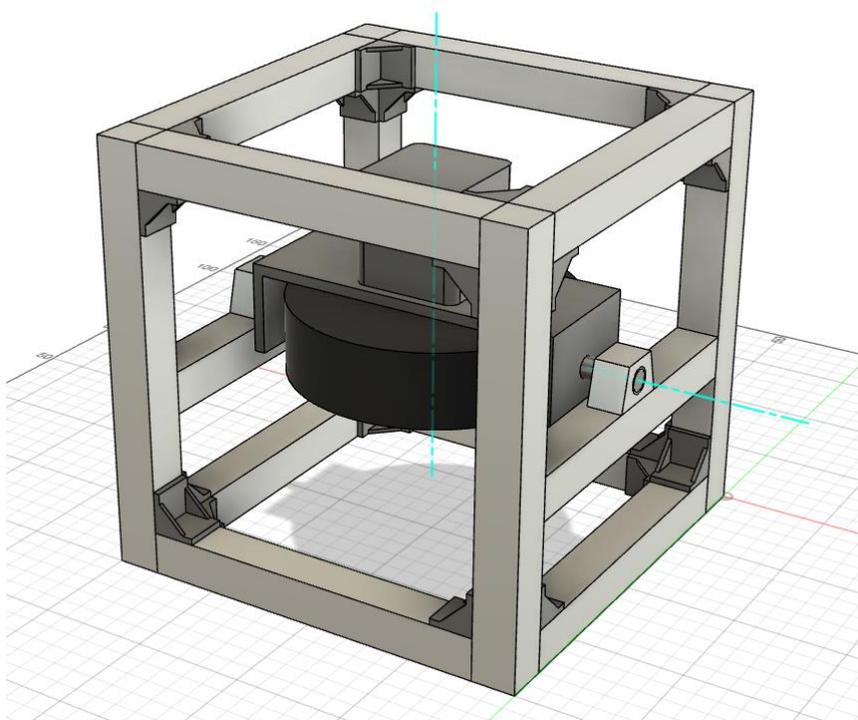


Рисунок 30 – 3D-модель

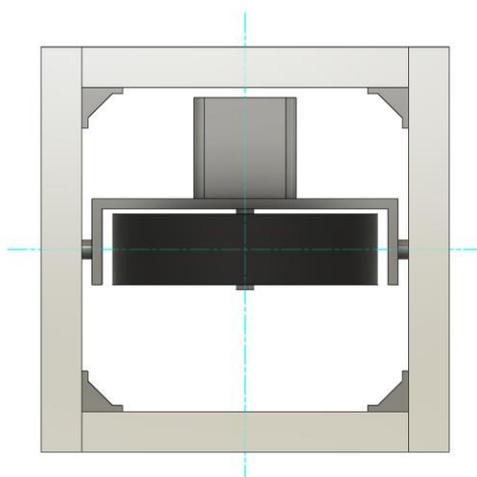


Рисунок 31 – Вид слева

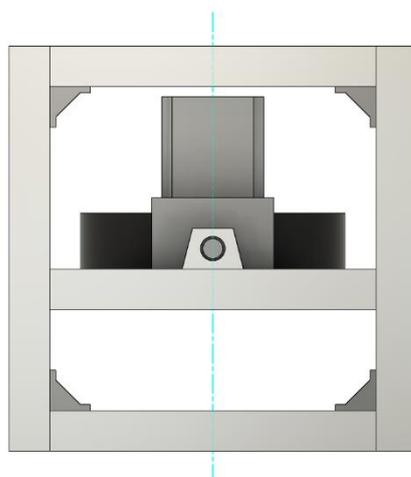


Рисунок 32 – Вид справа

4.2 Модель в среде SimMechanics Matlab

Пакет SimMechanics [22] предназначен для технического проектирования и моделирования механических систем, включающих твердые тела, связанные кинематическими парами, в рамках стандартной Ньютоновской динамики сил и вращающих моментов.

Схема, собранная в Matlab Simulink, базируется на собранной ранее модели в программе “Fusion”, так были импортированы составляющие модели. В библиотеке SimMechanics были заданы нулевые начальные значения, кроме того, система координат была приведена к правой. Движения

маховика и наклон байка имитировались с помощью шарниров с двумя и одной степенью свободы. При этом снимались угловая скорость наклона байка, угловая скорость наклона маховика и угловая скорость оси вращения маховика. Данные положения были получены путём поворота локальных систем координат звеньев, параллельных локальной системе координат основания, на заданный угол относительно оси Z. Для связи физической среды со средой Simulink применили блок PS-Simulink Converter. Данный блок осуществляет перевод размерностей физических величин в доступную для Simulink форму.

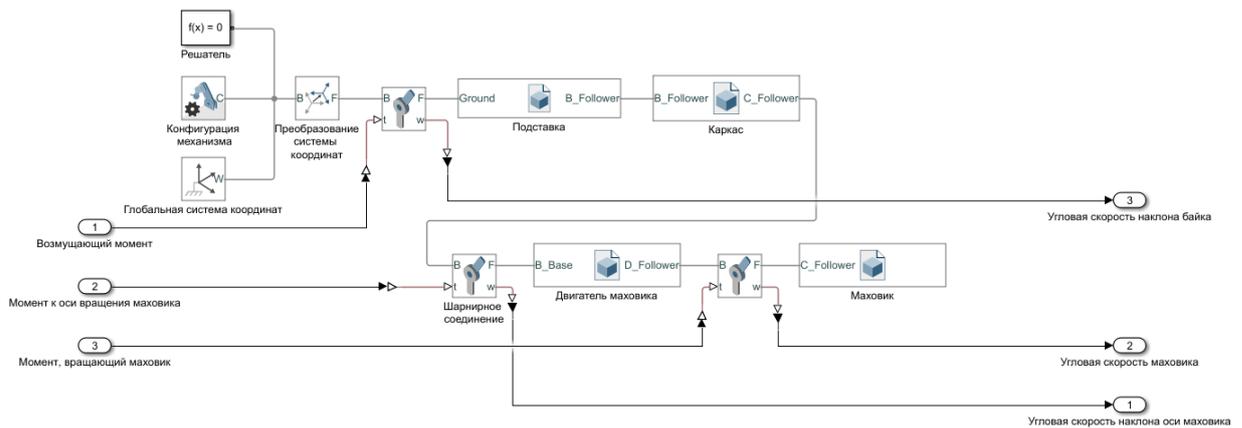


Рисунок 33 – Тело подсистемы имитационной модели модуля балансировки
Импортируемые составляющие 3D-модели представлены на рисунках 34-37.

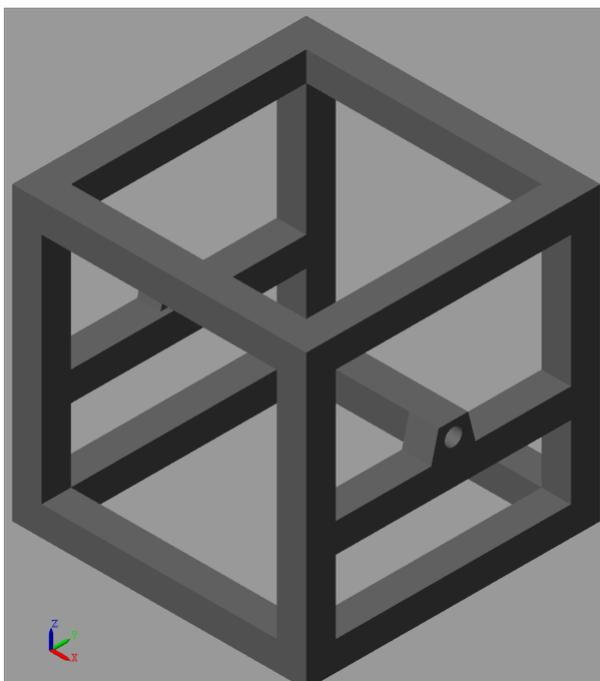


Рисунок 34 – Каркас

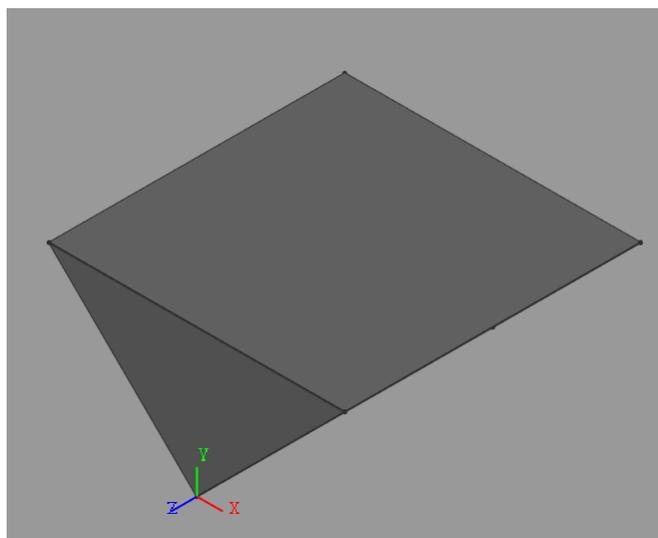


Рисунок 35 – Платформа для имитации отклонения байка

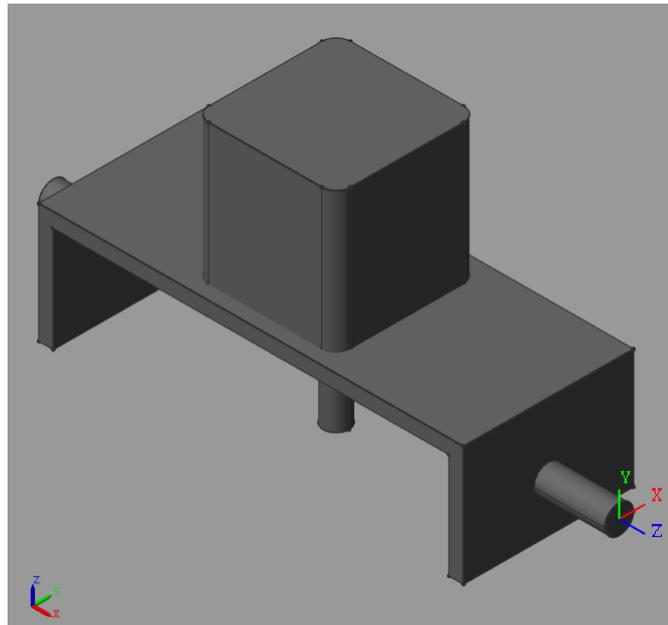


Рисунок 36 – Двигатель и его крепление к маховику

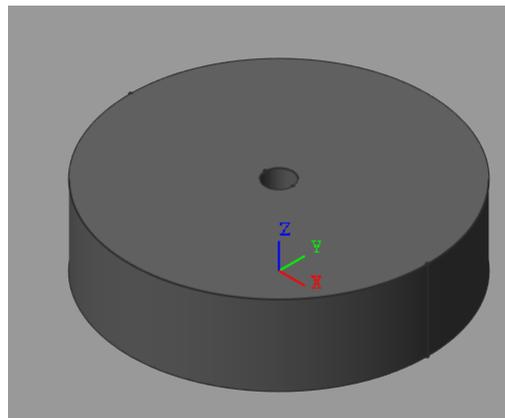


Рисунок 37 – Маховик

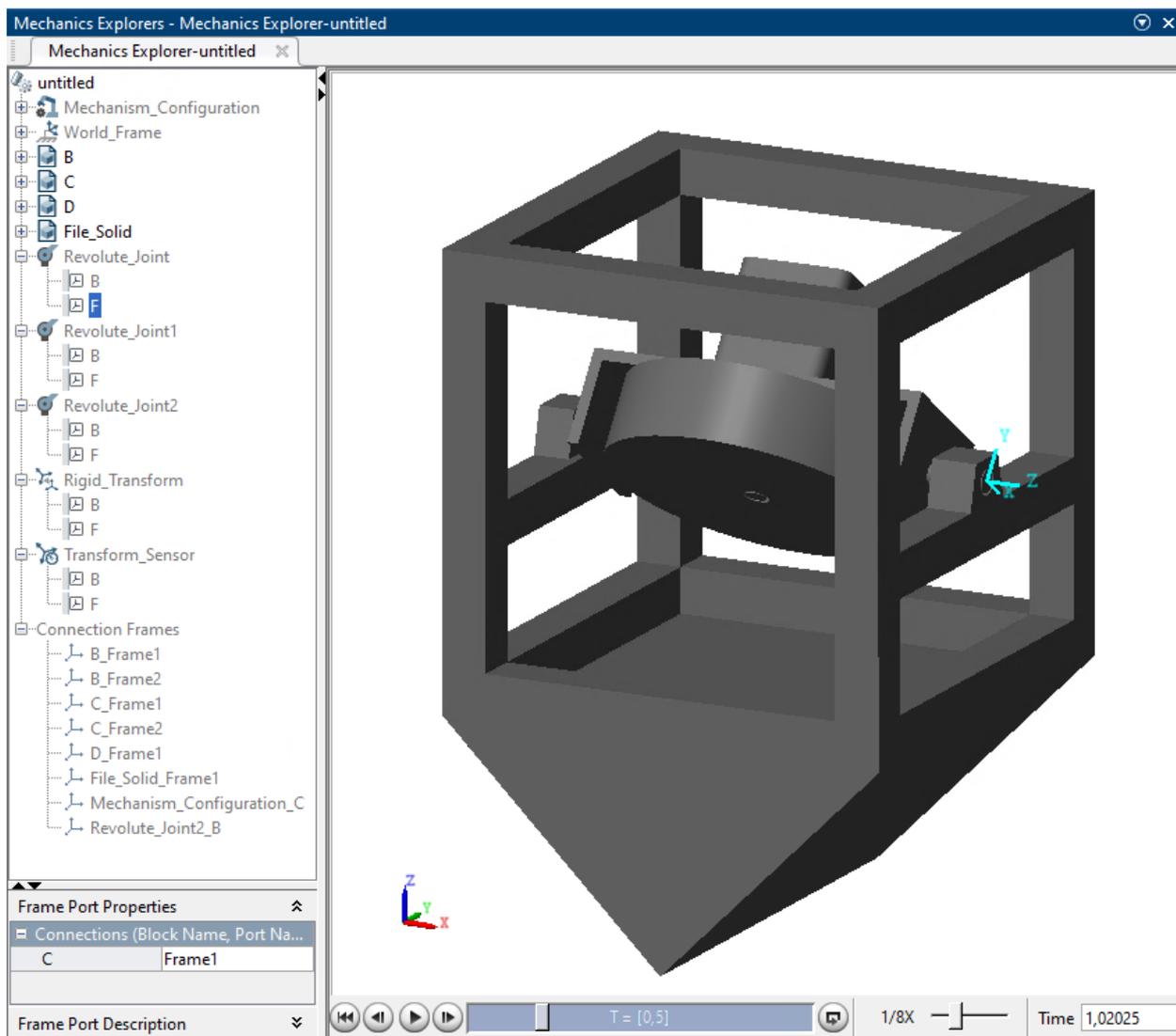


Рисунок 38 – Имитационная модель модуля балансировки байка

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8E92	Акилбаевой Адеми Бекенкызы

Школа	ИШИТР	Отделение (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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала:

1. Карта сегментирования рынка; 2. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений; 3. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений; 4. Интерактивные матрицы и матрица SWOT-анализа; 5. Морфологическая матрица для системы определения поверхностей; 6. Перечень этапов, работ и распределения исполнителей, временные показатели и календарный план-график проведения работ; 7. Перечень этапов, работ и распределения исполнителей, временные показатели и календарный план-график проведения работ; 8. Расчет бюджета на спецоборудование и материальных затрат; 9. Расчет заработной платы исполнителей; 10. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.
--

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	
---	--

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е92	Акилбаева Адеми Бекенкызы		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке системы управления роботизированный электробайком с функцией самобалансировки. Целью данного раздела является оценка перспективности, конкурентоспособности среди конкурентов, а также оценка различных исполнений разработки.

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

Потенциальные потребители результатов исследования

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

1. Компании, занимающиеся робототехникой – коммерческие и некоммерческие разработки, практическое использование.
2. Компании, производящие электробайки – практическое использование.
3. Научные и образовательные учреждения – некоммерческие разработки.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

Группа потребителей	Использование продукции		Практическое использование
	Некоммерческая разработка	Коммерческая разработка	
ВУЗы и НИИ			
Разработчики ПО			
Компании-производители			
ТПУ		Da Vinci	Honda

Согласно карте сегментации можно сделать вывод, что о свободе сегмента практического использования разработок беспилотных электробайков, что является привлекательным для дальнейшего развития проекта.

Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции технических и экономических критериев будет основываться на сравнении разрабатываемой системы управления и двух конкурентов. В качестве конкурентов были выбраны система управления от Honda (к1) [23] и Da Vinci (к2) [24]. В таблице 5 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных решений.

Таблица 5 – 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							
Точность балансировки	0,4	4	4	4	1,6	1,6	1,6
Скорость отклика системы	0,3	4	3	4	1,2	0,9	1,2
Энергоэффективность	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Вес	0,1	2	4	1	0,2	0,4	0,1
Устойчивость к внешним условиям	0,1	3	2	3	0,3	0,2	0,3
Итого	1	16	16	14	3,6	3,4	3,4

Разработка, представленная в данной работе, оценивается на одном уровне со вторым техническим решением (к2).

SWOT-анализ

Проведем исследование внутренних и внешних факторов проекта с помощью методики SWOT-анализа.

Составим матрицу SWOT-анализа (таблица 6).

Таблица 6 – Матрица SWOT анализа

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Высокая точность и стабильность балансировки</p> <p>С2. Автономность</p> <p>С3. Экологичность</p>	<p>Сл1. Недостаточная подготовленность для повсеместного внедрения</p> <p>Сл2. Ограниченная надежность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1: Инновационная инфраструктура ТПУ</p> <p>В2: Сотрудничество с разработчиками ПО</p> <p>В3: Сотрудничество с производителями электробайков</p> <p>В4. Растущий рынок электробайков и интерес к беспилотным транспортным средствам</p> <p>В5. Отсутствие конкуренции на рынке беспилотных электробайков</p>	<p>Использование инфраструктуры ТПУ и сотрудничество способствует получению высоких показателей качества работы системы. С ростом рынка электробайков и растущим интересом к беспилотным технологиям беспилотный электробайк в отсутствие конкурентов может привлечь большое внимание.</p>	<p>Привлечение большего штата сотрудников.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1: Нехватка финансирования</p>	<p>Участие в соревнованиях и грантах.</p>	<p>Тестирование системы в реальных условиях и последующая корректировка регуляторов системы.</p>

5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

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

– исполнение 1 – система балансировки на основе гироскопа с двумя степенями свободы, маховика в виде диска, литий-ионного аккумулятора и ПИД-регулятора (представлен в данной работе);

– исполнение 2 – сочетания морфологических характеристик А2Б3В2Г2;

– исполнение 3 – сочетания морфологических характеристик А3Б2В1Г3.

Таблица 7 – Морфологическая матрица для системы управления балансировкой

	1	2	3
А. Принцип балансировки	Гироскоп с двумя степенями свободы	Инерционное колесо	Рулевое управление
Б. Аккумулятор	Литий-ионный	Ионный	Железо-фосфатный
В. Форма маховика для балансировки	Диск	Обод со спицами	
Г. Алгоритм управления	Пропорционально-интегрально-дифференциальный	Метод оптимального управления	Машинное обучение

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8 – 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 исследований	2	Подбор и изучение научно-технической литературы	Руководитель, Студент
	3	Проведение патентных исследований	Руководитель, Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Обзор существующих решений в области балансировки	Студент
	6	Разработка структурной схемы	Студент
	7	Подбор исполнительных элементов	Студент
	8	Функциональная и принципиальная электрическая схема	Студент
	9	Разработка дерева вызова процедур	Студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент

Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула (13):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (13)$$

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 (14):

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (14)$$

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 (15):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (15)$$

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле (16):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48.$$

Результаты расчетов показателей проведения научного исследования приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы									Исполнитель и	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							
Составление и утверждение технического задания	3	3	3	7	7	7	4,6	4,6	4,6	Р, С	2,3	2,3	2,3	3,4	3,4	3,4
Подбор и изучение научно-технической литературы	4	4	4	8	8	8	5,6	5,6	5,6	Р, С	2,8	2,8	2,8	4,1	4,1	4,1
Проведение патентных исследований	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Р, С	0,9	0,9	0,9	1,3	1,3	1,3
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8	Р, С	1,4	1,4	1,4	2,1	2,1	2,1
Обзор существующих решений в области балансировки	10	10	10	20	20	20	14	14	14	С	14	14	14	20	20	20

Продолжение таблицы 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Разработка структурной схемы	15	10	16	25	20	26	17	14	20	С	17	14	20	25,2	20,7	29,6
Подбор исполнительных элементов	10	12	14	20	22	25	14,8	16,0	18,4	С	14,8	16	18,4	21,9	23,7	27,2
Функциональная и принципиальная электрическая схема	6	7	10	14	15	20	9,6	10,2	14	С	9,6	10,2	14	14,2	15,1	20,7
Разработка дерева вызова процедур	8	10	14	14	20	24	12,8	14	18	С	12,8	14	18	18,9	20,7	26,6
Составление пояснительной записки	4	4	4	9	9	9	6	6	6	С	6	6	6	8,9	8,9	8,9
Итого										Р	81,6	81,6	97,8	120,8	120,8	144,7
										С						

Таблица 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Р, С	3													
2	Подбор и изучение научно-технической литературы	Р, С	4													
3	Проведение патентных исследований	Р, С	1													
4	Календарное планирование работ по теме	Р, С	2													
5	Обзор существующих решений в области балансировки	С	21													
6	Разработка структурной схемы	С	25													
7	Подбор исполнительных элементов	С	22													

5.4 Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат НТИ

Представим в таблице 11 расчет материальных затрат.

Таблица 11 – 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 12 расчет затрат на специальное оборудование.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Персональный компьютер	1			250000			250000		
Комплекс периферийных устройств	1			20000			20000		
Программное обеспечение (MS Windows)	1			16000			16000		
Итого							286000	286000	286000

Основная заработная плата исполнителей

Данная статья расхода включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (17).

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} T_p, \quad (17)$$

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. (18);

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m M}{F_d}, \quad (18)$$

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 23 – 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 (19):

$$Z_M = Z_{TC}(1 + k_{пр} + k_d)k_p, \quad (19)$$

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 34 – 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	7,4	7,4	7,4	22624	22624	22624
Студент	15	0,3	0,2	1,3	29,25	1528	81,6	81,6	97,8	124737	124737	149501
Итого $Z_{осн}$							Исп.1			147361		
							Исп.2			147361		
							Исп.3			172125		

Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (20):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} Z_{осн}, \quad (20)$$

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

Таблица 45 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	22624	22624	22624
Студент	124737	124737	149501
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3		
Итого	44208	44208	51638

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 16.

Таблица 16 – 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	286000	286000	286000
3. Затраты по основной заработной плате	147361	147361	172125
4. Отчисления во внебюджетные фонды	44208	44208	51638
5. Бюджет затрат НТИ	478929	478929	511123

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как (21):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (21)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{478929}{511123} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{478929}{511123} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{511123}{511123} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле (22):

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (22)$$

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 17.

Таблица 57 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Точность балансировки	0,4	4	4	3
Скорость отклика системы	0,3	4	4	3

Продолжение таблицы 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Энергоэффективность	0,1	3	2	4
Вес	0,1	2	2	3
Устойчивость к внешним условиям	0,1	3	2	2
Итого	1	16	14	15

$$I_{p-исп1} = 3,6$$

$$I_{p-исп2} = 3,4$$

$$I_{p-исп3} = 3$$

Интегральные показатели эффективности вариантов исполнения (23):

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}^{испi}}, \quad (23)$$

$$I_{исп.1} = \frac{3,6}{0,94} = 3.83;$$

$$I_{исп.2} = \frac{3.4}{0,94} = 3.62;$$

$$I_{исп.3} = \frac{3}{1} = 3.$$

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле (24):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.i}}, \quad (24)$$

Проведем сравнение относительно первого исполнения:

$$\mathcal{E}_{ср2} = \frac{3.83}{3.62} = 1.06;$$

$$\mathcal{E}_{ср3} = \frac{3.83}{3} = 1.28$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,94	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	3,4	3
3	Интегральный показатель эффективности	3,83	3,62	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,06	1,28

Таким образом, сравнительная эффективность вариантов исполнения показала, что текущее исполнение (исп.1) превосходит второе исполнение на 6 %, а третье – на 28 %.

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	ФИО
8E92	Акилбаевой Адеми Бекенкызы

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

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: Роботизированный электробайк.</p> <p>Области применения: Робототехника, транспорт.</p> <p>Рабочая зона: Лаборатория.</p> <p>Размеры помещения: 42 м².</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляемые в рабочей зоне: разработка программного обеспечения для балансировки байком.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</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>Рациональная организация труда в течение рабочего времени регулируется Трудовым кодексом РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).</p> <p>Устройство рабочего места при выполнении работ сидя и общие эргономические требования регулируются ГОСТ 12.2.032-78.</p> <p>Общие эргономические требования к креслу человека-оператора регулируются ГОСТ 21889-76.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение уровня шума; 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 3. Монотонность труда, вызывающая монотонию. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p>

	Соблюдение техники безопасности и распорядка дня на рабочем месте.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на селитебную зону: не выявлено. Воздействие на литосферу: отходы в следствии утилизации компьютера. Воздействие на гидросферу: не выявлено. Воздействие на атмосферу: выбросы вредных веществ при генерации электроэнергии.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Наиболее типичная ЧС: пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
	04.04.2023

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	Акилбаева Адеми Бекенкызы		

6 Социальная ответственность

Область применения роботизированного электробайка – робототехника, транспорт.

В данной работе разрабатывается программное обеспечение для роботизированного электробайка, которое позволяет ему самостоятельно балансировать и перемещаться без участия пилота. Это программное обеспечение определяет алгоритмы поведения устройства, которые поддерживают равновесие системы и обеспечивают ее движение.

Актуальность проекта обусловлена общей тенденцией к обеспечению автономности транспортных средств. Преимуществами двухколесных транспортных средств, к коим относится электробайк, являются высокая маневренность и проходимость, а также экономичность и меньшие габариты сравнительно других средств передвижения.

Потенциальными потребителями являются организации и компании-производители автономных транспортных средств, а также разработчики и производители в сфере робототехники.

Разработка осуществлялась в лаборатории 101 корпуса №10 Томского политехнического университета. Приблизительная площадь помещения 42 м². В лаборатории располагается персональный компьютер для осуществления работы. Рабочим процессом в лаборатории является разработка программного обеспечения для балансировки электробайком.

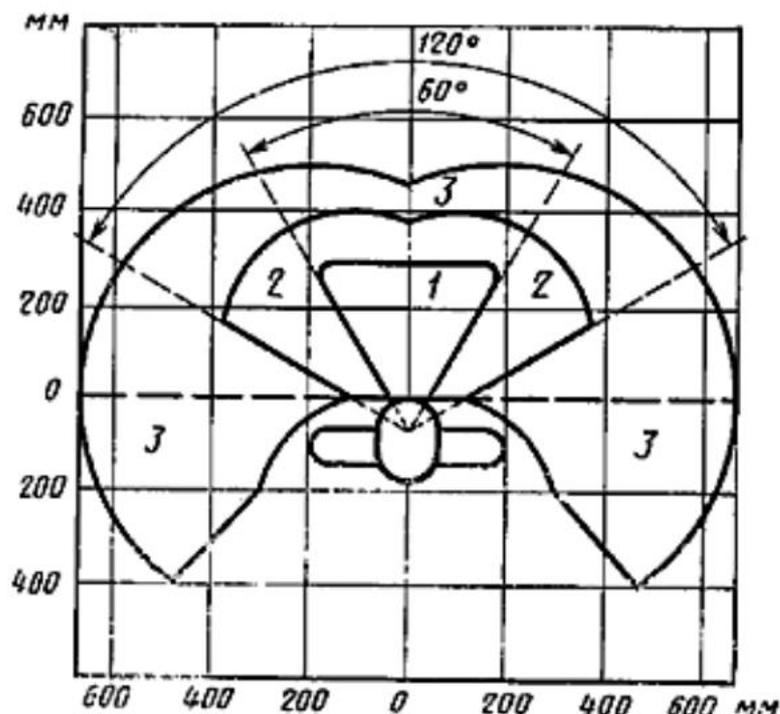
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовое регулирование трудовых отношений в Российской Федерации выполняется согласно Трудовому кодексу Российской Федерации [25].

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.

Большая часть работ проводится сидя за персональным компьютером (ПК), поэтому рабочее место должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 [26]. Вид работ, выполняемый на данном рабочем месте, можно отнести к легкой работе (по ГОСТ 12.1.005-88 [27]). Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. При этом выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля, приведенных на рисунке 39. Операции с органами управления ПК – клавиатурой и мышью принимаются очень частыми.



1 – зона для размещения наиболее важных и очень часто используемых органов управления;

2 – зона для размещения часто используемых органов управления;

3 – зона для размещения редко используемых органов управления

Рисунок 39 – Зона для выполнения ручных операций и размещения органов управления

Так как за ПК могут работать как мужчины, так и женщины, то

- высота рабочей поверхности должна быть равна 655 мм;
- высота сиденья 420 мм;
- высота пространства для ног не менее 600 мм;
- ширина пространства для ног не менее 500 мм;
- расстояние от сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм.

Конструкция кресла оператора должна соответствовать требованиям ГОСТ 21889-76 [28].

6.2 Производственная безопасность

Выбор опасных и вредных факторов, характерных для производственной среды настоящего проекта, происходил в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [29]. Перечень выбранных факторов представлен в таблице 19.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при разработке программного обеспечения для балансировки электробайком могут возникнуть следующие факторы, которые представлены в таблице 19.

Таблица 69 – Возможные опасные и вредные производственные факторы в офисе

Факторы	Нормативные документы
Вредные факторы	
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*
Монотонность труда, вызывающая монотонию	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
Опасные факторы	
Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

6.2.1 Повышенный уровень шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. При разработке программного и аппаратного обеспечения шум может исходить от систем охлаждения ПК.

Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д.

В таблице 2 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 [30].

Для снижения уровня шума, издаваемого персональным компьютером, необходимо регулярно производить чистку от пыли его системы охлаждения, замену термоинтерфейса и прочее техническое обслуживание.

Таблица 70 – 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 макс, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	90

6.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Основной причиной возникновения данного вредного фактора является недостаточное освещение рабочей зоны.

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

Нормы освещённости кабинетов, рабочих комнат, офисов и представительств указаны в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [31].

Регламентированные допустимые характеристики освещённости искусственным светом рабочих мест [32], при характеристике зрительных работ, описанных ранее, приведены в таблице 3.

Таблица 21 – 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				
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.

6.2.3 Монотонность труда, вызывающая монотонию

Основными показателями монотонного труда являются:

- структурное однообразие, простота рабочих приёмов;
- непродолжительный временной цикл;
- высокая степень повторяемости;
- отсутствие творческих элементов;
- строго определенный регламент действий;
- принудительный ритм и темп.

Часть этих показателей характерна для работы за ПК. Монотонность труда сопровождается у многих людей рядом неприятных субъективных ощущений. Субъективные ощущения проявляются в падении интереса к выполняемой работе, скуке, апатии, невнимательности, сонливости,

искажённом чувстве времени, чувстве усталости и т. п., что в конечном счёте обуславливают субъективную оценку работы как неинтересной или даже непривлекательной.

Психофизиологические проявления состояния монотонии свидетельствуют о пониженной психофизиологической активности человека и заключаются в следующем:

- снижении уровня бодрствования;
- снижении тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы (снижение частоты пульса, снижение артериального давления, увеличение аритмии пульса и др.);
- снижении тонуса скелетной мускулатуры.

Для снижения психофизических факторов можно назначать короткие дополнительные перерывы для отдыха работника. Также можно ввести в график рабочего процесса перерыв на спортивную разминку.

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

В процессе разработки программного обеспечения для балансировки электробайком у работников могут появиться травмы от воздействий электрическим током. Поражение током, может произойти при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей) или при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением.

Поражение электрическим током является одним из самых опасных видов вредного воздействия из-за того, что электрический ток является невидимым для человеческого глаза. Его действие на организм человека носит разносторонний характер: проходя через тело, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие.

Для того чтобы гарантировать защиту своим работникам, работодателю нужно использовать оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, а также помещение, где размещается рабочее место, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Защита литосферы

Причиной вредного воздействия на литосферу при разработке проектного решения является утилизация

- электронной техники (системных блоков, мониторов, периферии);
- электронных компонентов (аппаратное обеспечение узла помещения).

Для утилизации блоков питания, самых опасных для литосферы компонентов (его составные части разлагаться очень долго и отравляют почву), необходимо обратиться в специализированные центры, где его разберут на составные части: рабочие части пустят на повторное использование, а остальные утилизируют по правилам утилизации этих частей. Остальные электронные компоненты утилизируются таким же образом.

6.3.2 Защита атмосферы

Основное воздействие на окружающую среду происходит через потребляемую электроэнергию, которая необходима для функционирования ПК, а также и непосредственно через сам ПК.

Для генерации энергии требуется производить сжигание ископаемого и жидкого топлива на тепловой электростанции, что сопровождается выделением различных загрязняющих веществ в атмосферу. Снизить негативное влияние на окружающую среду можно путем сокращения расхода

электроэнергии. Отключение ПК пока он не используется является одним из методов защиты атмосферы.

Также, как и в случае литосферы, вредное влияние на атмосферу оказывает процесс утилизации электронных компонентов, расходных материалов и вышедшего из строя оборудования. Негативное воздействие оказывается, когда для утилизации используется сжигание, при котором в атмосферу выделяются токсичные вещества. Принципы утилизации электронных компонентов указаны в предыдущем пункте.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении работ по реализации проекта, наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в лаборатории. Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации.

Чтобы предотвратить ЧС, в помещении пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности, анализируемое в данной работе помещение относится к категории В.

Класс пожара, соответствующий возможной ЧС – Е. Основные источники возникновения пожара:

- неработоспособное электрооборудование и электрические приборы с дефектами;
- неисправности в проводке, розетках и выключателях;
- перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке.

Таким образом для устранения возможных источников возникновения пожара необходимо отключать электрооборудование при покидании рабочего места; периодически проверять электрооборудование и элементы проводки на

исправность; избегать включения большого количества приборов в разветвители.

Человек, выполняющий работы в аудитории, в случае возникновения пожара или его признаков (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону 01 или 112 в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию);
- известить о пожаре руководителя или другого работника;
- задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;
- принять по возможности меры по тушению пожара имеющимся в учреждении средствами пожаротушения.

Меры безопасности обеспечиваются системами предотвращения пожара и противопожарной защиты исходя из требований пожарной безопасности. Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

- огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании;
- системы автоматической пожарной сигнализации;
- средства организации эвакуации.

Перед началом работы в лаборатории необходимо пройти инструктаж и оставить свою подпись в журнале о прохождении инструктажа по пожарной безопасности.

Выводы по разделу

В результате работы над данным разделом было выявлено, что обеспечение безопасности на производстве является очень сложным и ответственным процессом. Были определены меры обеспечения безопасности, которые снизят риски для работника и повысят его работоспособность.

Выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Рабочее место соответствует всем необходимым нормам. По электробезопасности помещение относится к категории без повышенной опасности. Персонал по электробезопасности согласно Правил по охране труда и эксплуатации электроустановок [33] относится к группе I. По тяжести труда в соответствии с СанПин 1.2.3685-21 [34] работа при разработке относится к категории Ia. Рабочее помещение согласно СП 12.13130.2009 относится к категории В – пожароопасность.

Объект разработки и связанные с ним не оказывают значительного негативного влияния на окружающую среду.

Заключение

В ходе выполнения работы были рассмотрены конструкционные решения, применяемые в системах балансировки. Кроме того, был проведен анализ, подтвердивший, что существующие модели роботизированных байков имеют ряд недостатков, а значит, разработка является актуальной. На основании требуемых параметров, а также проведенного обзора был произведен подбор компонентов, созданы структурная и функциональная схемы, спроектировано дерево вызова процедур. Для дерева вызова процедур была реализована в виде алгоритма процедура расчета ПИД-регулятора. Кроме того, были реализованы в виде алгоритмов процедуры, касающиеся определения положения байка в пространстве. На основе проделанной работы была собрана 3D-модель системы балансировки, а также спроектирована имитационная модель в MATLAB, позволяющая проверять различные алгоритмы балансировки. В дальнейшем планируется продолжение работы по данной тематике с применением текущего задела, в том числе – имитационной модели.

Список используемых источников

1. Рейтинг городов с самыми большими пробками: топы по миру и в России [Электронный ресурс] // URL: <https://top-ru.ru/avto/558-rejting-gorodov-po-probkam.html?ysclid=lenwrp3xlx175344775>
2. Популярность мотоциклов в России выросла на треть за последние пять лет [Электронный ресурс] // URL: <https://news.drom.ru/79500.html?ysclid=lenyoviu3c860126654>
3. В России увеличилось число аварий с участием мотоциклистов [Электронный ресурс] // URL: <https://car.ru/news/research/53043-v-rossii-vyiroslo-chislo-avarij-s-uchastiem-mototsiklistov/>
4. Европейский рынок проката велосипедистов – рост, тенденции, влияние COVID-19 и прогнозы [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/europe-bike-sharing-market>
5. Гирокар Шиловского: двухколесный автомобиль-волчок [Электронный ресурс] // URL: <https://indicator.ru/engineering-science/giokar-shilovskogo.html>
6. Gallaspy JM. “Gyroscopic stabilization of an unmanned bicycle, M.S. Thesis,” Auburn University, 1999
7. Michini, B. and Torrez, S., “Autonomous stability control of a moving bicycle,” Proc.Amer.Inst. Aeronaut. Astronaut., 1-10 (2006).
8. Электромотоцикл Иж-Пульсар [Электронный ресурс] // URL: <https://eko-bike.ru/izh-pulsar>
9. Электромотоцикл Da Vinci DC100 [Электронный ресурс] // URL: <https://global.davincimotor.com/models/davinci-dc-100>
10. Электробайк Tesla 2000W [Электронный ресурс] // URL: <https://www.sky-bike.ru/electroscooter/tesla-bike-20000w>
11. Электромотоцикл Mars Bike [Электронный ресурс] // URL: <https://5kwt.ru/catalog/product/elektromototsikl-mars-bike/>

12. Коэффициенты трения качения [Электронный ресурс] // URL: <https://tehtab.ru/guide/guidephysics/frication/frictionofrolling/>
13. ZHAUTO WS38-30 [Электронный ресурс] // URL: <https://aliexpress.ru/item/4000029450336.html>
14. ES16-1000 [Электронный ресурс] // URL: <http://electrohod.com/kontroller-dvigatelja-1000-vatt-36-volt/>
15. Современные МЭМС-гироскопы и акселерометры [Электронный ресурс] // URL: <https://sovtest-ate.com/news/publications/sovremennye-mems-giroskopy-i-akselerometry/>
16. MPU 6050 [Электронный ресурс] // URL: <https://robotclass.ru/tutorials/arduino-accelerometer-mpu6050/>
17. Акселерометр и гироскоп MPU-6050 модуль GY-521 [Электронный ресурс] // URL: <https://radiocron.biz/akselerometr-i-giroskop-mpu-6050-modul-gy-521>
18. Работа Гироскопа [Электронный ресурс] // URL: <https://zachnik.ru/blog/chto-takoe-giroskop-kak-on-rabotaet-i-gde-ego-primenyayut/>
19. Принципы работы I2C [Электронный ресурс] // URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/interfeys-peredachi-dannykh-i2c/>
20. Передача данных в I2C [Электронный ресурс] // URL: <https://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html/>
21. Комплементарный фильтр [Электронный ресурс] // URL: <https://robotclass.ru/articles/complementary-filter/>
22. Моделирование в среде SimMechanics. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Моделирование мехатронных и робототехнических систем» для студентов направления 221000 – Мехатроника и робототехника – Томск: Изд. ТПУ, 2013. – 32 с
23. Система самобалансировки HONDA RIDING ASSIST [Электронный ресурс] // URL: <https://tomsk.kolesatyt.ru/novosti/sistema-samobalansirovki-honda-riding-assist/>

24. Da Vinci DC100, самобалансирующийся электрический мотоцикл, который будет следовать за вами [Электронный ресурс] // URL: <https://newatlas.com/motorcycles/da-vinci-dc100-self-balancing-electric-motorcycle/>
25. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 09.12.2022).
26. ГОСТ 12.02.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
27. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
28. ГОСТ 21889-76. Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
29. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
30. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. СП 52. 13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
32. Приказ Минтруда России № 774н от 29 октября 2021 г. Об утверждении общих требований к организации безопасного рабочего места.
33. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. Приказ от 15 декабря 2020 года № 903н. Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.
34. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ от 11 июня 2021 № 399. Об утверждении требований при обращении с группами однородных отходов I-V классов опасности.

Приложение А
(обязательное)
Дерево вызова процедур

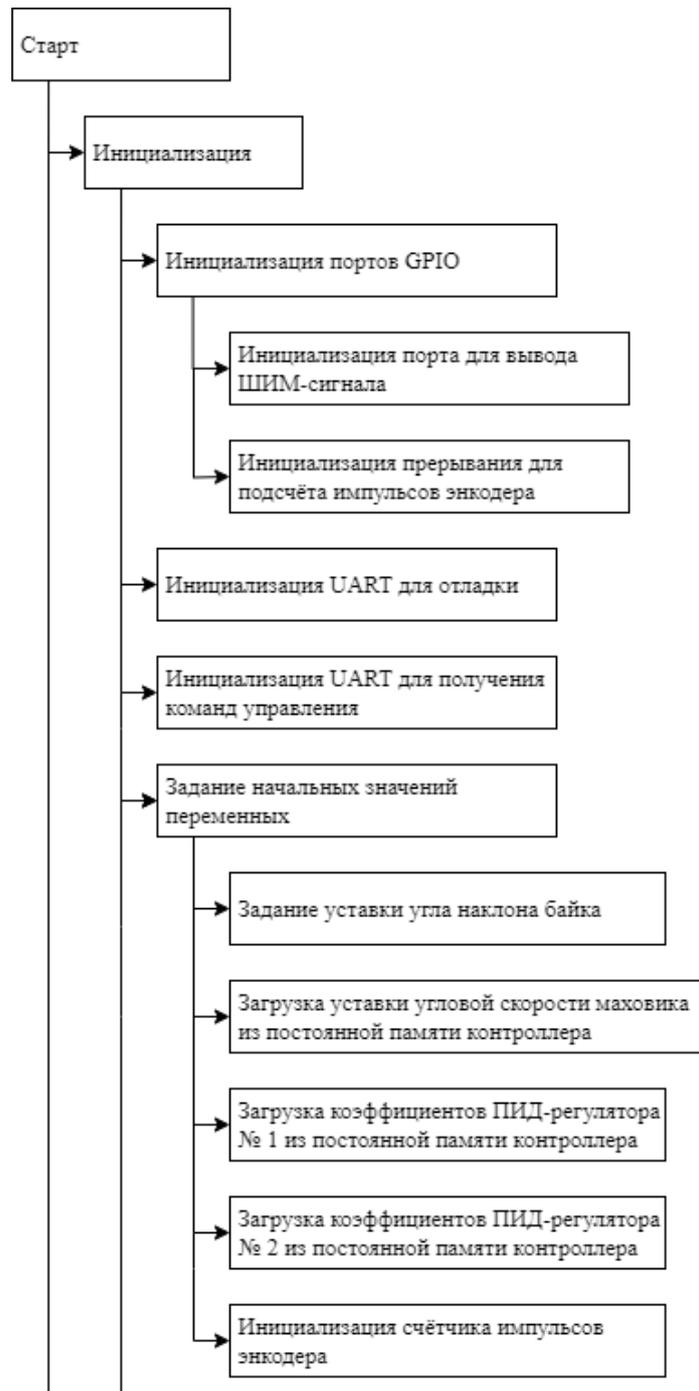


Рисунок А.1 – Дерево вызова процедур. Инициализация

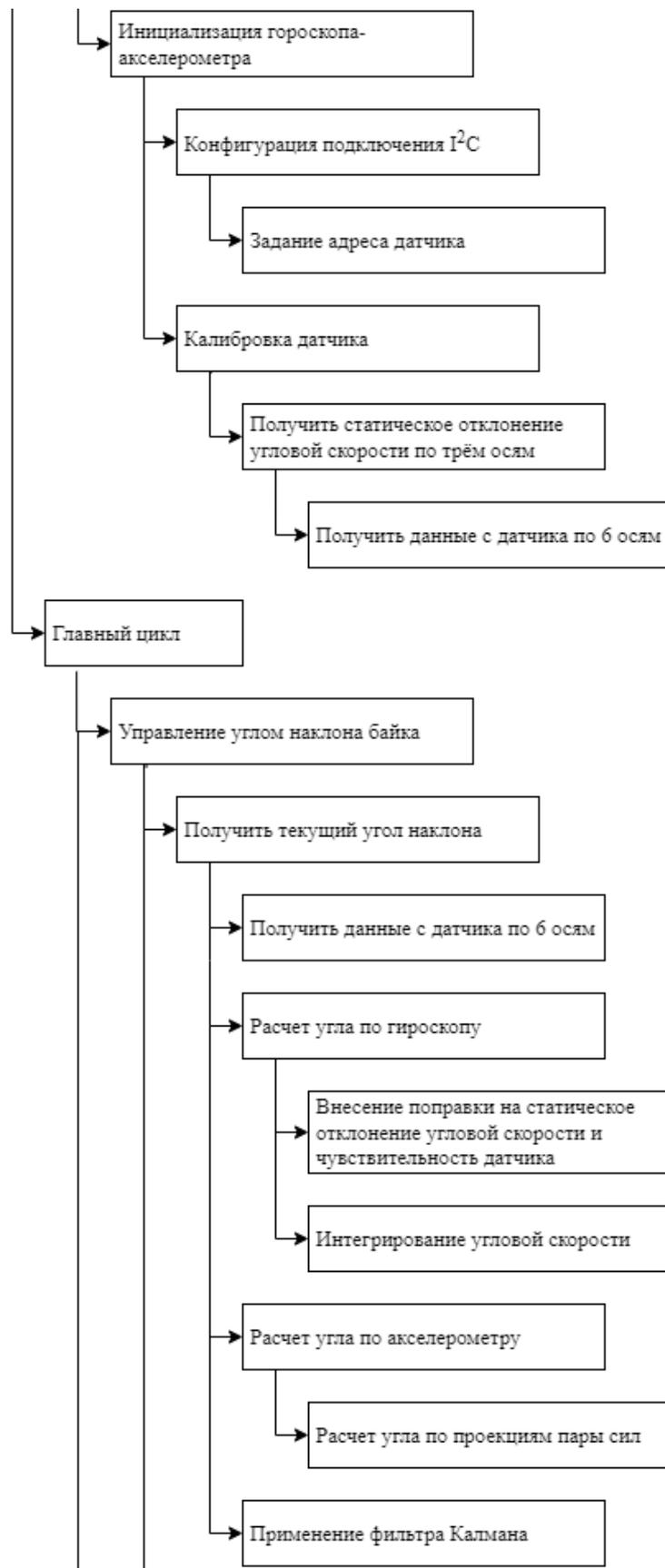


Рисунок А.2 – Продолжение дерева вызова процедур. Инициализация и управление углом наклона байка

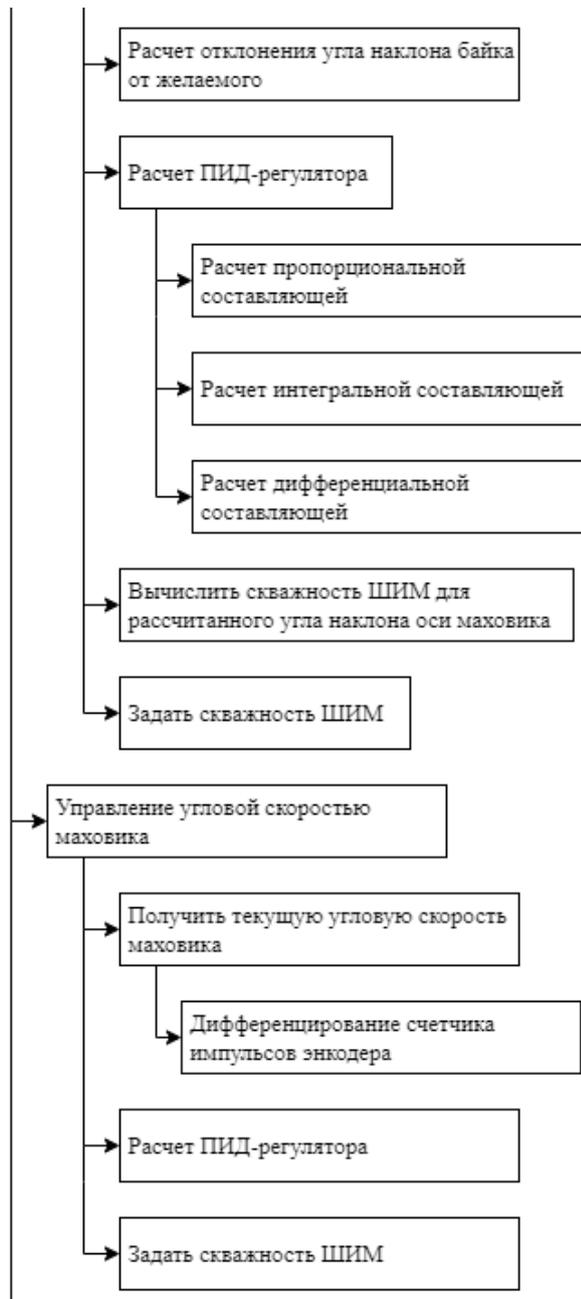


Рисунок А.3 – Продолжение дерева вызова процедур. Управление угловой скоростью маховика

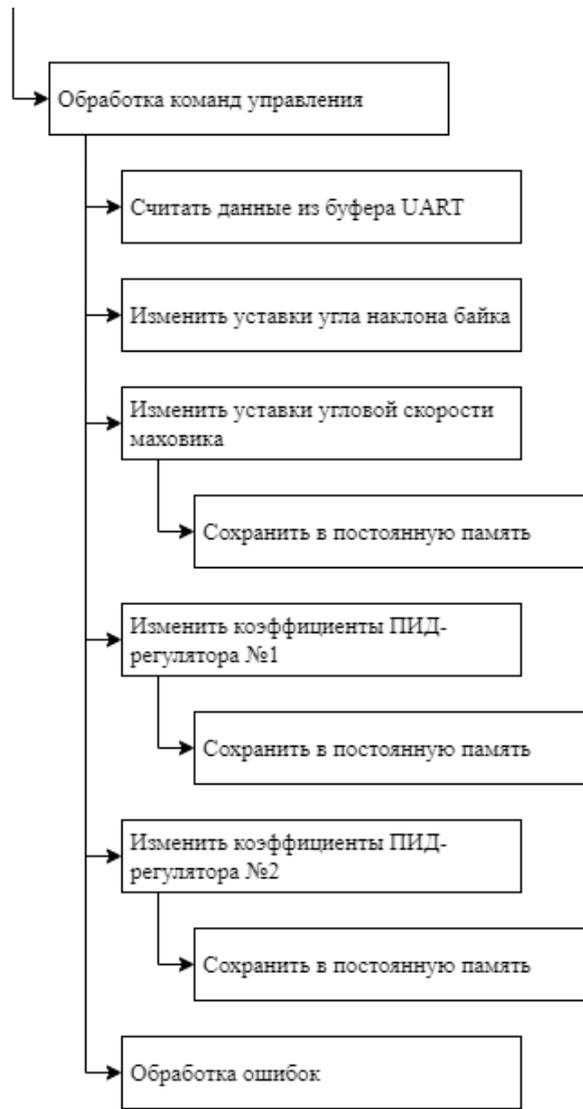


Рисунок А.4 – Продолжение дерева вызова процедур. Обработка команд управления

Приложение Б

(обязательное)

Алгоритм процедуры расчета ПИД-регулятора

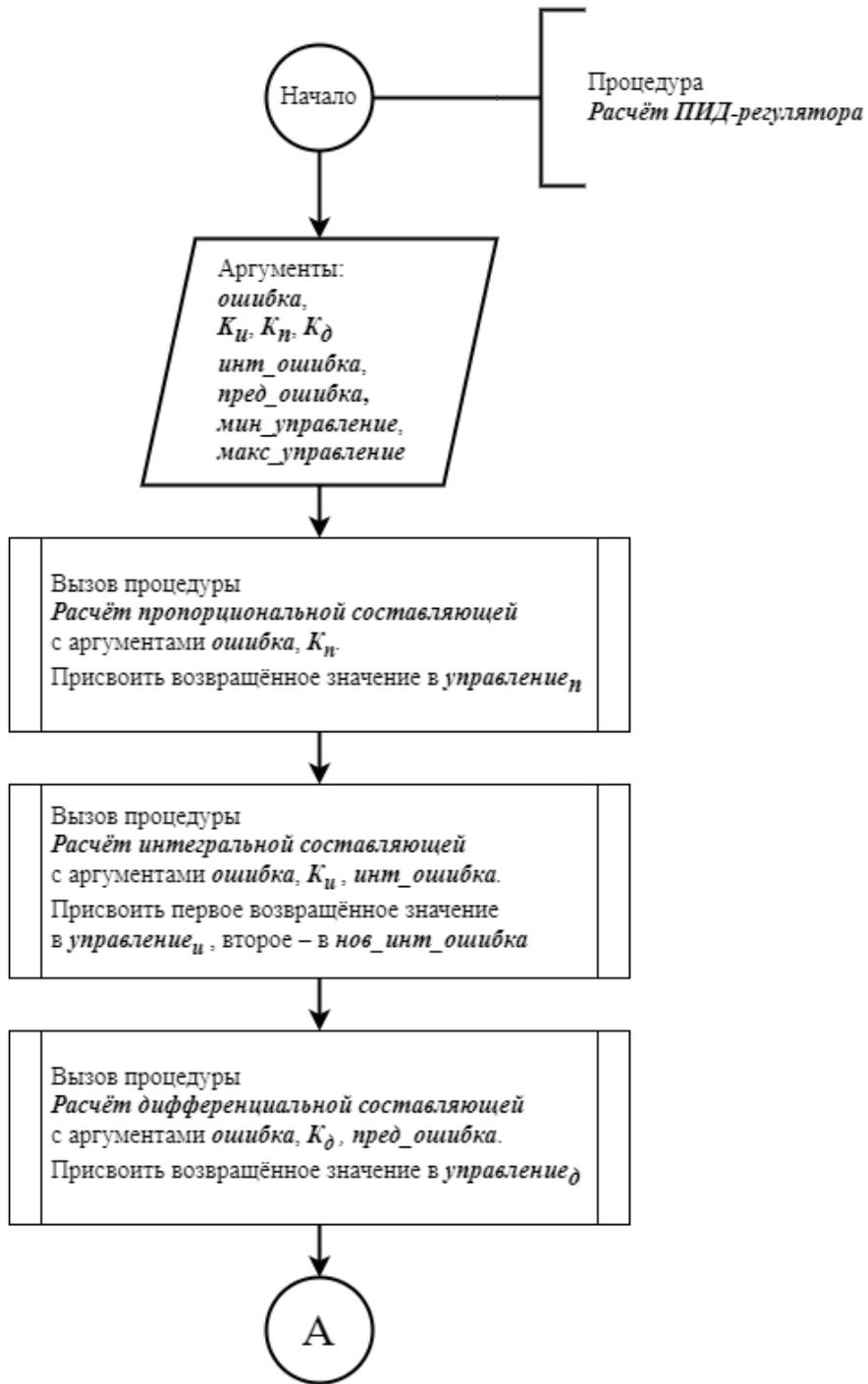


Рисунок Б.1 – Алгоритм процедуры расчета ПИД-регулятора

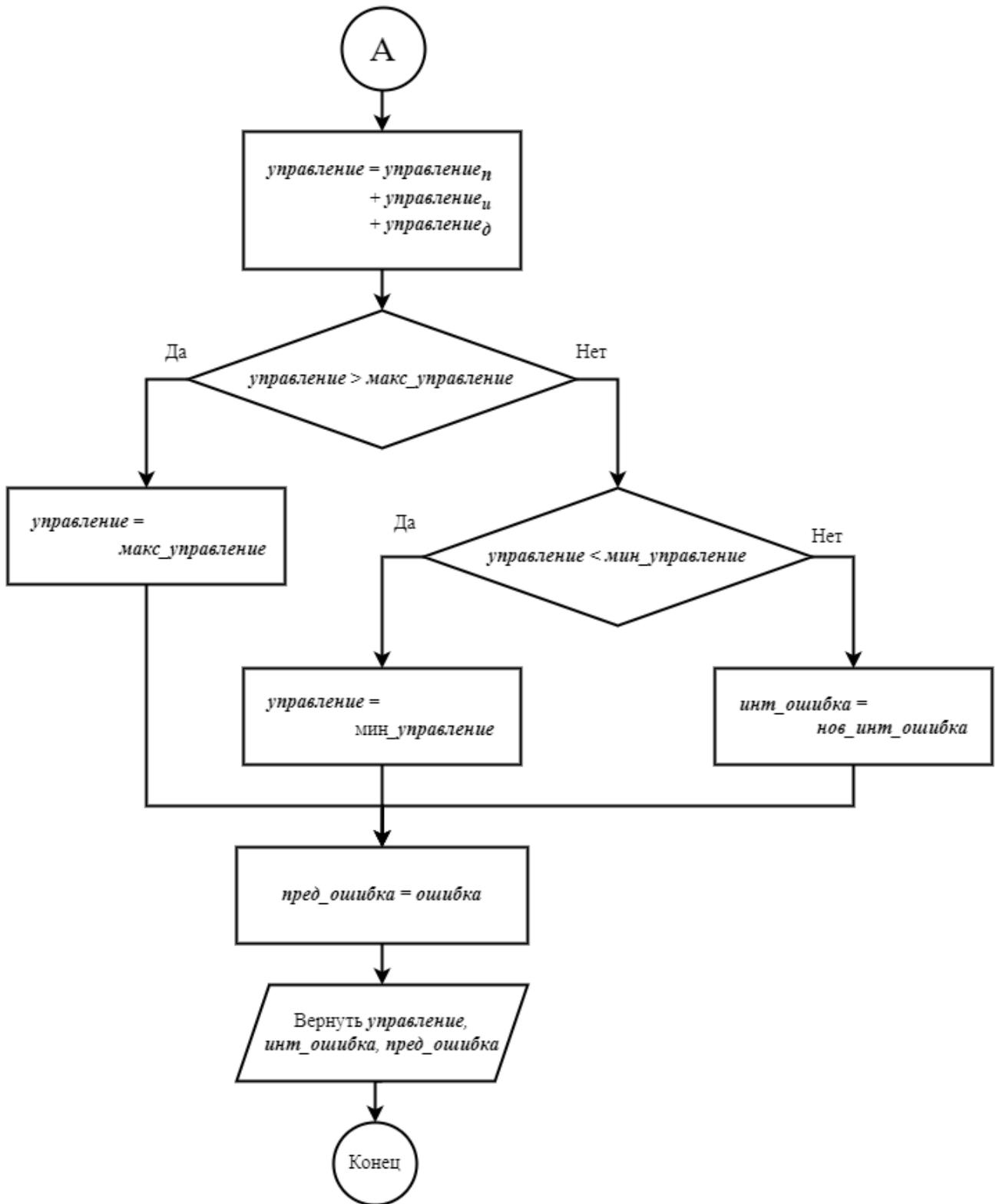


Рисунок Б.2 – Продолжение алгоритма процедуры расчета ПИД-регулятора